

1749436885

 Mindanao State University - Marawi Campus

Document Details

Submission ID

trn:oid:::3618:99948061

Submission Date

Jun 9, 2025, 2:41 AM UTC

Download Date

Jun 9, 2025, 2:44 AM UTC

File Name

TA Wendi Setiawan Cek Plagiat revisi ke 6.docx

File Size

9.6 MB

92 Pages

12,016 Words

74,516 Characters

18% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Small Matches (less than 9 words)

Top Sources

- 16%  Internet sources
- 3%  Publications
- 12%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 16% Internet sources
- 3% Publications
- 12% Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	
dspace.uui.ac.id		1%
2	Internet	
pt.scribd.com		1%
3	Internet	
idoc.pub		1%
4	Internet	
www.scribd.com		<1%
5	Internet	
arie-kusnady.blogspot.com		<1%
6	Internet	
repository.ub.ac.id		<1%
7	Internet	
repository.usbypkp.ac.id		<1%
8	Internet	
123dok.com		<1%
9	Internet	
repository.uma.ac.id		<1%
10	Submitted works	
Universitas Islam Indonesia on 2024-02-22		<1%
11	Internet	
pdfcoffee.com		<1%

12	Internet	repository.usu.ac.id	<1%
13	Submitted works	Universitas Islam Indonesia on 2018-07-21	<1%
14	Submitted works	Sriwijaya University on 2020-01-09	<1%
15	Internet	repository.its.ac.id	<1%
16	Internet	press.pnj.ac.id	<1%
17	Internet	repository.uts.ac.id	<1%
18	Internet	elearning.upi-yai.ac.id	<1%
19	Internet	e-journals.unmul.ac.id	<1%
20	Submitted works	Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Gadjah Mada on 2022-03-25	<1%
21	Internet	docplayer.info	<1%
22	Internet	eprints.undip.ac.id	<1%
23	Internet	repository.unhas.ac.id	<1%
24	Internet	text-id.123dok.com	<1%
25	Internet	repository.unibos.ac.id	<1%

26	Submitted works	Universitas Khairun on 2022-06-08	<1%
27	Internet	repository.upp.ac.id	<1%
28	Internet	www.coursehero.com	<1%
29	Submitted works	Sultan Agung Islamic University on 2021-08-06	<1%
30	Submitted works	Universitas Khairun on 2022-01-18	<1%
31	Internet	digilibadmin.unismuh.ac.id	<1%
32	Internet	edoc.pub	<1%
33	Internet	repository.upi.edu	<1%
34	Submitted works	Sultan Agung Islamic University on 2021-08-04	<1%
35	Internet	repo.itera.ac.id	<1%
36	Internet	repositori.usu.ac.id	<1%
37	Submitted works	Sriwijaya University on 2021-11-30	<1%
38	Internet	eprints.unram.ac.id	<1%
39	Submitted works	Sriwijaya University on 2019-07-29	<1%

40	Internet	mafiadoc.com	<1%
41	Submitted works	Universitas Siliwangi on 2025-05-03	<1%
42	Submitted works	Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Gadjah Mada on 2022-10-10	<1%
43	Submitted works	LL Dikti IX Turnitin Consortium on 2019-10-02	<1%
44	Submitted works	Universitas Bung Hatta on 2023-02-07	<1%
45	Internet	repository.uhn.ac.id	<1%
46	Internet	repository.um-palembang.ac.id	<1%
47	Submitted works	Sriwijaya University on 2019-07-29	<1%
48	Submitted works	Sriwijaya University on 2020-12-22	<1%
49	Submitted works	Sriwijaya University on 2022-04-01	<1%
50	Submitted works	Sultan Agung Islamic University on 2025-01-24	<1%
51	Submitted works	University of Wollongong on 2024-01-30	<1%
52	Internet	ar.scribd.com	<1%
53	Internet	repo.darmajaya.ac.id	<1%

54	Internet	repository.wima.ac.id	<1%
55	Internet	www.slideshare.net	<1%
56	Submitted works	Syiah Kuala University on 2019-11-01	<1%
57	Submitted works	Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya on 2021-07-07	<1%
58	Submitted works	Universitas International Batam on 2020-08-07	<1%
59	Submitted works	Walters State Community College on 2024-11-26	<1%
60	Internet	ciptakarya.pu.go.id	<1%
61	Internet	jurnal.itg.ac.id	<1%
62	Publication	Mulyati, Alif Sri. "Analisis Perbandingan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Deng...	<1%
63	Internet	sinta.unud.ac.id	<1%
64	Submitted works	Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Gadjah Mada on 2021-10-12	<1%
65	Submitted works	SDM Universitas Gadjah Mada on 2021-10-08	<1%
66	Submitted works	Sriwijaya University on 2019-08-01	<1%
67	Submitted works	Sriwijaya University on 2019-08-01	<1%

68	Submitted works	Sriwijaya University on 2021-06-07	<1%
69	Submitted works	Sultan Agung Islamic University on 2022-08-17	<1%
70	Submitted works	Universitas Andalas on 2025-01-10	<1%
71	Submitted works	Universitas Andalas on 2025-02-14	<1%
72	Submitted works	Universitas Diponegoro on 2017-10-18	<1%
73	Submitted works	Universitas Muhammadiyah Sukabumi on 2024-08-27	<1%
74	Internet	eprints.univetbantara.ac.id	<1%
75	Internet	qdoc.tips	<1%
76	Internet	rahmawatyarsyad1989.wordpress.com	<1%
77	Internet	repository.uniba.ac.id	<1%

58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknik Sipil sebuah disiplin ilmu yang berfokus pada penelitian kekuatan struktur konstruksi, pembangunan, serta renovasi berbagai jenis infrastruktur dengan tujuan menciptakan bangunan yang aman dan berguna bagi masyarakat. Dalam setiap tahap perancangan—baik itu untuk gedung, jembatan, jalan raya, maupun infrastruktur lainnya—tanah memegang peranan penting sebagai fondasi atau tempat berdirinya struktur tersebut.

Tanah berupa elemen krusial dalam dunia konstruksi, karena berfungsi untuk tempat dasar yang harus memenuhi kriteria tertentu, baik dari segi kualitas, kekuatan, efisiensi biaya, maupun kesesuaian dengan kebutuhan proyek. Untuk menjamin stabilitas, kelayakan, dan umur panjang konstruksi, tanah yang digunakan harus memiliki daya dukung yang cukup memadai.

Ketika kondisi tanah tidak memiliki daya dukung yang baik, maka diperlukan sistem perkuatan guna menjaga kestabilannya dan mencegah terjadinya kelongsoran. Kelongsoran tanah atau pergerakan massa tanah dapat disebabkan oleh peningkatan Tegangan geser atau menurunnya kekuatan geser tanah, sehingga tanah tidak lagi mampu menopang beban yang ada di atasnya. Faktor penyebab gangguan stabilitas lereng bisa berasal dari aktivitas manusia maupun kondisi alam, yang keduanya berpotensi membahayakan lingkungan dan masyarakat di sekitarnya.

Sebagai contoh, dalam **studi kasus di kawasan wisata Noah's Park yang terletak di jalur Sesar Lembang, Kabupaten Bandung Barat**, gangguan kestabilan tanah terjadi karena faktor alam, yaitu curah hujan yang tinggi di wilayah hulu. Hujan deras tersebut menyebabkan peningkatan debit air yang signifikan, sehingga memicu gangguan pada kondisi tanah di kawasan wisata tersebut.

satu solusi untuk mengatasi masalah kestabilan tanah adalah dengan membangun **dinding penahan tanah**, yaitu sebuah **bangunan yang berfungsi untuk menahan massa tanah**, khususnya di lereng **alami**, lereng hasil galian, maupun urugan. Agar efektif, struktur ini harus dirancang sedemikian rupa agar mampu menahan tekanan tanah serta beban tambahan dari luar dengan optimal.

64

1

“

Untuk menilai tingkat keamanan konstruksi yang akan dibangun di kawasan wisata Noah's Park, yang berlokasi di wilayah Sesar Lembang, Kabupaten Bandung Barat, peneliti akan memanfaatkan perangkat aplikasi **Plaxis 2D versi 8.6** dengan menerapkan perkuatan berupa Dinding Penahan Tanah. Pemodelan dilakukan dengan menyesuaikan kondisi nyata di lapangan, agar hasil analisis yang diperoleh lebih representatif dan akurat.

57 Plaxis merupakan perangkat lunak dua dimensi berbasis metode elemen hingga yang dikembangkan khusus untuk mengevaluasi deformasi dan kestabilan pada 29 berbagai proyek geoteknik. Perangkat ini menyediakan antarmuka grafis yang mudah digunakan, sehingga pengguna dapat menyusun model geometri serta jaringan elemen secara efisien berdasarkan penampang melintang kondisi lereng yang dianalisis (Plaxis, 2012)

1.2 Rumusan Masalah

8 Berdasar kan uraian pada latar belakang, permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi stabilitas lereng alami di kawasan Wisata Noah's Park, Sesar Lembang, Kabupaten Bandung Barat sebelum dilakukan tindakan perkuatan tanah?
2. Sejauh mana fungsi dan pengaruh dari penggunaan Dinding Penahan Tanah dari beton bertulang terhadap peningkatan stabilitas lereng di lokasi tersebut? 48

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menilai Tingkat aman lereng (Safety Factor) di kawasan Wisata Noah's Park, Sesar Lembang, Kabupaten Bandung Barat.
2. Mengetahui perubahan nilai Safety Factor setelah diterapkannya perkuatan lereng menggunakan Dinding Penahan Tanah berbahan beton dengan tulangan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menyediakan informasi mengenai perhitungan Faktor aman sebuah struktur (Safety Factor) pada Dinding Penahan Tanah.
2. Memberikan pemahaman terkait proses analisis perkuatan lereng menggunakan aplikasi perencanaan Plaxis 2D versi 8.6.
3. Menyajikan gambaran teknis mengenai penerapan perkuatan lereng dengan struktur Dinding Penahan Tanah berbahan beton bertulang.

1.5 Batasan Penelitian

Mengingat ruang lingkup permasalahan yang cukup luas serta keterbatasan dalam hal waktu dan sumber daya, maka penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Analisis dan pemodelan perkuatan tanah serta Dinding Penahan Tanah dilakukan menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D versi 8.6.
2. Perkuatan tanah dan Dinding Penahan Tanah juga dianalisis secara manual menggunakan Metode Irisan (Fellenius).
3. Penelitian ini difokuskan hanya pada pengkajian nilai faktor aman (Safety Factor) dari lereng alami dan lereng yang diperkuat dengan Dinding Penahan Tanah dari beton bertulang.
4. Jenis Dinding Penahan Tanah yang digunakan dalam analisis adalah tipe kantilever (cantilever) berbahan beton bertulang, dengan mutu beton $f_c' = 24,9 \text{ MPa}$ (setara dengan K-300).

1.6 Sistematika Penulisan

Metode penulisan dalam tugas akhir ini dibagi dalam lima bab yaitu :

BAB. I PENDAHULUAN

Berisikan pendahuluan yang memuat Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, Batasan Penelitian dan Metode Penulisan.

BAB. II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori yang berkaitan dengan sifat tanah, kestabilan lereng, struktur dinding penahan tanah, serta perangkat lunak 2D V.8.6 yang digunakan dalam analisis ini

BAB. III METODE PENELITIAN

BAB ini akan menjelaskan masalah Metodologi Penelitian atau tahapan yang akan di dikerjakan dalam menyelesaikan tugas akhir.

BAB. IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

BAB ini membahas tentang analisis lereng dengan menggunakan *Program Plaxis 2D V.8.6* dan *Metode Fellenius* pada Studi Kasus di Wisata Noah's Park Di Sesar Lembang, Kabupaten Bandung Barat.

BAB. V METODE PENELITIAN

Pada BAB ini akan membahas tentang kesimpulan dan saran dari hasil Analisis BAB sebelumnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Dalam bidang Teknik Sipil, tanah dipahami sebagai kumpulan material alami yang tersusun dari mineral, bahan organik, dan endapan yang umumnya tidak padat serta terletak di atas batuan dasar (bedrock). Kekuatan ikatan antar butiran tanah cenderung rendah, namun dapat meningkat karena adanya zat pengikat seperti senyawa karbonat, material organik, atau oksida yang terbentuk di antara partikel. Ruang antar butir tanah, atau pori-pori, dapat terisi oleh air, udara, atau campuran keduanya.

Tanah terbentuk melalui proses pelapukan batuan dan aktivitas geologi lain yang terjadi di dekat permukaan bumi, baik secara fisik maupun kimia. Pelapukan fisik menyebabkan batuan pecah menjadi partikel kecil karena faktor seperti angin, air, erosi, perubahan suhu, atau intervensi manusia. Bentuk partikel hasil pelapukan ini dapat bervariasi, dari bulat hingga bersudut tajam.

Di sisi lain, pelapukan kimia terjadi melalui reaksi antara batuan dengan zat kimia seperti oksigen, karbon dioksida, atau air yang bersifat asam atau basa. Jika hasil pelapukan tetap berada di tempat asalnya, tanah tersebut disebut tanah residual. Namun, bila material hasil pelapukan berpindah dari lokasi aslinya, maka dikenal sebagai tanah terangkut.

Klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butirannya menggunakan istilah seperti pasir, lanau, lempung, atau lumpur. Meski demikian, dalam beberapa kasus, istilah-istilah tersebut juga mencerminkan sifat fisik tertentu—misalnya, "lempung" tidak hanya merujuk pada ukuran butir, tetapi juga menggambarkan tanah yang bersifat kohesif dan tidak plastis.

	2,0 mm	1,0	0,5	0,25	0,1	0,05	0,002 mm				
Bureau of Soils USDA	kerikil	kasar	sedang	halus	sangat halus	lanau			lempung		
		pasir									
	2,0 mm	0,420		0,075		0,005		0,001			
ASTM	pasir sedang		pasir halus		lanau		lempung		lempung koloidal		
	2,0 mm	0,6	0,2	0,06		0,006	0,002	0,0006	0,0002 mm		
MIT nomenclature	kasar	sedang	halus	kasar	sedang	halus	kasar	sedang	halus		
	pasir			lanau			lempung				
	2,0 mm	1,0	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,006	0,002	0,0006	0,0002 mm
Inter-national nomenclature	sangat kasar	kasar	sedang	halus	kasar	halus	kasar	halus	kasar	halus	sangat halus
	pasir				Mo		lanau		lempung		

Gambar 2.1. Klasifikasi Butiran Menurut Sistem USCS, ASTM, MIT dan IN

(Sumber : Mekanika Tanah I – Hary Christady Hardiyantmo)

7

Sebagian besar jenis tanah terdiri dari kombinasi butiran dengan berbagai ukuran. Sebagai contoh, tanah lempung tidak hanya mengandung partikel lempung saja, tetapi juga dapat mencakup butiran lanau, pasir, hingga bahan organik. Diameter partikel tanah sangat beragam, mulai dari lebih dari 100 mm hingga di bawah 0,001 mm. Gambar 2.1 memperlihatkan batas-batas ukuran partikel untuk kerikil, pasir, lanau, dan lempung berdasarkan beberapa sistem klasifikasi tanah, antara lain USCS (Unified Soil Classification System), ASTM (American Standard Testing and Materials), MIT (Massachusetts Institute of Technology), serta IN (International Nomenclature)

2.1.1. Klasifikasi Tanah

Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang paling umum digunakan, yaitu USCS (Unified Soil Classification System) dan AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Sistem AASHTO mengklasifikasikan tanah berdasarkan beberapa parameter dasar seperti distribusi ukuran butiran, batas cair (liquid limit), serta indeks plastisitas. Sementara itu, USCS pertama kali diperkenalkan oleh Arthur Casagrande pada tahun 1942, dan kemudian disempurnakan oleh tim teknis dari United States Bureau of Reclamation (USBR). Hingga kini, sistem USCS masih menjadi acuan penting dalam bidang geoteknik dan banyak digunakan oleh konsultan maupun institusi teknik sipil di berbagai negara.

1. Sistem Klasifikasi USCS (Unified Soil Classification System)

Dalam sistem USCS, klasifikasi tanah didasarkan pada ukuran dan proporsi butiran. Tanah dianggap sebagai **berbutir kasar** (seperti kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% partikelnya dapat melewati saringan No. 200. Sebaliknya, jika lebih dari 50% partikel lolos dari saringan tersebut, maka tanah digolongkan sebagai **berbutir halus**, yang mencakup lanau dan lempung. Berdasarkan karakteristik dan komposisi butirannya, tanah dibagi ke dalam beberapa kelompok dan subkelompok sebagaimana tercantum dalam Tabel 2.1.

Sistem ini menggunakan kombinasi simbol huruf untuk menggambarkan jenis dan sifat tanah, di antaranya:

- **G** = Gravel (Kerikil)
- **S** = Sand (Pasir)

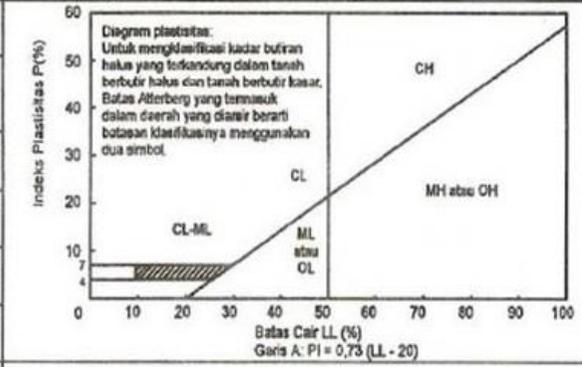
23

- **C** = Clay (Lempung)
- **M** = Silt (Lanau)
- **O** = Organic material (Material organik seperti lanau atau lempung organik)
- **Pt** = Peat (Tanah gambut atau tanah dengan kandungan organik sangat tinggi)
- **W** = Well-graded (Gradasi baik)
- **P** = Poorly-graded (Gradasi buruk)
- **H** = High plasticity (Plastisitas tinggi)
- **L** = Low plasticity (Plastisitas rendah)

Tabel 2.1. Sistem Klasifikasi Tanah USCS

(Sumber : Mekanika Tanah I – Hary Christady Hardiyantmo)

Divisi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama Jenis		
Tanah berbutir kasar 50% butiran lempahan saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar ter-tahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4, \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ antara 1 dan 3}$ Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6, \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ antara 1 dan 3}$ Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$	
		Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	GP		
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung		
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung		
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus).	SW		Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.
			SP		Pasir gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM		Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC		Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML		Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung
			CL		Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clays")
OL			Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah.		
Lanau dan lempung batas cair > 50%		MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis.		
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")		
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi		
		P ₁	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi.		
Tanah dengan kadar organik tinggi	P ₁	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi.	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488		



1. Sistem Klasifikasi AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

Sistem klasifikasi tanah AASHTO dikembangkan untuk mengevaluasi kelayakan tanah yang akan digunakan dalam pembangunan jalan, terutama pada struktur seperti timbunan, lapisan subbase, dan subgrade. Sistem ini dirancang khusus untuk memenuhi kebutuhan dalam bidang teknik perkerasan jalan.

Dalam klasifikasi AASHTO, tanah dikelompokkan menjadi **delapan kategori utama**, yaitu A-1 hingga A-8, yang kemudian dapat dibagi lagi ke dalam subkelompok tertentu. Evaluasi jenis tanah dalam masing-masing kelompok dilakukan dengan menghitung **Indeks Kelompok** (Group Index/GI) menggunakan rumus empiris. Penentuan nilai GI ini didasarkan pada hasil **uji saringan** dan **pengujian batas Atterberg**, sebagaimana diuraikan dalam Table 2.2.

Indeks Kelompok (GI) berfungsi sebagai indikator tambahan untuk menilai kualitas tanah dalam kelompoknya. Nilai GI diperoleh melalui perhitungan dengan formula tertentu yang mempertimbangkan karakteristik fisik tanah.

$$GI = (F - 35)\{0,2 + 0,005(LL - 40)\} + 0,01(F - 15)(PI - 10)(1x37) \quad (2.1)$$

Keterangan :

GI	= Indeks Kelompok (<i>Group Index</i>)
F	= Persen Butiran Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)
LL	= Batas Cair
PI	= Indeks Plastisitas

Tabel 2.2. Sistem Klasifikasi AASHTO

(Sumber : Mekanika Tanah I – Hary Christady Hardiyantmo)

Klasifikasi Umum	Material granuler (<35% lolos saringan no. 200)						Tanah-tanah lanau-lempung (>35% lolos saringan no. 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisis saringan (% lolos)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,00 mm (no. 10)	30 maks	50 maks	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no. 40)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
0,075 mm (no. 200)											
Sifat fraksi lolos saringan no. 40											
Batas cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (G)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						Sedang sampai buruk				

2.1.2. Sifat-Sifat Teknis Tanah

Berikut di berikan penjelasan secara umum dari sifat-sifat teknis berbagai jenis tanah.

1. Tanah Granuler

Tanah granuler mencakup jenis-jenis tanah seperti pasir, kerikil, batu pecah, serta campurannya, dan dikenal memiliki sifat teknis yang unggul. Beberapa karakteristik utama dari jenis tanah ini antara lain:

- a. Memiliki kapasitas dukung yang tinggi dan mengalami penurunan yang relatif kecil saat dipadatkan dengan baik, sehingga sangat sesuai digunakan sebagai lapisan dasar bangunan maupun perkerasan jalan. Penurunan pada tanah ini umumnya terjadi segera setelah beban diberikan. Namun, bila tidak dalam kondisi padat, getaran dengan frekuensi tinggi dapat menyebabkan penurunan tambahan yang cukup besar.
- b. Sangat tepat digunakan sebagai material pengisi di belakang dinding penahan tanah maupun struktur bawah tanah karena mampu menghasilkan tekanan lateral yang rendah. Tanah jenis ini juga mudah untuk dipadatkan dan memiliki kemampuan drainase yang baik, memungkinkan air mengalir secara efisien.
- c. Cocok sebagai material timbunan karena proses pematatannya mudah dan memiliki kekuatan geser internal yang cukup besar.
- d. Kurang sesuai untuk digunakan dalam konstruksi tanggul, bendungan, atau kolam tanpa pencampuran dengan material kohesif, karena sifatnya yang sangat permeabel. Selain itu, proses penggalian pada tanah granuler yang jenuh air membutuhkan penanganan air yang efektif.

2. Tanah Kohesif

Tanah kohesif, seperti lempung, lempung yang mengandung lanau, serta lempung bercampur pasir atau kerikil, terdiri terutama dari butiran halus. Sifat kohesi menjadi faktor utama yang memengaruhi kekuatan geser tanah jenis ini. Secara umum, tanah kohesif memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. Memiliki kekuatan geser yang rendah, terutama ketika kandungan airnya tinggi atau dalam kondisi jenuh.
- b. Kekuatan gesernya akan menurun seiring bertambahnya kadar air.
- c. Gangguan pada struktur alami tanah dapat menyebabkan penurunan kekuatan geser.
- d. Dalam kondisi basah atau saat terdapat aliran air, tanah ini menunjukkan sifat plastis dan mudah mengalami pemampatan.
- e. Mengalami penyusutan ketika mengering dan dapat mengembang jika terkena air, terutama pada jenis lempung yang ekspansif.
- f. Volume tanah dapat berubah seiring waktu akibat fenomena merangkak (creep) di bawah beban tetap.
- g. Mempunyai sifat kedap air atau impermeabel.
- h. Kurang ideal digunakan sebagai material timbunan di belakang dinding penahan tanah karena dapat menghasilkan tekanan lateral yang besar, terutama saat terkena air hujan.

3. Tanah Lanau

Lanau adalah material tanah berbutir halus yang partikelnya mampu melewati saringan No. 200. Menurut Peck et al. (1953), lanau diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu lanau yang bersifat non-plastis dan tidak berkoheisi, menyerupai tepung atau bubuk batu, serta lanau yang memiliki sifat plastis. Secara teknis, lanau non-plastis cenderung memiliki karakteristik yang mirip dengan pasir halus. Karena ukuran butirannya yang sangat halus, lanau umumnya memiliki sifat-sifat yang kurang menguntungkan, antara lain

- a. Kuat geser rendah, segera sesudah penerapan beban.
- b. Kapilaritas tinggi.
- c. Permeabilitas rendah.
- d. Kerapatan relatif rendah dan sulit dipadatkan.

4. Tanah Organik

Tanah organik merupakan jenis tanah yang mengandung material organik dalam jumlah signifikan, yang dapat memengaruhi sifat teknisnya. Kandungan organik ini umumnya berasal dari sisa tumbuhan atau hewan yang telah mengalami proses pembusukan. Jumlah bahan organik dalam tanah biasanya dihitung berdasarkan perbandingan antara berat bahan organik dengan berat tanah kering oven. Untuk mengetahui berat bahan organik tersebut, sampel tanah dibakar untuk menghilangkan kandungan organiknya (McFarland, 1959).

Secara alami, hampir semua tanah mengandung bahan organik, meskipun dalam kadar yang rendah (sekitar 2%). Namun, kandungan organik yang kecil ini pun dapat menyebabkan tanah memiliki sifat yang kurang ideal untuk konstruksi. **Tanah dengan kadar organik tinggi** cenderung memiliki kekuatan geser rendah, mudah mengalami konsolidasi atau pemampatan, bersifat asam, dan memiliki sifat lain yang berpotensi merusak bahan bangunan. Oleh karena itu, jenis tanah ini umumnya **tidak direkomendasikan sebagai dasar fondasi** suatu struktur bangunan.

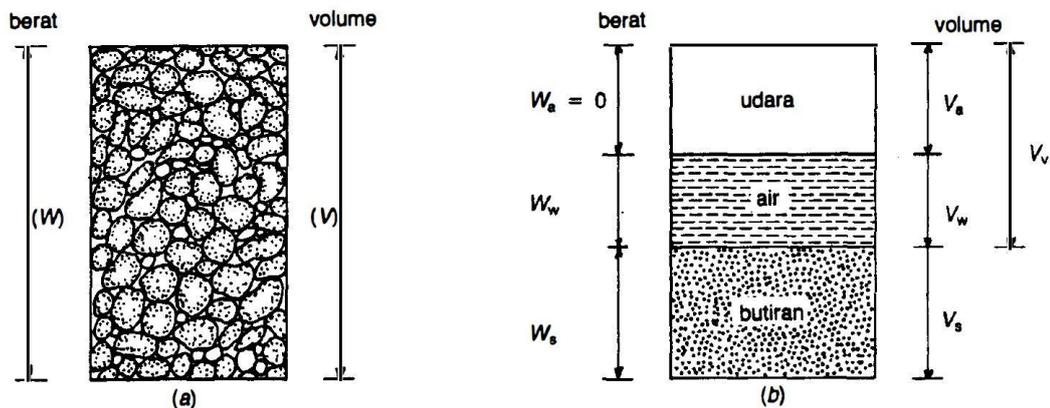
Lempung atau lanau organik adalah jenis tanah lempung atau lanau yang sifat teknisnya dipengaruhi oleh kandungan bahan organik di dalamnya. Dalam sistem klasifikasi tanah, lempung atau lanau dikategorikan sebagai organik jika nilai batas cairnya (Liquid Limit/LL) menurun hingga 75% setelah dikeringkan dalam oven, dibandingkan dengan nilai sebelum proses pemanasan (ASTM D2487).

Sementara itu, **gambut (peat)** adalah material organik yang sangat tidak cocok untuk dijadikan sebagai lapisan pendukung fondasi, karena sifatnya yang sangat mudah terkompresi. Oleh karena itu, dalam konstruksi, fondasi harus ditempatkan hingga mencapai lapisan tanah yang lebih stabil di bawah lapisan gambut

2.1.3. Komponen-Komponen Tanah

Tanah tersusun atas tiga elemen utama, yaitu air, udara, dan material padat. Dari ketiga komponen ini, udara memiliki pengaruh teknis yang relatif kecil, sedangkan air memainkan peran penting dalam menentukan sifat teknis tanah. Ruang antar partikel tanah, yang disebut pori-pori, dapat terisi oleh air, udara, atau campuran keduanya. Apabila seluruh pori-pori tersebut terisi air, maka tanah berada dalam kondisi jenuh. Sebaliknya, jika hanya sebagian pori-pori yang terisi air dan sisanya berisi udara, tanah dikatakan dalam kondisi jenuh sebagian. Sementara itu, tanah dianggap kering apabila tidak mengandung air sama sekali atau memiliki kadar air nol.

Dalam bidang teknik sipil, pemahaman terhadap hubungan antara kadar air, porositas, angka pori, berat isi, dan parameter fisik lainnya sangatlah krusial. Ilustrasi pada Gambar 2.2 menunjukkan representasi visual dari ketiga komponen tanah tersebut dan kondisi keberadaannya



Gambar 2.2. Diagram Fase Tanah

(Sumber : Teknik Fondasi I – Hary Chrstady Hardiyatmo)

Angka pori e , didefinisikan sebagai :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \tag{2.2}$$

dan Porositas (n) , didefinisikan sebagai :

$$n = \frac{V_v}{V} \tag{2.3}$$

Hubungan antara e dan n , adalah :

$$n = \frac{e}{1+e} \quad (2.4)$$

atau

$$e = \frac{n}{1-n} \quad (2.5)$$

Keterangan :

V_a = Volume Udara

V_ω = Volume Air

V_S = Volume Butiran Padat

V_v = Volume Rongga Pori = $V_a + V_\omega$

V = Volume Total = $V_v + V_S$

Kadar air (ω) :

$$W = \frac{W_W}{W_S} \times 100\% \quad (2.6)$$

Berat Volume Kering (γ_d) :

$$\gamma_d = \frac{W_S}{V} \quad (2.7)$$

Berat Volume Basah (γ_b) :

$$\gamma_b = \frac{W_S + W_W + W_a}{V} = \frac{W_S + W_W}{V} \quad (2.8)$$

Berat Volume Butiran Padat (γ_s) :

$$\gamma_s = \frac{W_S}{V_S} \quad (2.9)$$

Berat Jenis (Specific Gravity) (G_s) :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2.10)$$

Keterangan :

W = $W_S + W_\omega + W_a = W_S + W_\omega$

W_S = Berat Butiran Padat

W_ω = Berat Air

W_a = Berat Udara, dianggap sama dengan nol

γ_ω = Berat Volume Air

2.1.4. Daya Dukung Kekuatan Tanah

Analisis daya dukung kekuatan tanah bertujuan untuk mengevaluasi sampai mana kekuatan tanah dalam menahan beban dari struktur yang berdiri di atasnya. Daya dukung ini mencerminkan kapasitas kekuatan geser tanah untuk menahan penurunan akibat beban yang diterima, yakni kekuatan geser tanah sepanjang bidang gesernya.

Dalam perancangan fondasi, penting untuk mempertimbangkan risiko kegagalan geser dan penurunan berlebih. Oleh karena itu, ada dua kriteria utama yang harus dipenuhi, yaitu:

1. **Kriteria Stabilitas:** Harus terpenuhi faktor keamanan agar tanah tidak mengalami kegagalan akibat beban yang melebihi daya dukungnya. Umumnya, faktor keamanan yang digunakan dalam perhitungan daya dukung adalah sekitar 3.
2. **Kriteria Penurunan:** Penurunan fondasi harus berada dalam batas toleransi yang aman, khususnya penurunan tidak merata (differential settlement) yang tidak boleh menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan.

Untuk memastikan stabilitas struktur dalam jangka panjang, penentuan kedalaman fondasi perlu diperhatikan secara cermat. Fondasi sebaiknya diletakkan cukup dalam untuk menghindari dampak negatif seperti erosi permukaan, pengikisan, perubahan volume tanah akibat proses mengembang dan menyusut, serta potensi gangguan lain di sekitar lokasi fondasi.

Perhitungan daya dukung tanah biasanya dilakukan dengan pendekatan tertentu agar proses analisis menjadi lebih efisien. Metode ini menghubungkan sifat-sifat tanah dengan bentuk bidang geser yang terbentuk saat terjadi keruntuhan fondasi. Dalam pendekatan ini, tanah dianggap berperilaku plastis. Konsep tersebut pertama kali dikemukakan oleh **Prandtl** pada tahun 1921 dan selanjutnya disempurnakan oleh **Terzaghi (1943)**, **Meyerhof (1995)**, serta **De Beer dan Vesic (1958)**.

Sebagian besar rumus yang digunakan untuk menghitung daya dukung tanah didasarkan pada teori **Mohr-Coulomb**, yang menggambarkan hubungan antara tegangan dan kekuatan geser material.

Jika Anda ingin versi yang lebih singkat atau lebih teknis, saya bisa bantu sesuaikan juga.

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \varphi \quad (2.11)$$

Keterangan :

- τ = s = Tahanan Geser Tanah
- c = Kohesi Tanah
- φ = Sudut Gesek Dalam Tanah
- σ = Tegangan Normal

Dalam Analisis Terzaghi Daya Dukung Ultimit (*Ultimit Bearing Capacity*) (q_u) didefinisikan sebagai beban maksimum persatuan luas di mana tanah masih dapat mendukung beban tanpa mengalami keruntuhan. Bila dinyatakan dalam persamaan, maka :

$$q_u = \frac{P_u}{A} \quad (2.12)$$

Keterangan :

- q_u = Daya Dukung Ultimit
- P_u = Beban Ultimit
- A = Luas Fondasi

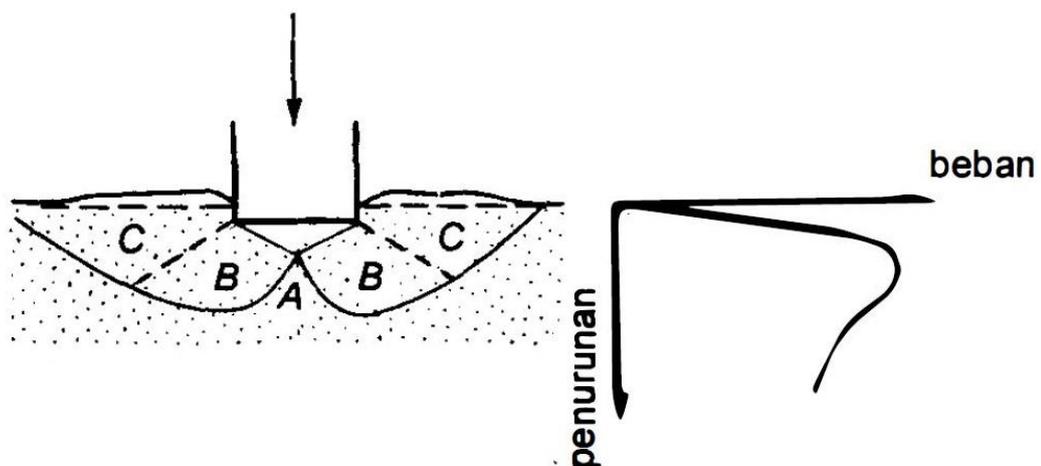
Adapun mekanisme keruntuhan fondasi berdasarkan pengujian model, Vesic (1963) membagi mekanisme keruntuhan fondasi menjadi 3 jenis:

1. Keruntuhan Geser Umum (*General Shear Failure*)

Keruntuhan pada fondasi terjadi melalui bidang runtuh yang dapat diidentifikasi dengan jelas. Di zona A, terbentuk sebuah baji tanah di bawah dasar fondasi yang memberikan tekanan ke bawah, sehingga memicu aliran plastis pada zona B. Pergerakan tanah yang mengarah keluar di kedua zona ini kemudian ditahan oleh tahanan tanah pasif pada zona C. Jika tahanan tanah

pasif di zona C terlewati, tanah akan bergerak dan menyebabkan pengembangan di sekitar fondasi.

Bidang longsor yang terbentuk umumnya memiliki pola berupa lengkungan dan garis lurus yang mencapai permukaan tanah. Pada saat keruntuhan, massa tanah bergerak ke arah luar dan ke atas (lihat Gambar 2.3). Keruntuhan geser ini biasanya terjadi secara mendadak dan sering disertai dengan tergulingnya fondasi.

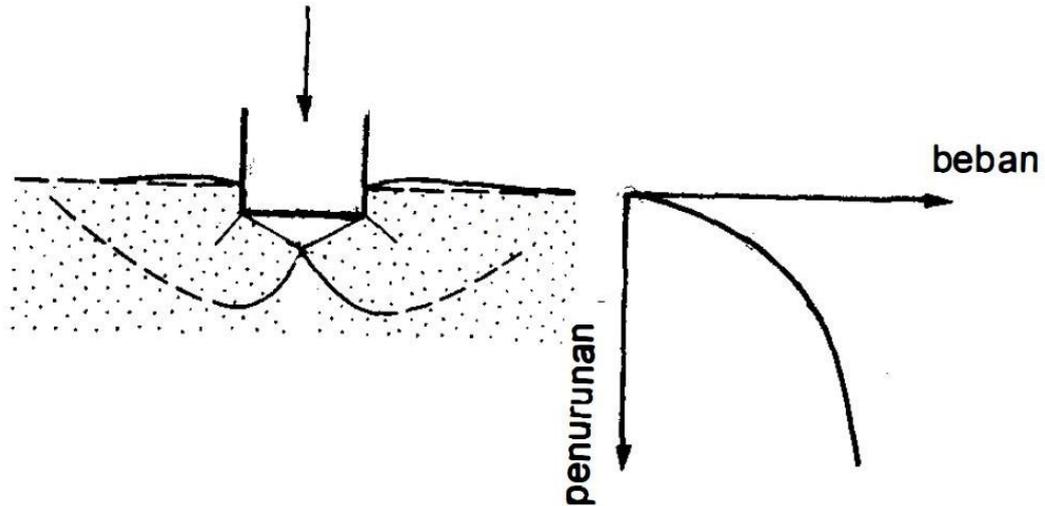


Gambar 2.3. Keruntuhan Geser Umum

(Sumber : Teknik Fondasi I – Hary Chrstady Hardiyatmo)

2. Keruntuhan Geser Lokal (*Local Shear Failure*)

Tipe runtuhannya ini mirip dengan runtuhannya geser umum, namun bidang keruntuhannya tidak berkembang secara penuh. Fondasi mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya beban pada kedalaman cukup dalam, sehingga menyebabkan tanah di sekitarnya mengalami pemadatan atau penyumbatan. Meskipun demikian, pemadatan tersebut belum mencapai kondisi kritis yang dapat memicu runtuhannya tanah, sehingga zona p lastis tidak terbentuk secara lengkap seperti pada runtuhannya geser umum. (Gambar 2.4).



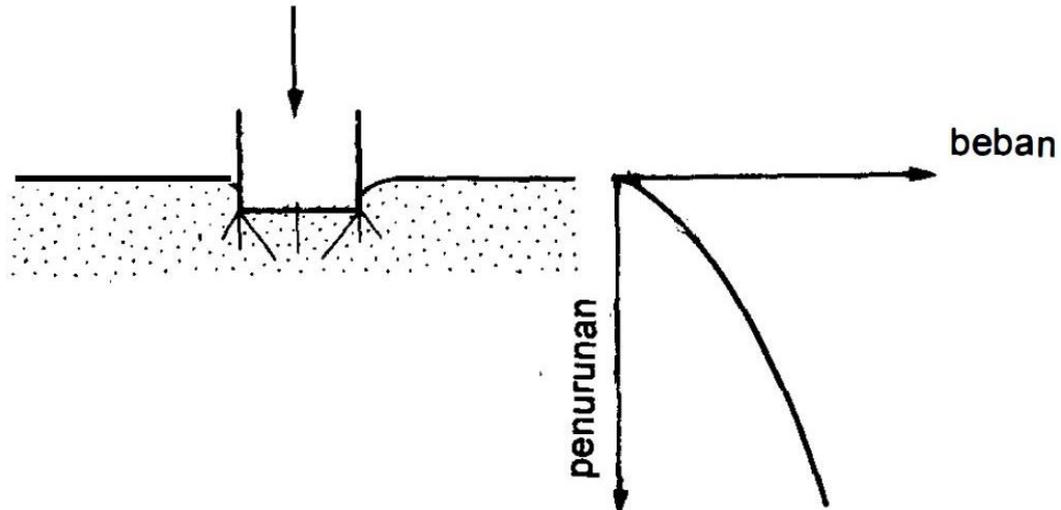
Gambar 2.4. Keruntuhan Geser Lokal

(Sumber : Teknik Fondasi I – Hary Chrstady Hardiyatmo)

3. Keruntuhan Penetrasi (*Penetration Failure or Punching Shear Failure*)

Pada tipe runtuh ini, bisa dikatakan bahwa runtuh geser tanah tidak terjadi. Beban yang diberikan pada fondasi menyebabkan fondasi menembus dan menekan tanah ke samping, mengakibatkan pemampatan tanah di sekitar fondasi. Penurunan fondasi bertambah hampir secara linier seiring dengan bertambahnya beban.

Pemadatan tanah yang disebabkan oleh penetrasi fondasi umumnya terbatas pada area tertentu yang berada langsung di bawah fondasi serta di sekeliling tepinya. Penurunan yang terjadi tidak cukup besar untuk menyebabkan pergeseran lateral signifikan yang dapat memicu kondisi keruntuhan tanah secara kritis, sehingga kekuatan geser maksimum tanah tidak tercapai. Fondasi memberikan tekanan vertikal ke tanah, membentuk suatu baji tanah di bawahnya yang kemudian mendorong tanah ke arah samping. Saat terjadi keruntuhan, bidang keruntuhannya tidak tampak secara jelas (Gambar 2.5).



Gambar 2.5. Keruntuhan Penetrasi

(Sumber : Teknik Fondasi I – Hary Chrstady Hardiyatmo)

2.1.5. Kuat Geser Tanah

Parameter kekuatan geser tanah memegang peranan penting dalam penilaian daya dukung tanah, stabilitas lereng, serta tekanan lateral yang bekerja pada dinding penahan tanah. Menurut teori yang dikemukakan oleh Mohr pada tahun 1910, keruntuhan suatu material terjadi saat kombinasi tegangan normal dan tegangan geser mencapai batas kritis. Hubungan antara tegangan normal dan geser pada bidang keruntuhan ini dapat dirumuskan sebagai:

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

di mana τ merupakan tegangan geser pada saat keruntuhan, dan σ adalah tegangan normal yang terjadi pada kondisi tersebut. Kurva kegagalan yang dihasilkan dari persamaan ini ditampilkan pada Gambar 2.6.

Kuat geser tanah dapat diartikan sebagai gaya tahan yang dihasilkan oleh partikel-partikel tanah untuk menolak gaya tekan atau tarik yang bekerja padanya. Secara umum, resistansi ini dipengaruhi oleh dua faktor utama ketika tanah menerima beban:

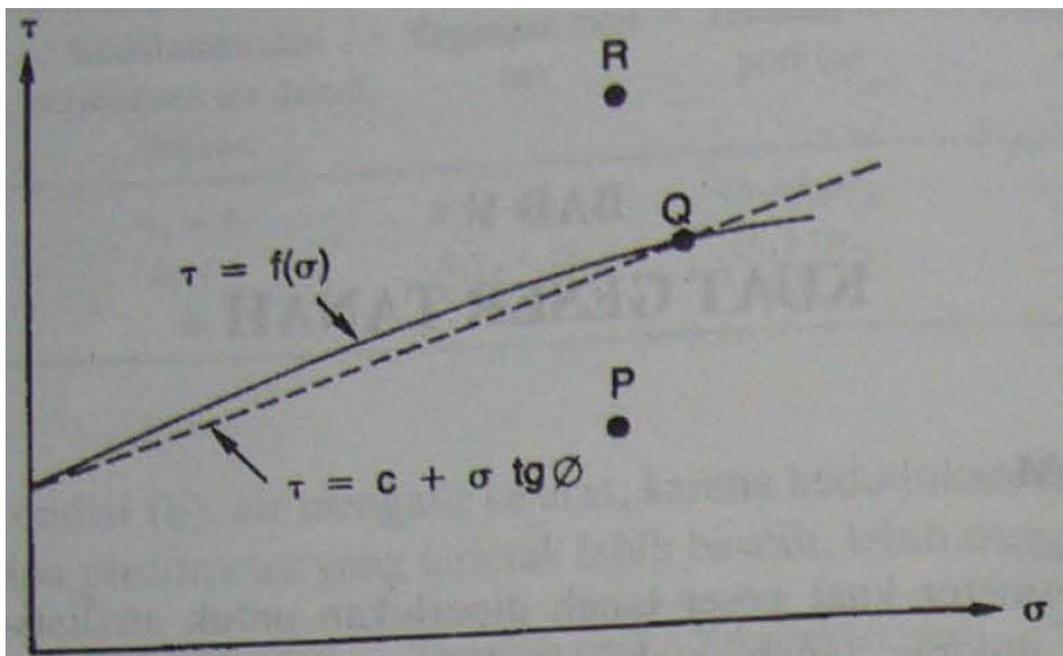
1. **Kohesi tanah:** Dipengaruhi oleh tipe dan kepadatan tanah, tetapi tidak bergantung pada besarnya tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2. **Gesekan antar butiran tanah:** Besarnya gaya gesekan ini sebanding dengan tegangan normal yang bekerja pada bidang geser

Coulomb (1776) mendefinisikan $f(\sigma)$ sebagai :

$$\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.14)$$

Keterangan :

- τ = Kuat Geser Tanah (kN/m^2)
- c = Kohesi Tanah (kN/m^2)
- φ = Sudut Gesek Dalam Tanah atau Sudut Gesek Intern (Derajat)
- σ = Tegangan Normal Pada Bidang Runtuh (kN/m^2)



Gambar 2.6. Kriteria Kegagalan Mohr dan Coulomb

2.2 Stabilitas Lereng

Pada tanah dengan permukaan miring atau tidak rata, gaya gravitasi menghasilkan komponen gaya yang mendorong massa tanah untuk bergerak menuruni lereng. Jika gaya ini melebihi kekuatan geser atau daya tahan tanah pada bidang longsor yang mungkin terjadi, maka tanah akan mengalami pergerakan yang dikenal sebagai longsor lereng. Penilaian kestabilan tanah pada lereng seperti ini disebut analisis stabilitas lereng, yang bertujuan mengukur tingkat keamanan lereng terhadap kemungkinan kegagalan. Analisis ini sangat penting dalam perencanaan dan pembangunan berbagai fasilitas seperti jalan, rel kereta api, bandara,

bendungan, timbunan, saluran air, serta proyek konstruksi lain yang melibatkan lereng. Biasanya, analisis ini dilakukan untuk mengevaluasi keamanan lereng alami, hasil galian, maupun timbunan buatan, dan hasilnya menjadi dasar dalam merancang sistem penahan lereng atau tindakan mitigasi guna mencegah longsor.

Analisis kestabilan lereng adalah proses yang kompleks karena melibatkan berbagai faktor, seperti susunan lapisan tanah, sifat anisotropik kekuatan geser tanah, serta aliran air yang masuk ke dalam tanah.

Kelongsoran pada lereng alami dapat dipicu oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Penambahan beban pada lereng, misalnya pembangunan struktur baru, masuknya air ke dalam pori-pori tanah, genangan air di permukaan, atau beban dinamis seperti angin yang meniup pohon.
2. Penggalian atau pemotongan tanah di bagian bawah lereng yang menghilangkan penopang alami, sehingga meningkatkan risiko longsor.
3. Pemertajaman kemiringan lereng akibat penggalian yang membuat lereng lebih curam dan meningkatkan peluang longsor.
4. Penurunan mendadak muka air (rapid drawdown), seperti saat permukaan air bendungan atau sungai turun cepat, menyebabkan lereng menjadi tidak stabil.
5. Tekanan lateral yang meningkat akibat air yang masuk ke retakan tanah dan mendorong tanah ke samping, memicu pergerakan massa tanah.
6. Guncangan akibat gempa bumi yang dapat mengganggu kestabilan lereng dan menyebabkan longsor.
7. Penurunan kekuatan geser tanah akibat peningkatan kadar air, tekanan air pori, rembesan air dalam tanah, atau keberadaan lempung yang rentan terhadap perubahan volume.

Analisis stabilitas lereng sangat krusial untuk mengenali potensi bahaya serta merancang strategi mitigasi yang efektif guna menjaga keamanan struktur dan lingkungan sekitar.

2.3 Prinsip-Prinsip Dasar Metode Irisan

“Semua metode irisan menyatakan kondisi kestabilan suatu lereng dinyatakan dalam suatu indeks yang disebut Faktor Aman (F) yang didefinisikan sebagai berikut“ :

$$F = \frac{s}{\tau} = \frac{\text{Kekuatan geser material yang tersedia}}{\text{Kekuatan geser yang diperlukan agar tepat setimbang}} \quad (2.15)$$

“Kekuatan geser suatu material yang berfungsi untuk menahan pergerakan agar lereng tetap stabil diungkapkan melalui kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb sebagai berikut.

$$s = c' + (\sigma_n - u) \tan \phi' \quad (2.16)$$

Keterangan :

s	= Kekuatan Geser	σ_n	= Tegangan Normal Total
c'	= Kohesi Efektif	u	= Tekanan Air Pori
ϕ'	= Sudut Gesek Efektif		

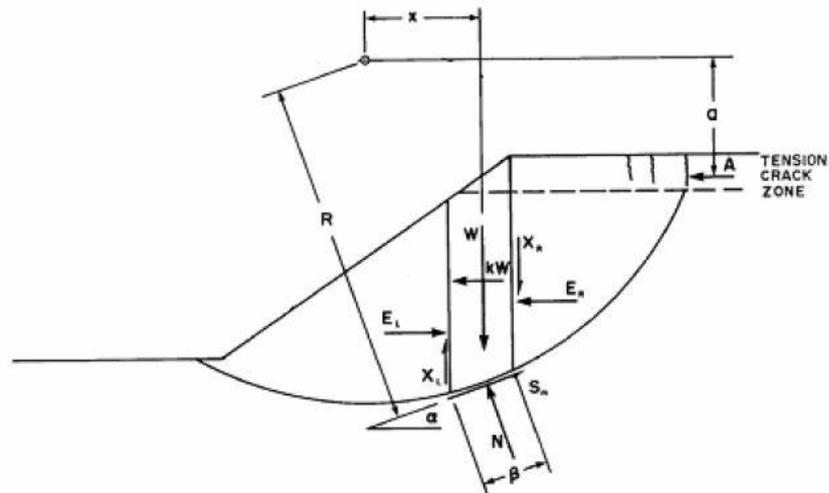
Kekuatan geser tersebut dianggap tidak tergantung pada kondisi tegangan-renggang yang ada pada lereng tanah.

Besarnya tahanan geser yang diperlukan agar lereng berada dalam kondisi tepat setimbang (S_m) dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut ini:

$$S_m = \frac{s\beta}{F} = \frac{(c' + (\sigma_n - u) \tan \phi')}{F} \quad (2.17)$$

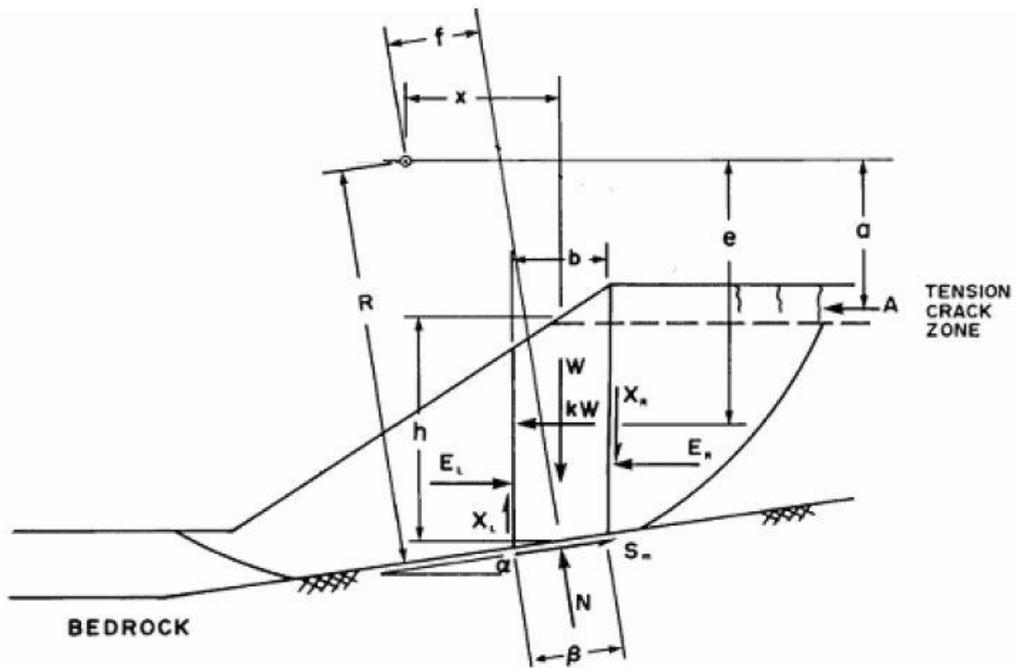
$$S_m = \frac{(N - u\beta) \tan \phi'}{F} \quad (2.18)$$

Aspek penting lainnya yang harus diperhatikan adalah penentuan atau asumsi terhadap bentuk geometri bidang gelincir. Untuk menyederhanakan perhitungan, bidang runtuh biasanya diasumsikan memiliki bentuk busur lingkaran, kombinasi busur lingkaran dan garis lurus, atau gabungan beberapa segmen garis lurus. Berbagai tipe bidang runtuh beserta gaya-gaya yang bekerja pada setiap irisan dapat dilihat pada Gambar 2.7 hingga Gambar 2.9.



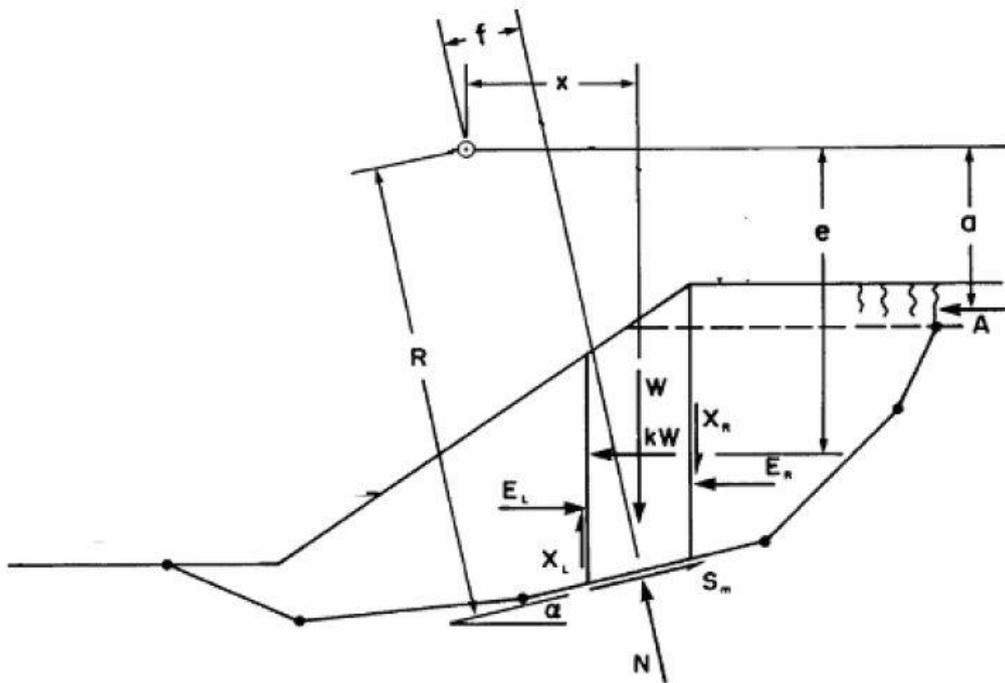
Gambar 2.7. Model reayasa Lereng alam den gan Bidang Runtuhan yang Berbentuk Sebuah Busur Lingkaran

(Sumber : Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Irisan)



Gambr 2.8. reayasa Lereng alam dengan Bidang Runtuhan yang Berupa Gabungan dari Sebuah Lingkaran dengan Segmen Lurus

(Sumber : Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Irisan)



Gambr 2.9. Model rekayasa Lereng dengan Bidang Runtuh yang Berupa Gabungan dari Beberapa Segmen Lurus (Multilinier)

(Sumber : Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Irisan)

Definisi dari variabel pada gambar-gambar di atas adalah sebagai berikut :

W = Berat total irisan

N = Gaya normal pada dasar irisan

S_m = gaya geser pada dasar irisan yang diperlukan agar irisan berada dalam kondisi tepat setimbang.

E = Gaya antar-irisan horizontal : titik bawah L dan R menunjukkan masing masing untuk sebelah kiri dan kanan dari irisan.

X = Gaya antar-irisan vertikal : titik bawah L dan R menunjukkan masing masing untuk sebelah kiri dan kanan dari irisan.

kW = "Radius lingkaran untuk bidang runtuh busur pusat massa irisan, dimana k adalah koefisien seismic. "

R = "Radius lingkaran untuk bidang runtuh busur lingkaran atau lengan memendangi gaya geser S_m terdapat pusat momen untuk bidang runtuh yang bukan busur lingkaran. "

f = Jarak tegak lurus dari gaya normal N terhadap pusat momen.

x = Jarak horizon tal dari pusat massa irisan terhadap pusat momen.

- e = Jarak vertikal dari pusat massa irisan terhadap pusat momen.
- h = Tinggi rata-rata irisan
- b = Lebar irisan
- β = Panjang dasar irisan ($\beta = b \sec \alpha$)
- a = Jarak vertikal dari gaya hidrostatis terhadap pusat momen.
- A = Gaya hidrostatis pada retakan Tarik.
- α = Sudut ke miringan dari garis singgung pada titik di tengah dasar irisan terhadap bidang horisontal. Sudut ke miringan bernilai positif apabila searah dengan kemiringan lereng dan bernilai negatif apabila berlawanan arah dengan kemiringan lereng

Pada kondisi tanah dengan permukaan yang miring atau tidak rata, gaya gravitasi menghasilkan komponen yang mendorong massa tanah untuk bergerak menuruni lereng. Ketika gaya ini melebihi kekuatan geser atau daya tahan tanah pada bidang longsor yang berpotensi, pergerakan tanah atau longsor lereng dapat terjadi. Penilaian terhadap kestabilan lereng tersebut disebut analisis stabilitas lereng, yang bertujuan mengukur tingkat keamanan lereng terhadap risiko kegagalan. Analisis ini sangat penting dalam perencanaan dan pembangunan infrastruktur seperti jalan, rel kereta api, bandara, bendungan, timbunan, saluran air, dan proyek konstruksi lain yang melibatkan lereng. Biasanya, analisis ini dilakukan untuk mengevaluasi keamanan lereng alami, lereng hasil galian, maupun timbunan buatan. Hasil evaluasi tersebut menjadi dasar dalam merancang sistem penahan lereng atau tindakan mitigasi untuk mencegah longsor.

Proses analisis kestabilan lereng tergolong kompleks karena dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain lapisan tanah, sifat anisotropi kekuatan geser tanah, serta infiltrasi air ke dalam tanah.

Beberapa penyebab kelongsoran pada lereng alami meliputi:

1. Penambahan beban pada lereng, seperti pembangunan struktur baru, masuknya air ke pori-pori tanah, genangan air di permukaan, atau beban dinamis seperti angin yang menggoyangkan tumbuhan.
2. Penggalan atau pemotongan tanah di bagian bawah lereng yang menghilangkan penopang alami, meningkatkan risiko longsor.

3. Peningkatan kemiringan lereng akibat penggalian, yang membuat lereng menjadi lebih curam sehingga memperbesar kemungkinan longsor.
4. Penurunan muka air secara cepat (rapid drawdown), misalnya perubahan mendadak permukaan air di bendungan atau sungai, yang dapat mengganggu kestabilan lereng.
5. Tekanan lateral air yang meningkat akibat masuknya air ke retakan tanah, memberikan dorongan ke samping yang mendorong pergerakan massa tanah.
6. Guncangan akibat gempa bumi yang dapat mengganggu kestabilan lereng dan memicu longsor.
7. Penurunan kekuatan geser tanah yang disebabkan oleh kenaikan kadar air, tekanan air pori, rembesan air, atau keberadaan lempung yang mudah berubah volume.

Analisis stabilitas lereng sangat diperlukan untuk memahami potensi risiko dan merancang langkah mitigasi yang efektif demi menjaga keamanan struktur dan lingkungan sekitar.

Untuk metode analisis, terdapat dua kelompok berdasarkan pemenuhan kondisi kesetimbangan:

- Metode yang tidak sepenuhnya memenuhi kondisi kesetimbangan gaya dan momen, seperti Metode Irisan Biasa, Metode Bishop yang Disederhanakan, Metode Janbu yang Disederhanakan, dan Metode Corps of Engineer.
- Metode yang memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan momen, seperti Metode Spencer, Metode Morgenstern-Price, dan Metode Kesetimbangan Batas Umum

Table 2.3. Persamaan

(Sumber : Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Irisan)

Persamaan	Keterangan
n	Kesetimbangan momen untuk tiap irisan
n	Kesetimbangan gaya dalam arah vertikal
n	Kesetimbangan gaya dalam arah horisontal
n	Kesetimbangan keruntuhan (Persamaan Mohr-Coulomb)
4n	Jumlah total persamaan

3

Table 2.4. Variabel yang Tidak Diketahui*(Sumber : Analisis Ke stabilan Lereng dengan Metode Irisan)*

Variabel yang Tak Diketahui	Variabel
1	Faktor Keamanan (F)
n	Gaya normal pada dasar tiap irisan (N)
n	Titik kerja gaya Normal pada dasar tiap irisan
n	Gaya geser pada dasar tiap irisan (S_m)
$n - 1$	Gaya geser antar-irisan (X)
$n - 1$	Gaya normal antar-irisan (E)
$n - 1$	Titik kerja gaya antar-irisan (garis dorong)
$6n - 2$	Jumlah total variabel yang tidak diketahui

Table 2.5. Asumsi-Asumsi yang Digunakan oleh Beberapa Metode Irisan
(Sumber : Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Irisan)

Metode	Asumsi
Irisan Biasa (Fellenius)	Resultan gaya antar-irisan sama dengan nol dan bekerja sejajar dengan permukaan bidang runtuh.
Bishop yang Disederhanakan	Gaya geser antar-irisan sama dengan nol ($X=0$).
Janbu yang Disederhanakan	Gaya geser antar-irisan sama dengan nol ($X=0$). Faktor koreksi digunakan sebagai faktor empiris untuk memasukkan efek dari gaya geser antar irisan.
Janbu yang Umum	Letak gaya antar-irisan didefinisikan oleh garis gaya antar-irisan yang diasumsikan.
Lowe-Karafiath	Kemiringan dari resultan gaya geser dan normal antar-irisan sama dengan rata-rata dari kemiringan permukaan lereng dan kemiringan bidang runtuh.
Corps of EGINEERS	Kemiringan dari resultan gaya geser dan normal antar-irisan besarnya sama dengan : <ul style="list-style-type: none"> • Kemiringan permukaan lereng. • Kemiringan dari kaki bidang runtuh ke puncak bidang runtuh.
Spencer	Kemiringan dari resultan gaya geser dan normal antar-irisan adalah sama untuk semua irisan.
Morgenstern-Price	Kemiringan gaya geser antar irisan besarnya sebanding dengan fungsi tertentu yang diasumsikan.
Kesetimbangan Batas Umum	Sudut gaya antar irisan besarnya sebanding dengan fungsi tertentu yang diasumsikan.

Table 2.6. Kondisi Kesetimbangan yang Dipenuhi*(Sumber : Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Irisan)*

Metode	Kesetimbangan Gaya		Kesetimbangan Momen
	Vertikal	Horisontal	
Irisan Biasa (Fellenius)	Tidak	Tidak	Ya
Bishop yang Disederhanakan	Ya	Tidak	Ya
Janbu yang Disederhanakan	Ya	Ya	Tidak
Janbu yang Umum	Ya	Ya	Tidak
Lowe-Karafiath	Ya	Ya	Tidak
Corps of Engineers	Ya	Ya	Tidak
Spencer	Ya	Ya	Ya
Morgenstern-Price	Ya	Ya	Ya
Kesetimbangan Batas umum	Ya	Ya	Ya

Karena lokasi pasti bidang keruntuhan sulit ditentukan sejak awal, maka beberapa dugaan awal tentang posisi bidang keruntuhan perlu dibuat. Setiap dugaan tersebut kemudian dianalisis untuk menghitung faktor keamanannya. Bidang keruntuhan yang menghasilkan faktor keamanan terendah dianggap sebagai bidang keruntuhan paling kritis. Penentuan bidang kritis ini bisa dilakukan dengan pendekatan coba-coba (trial and error) atau menggunakan metode optimasi

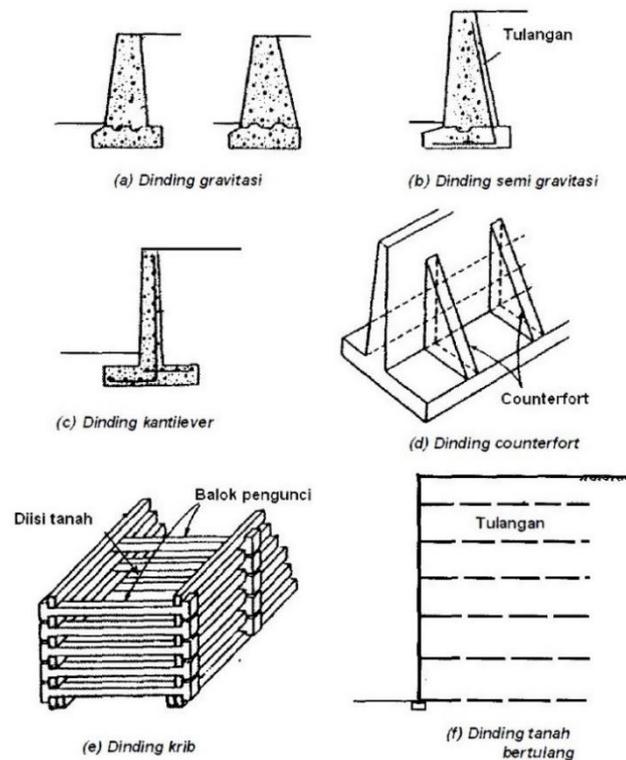
“

2.4 Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah dirancang untuk menahan tekan lateral yang muncul akibat tanah urugan maupun tanah dasar asli yang cenderung kurang stabil. Struktur ini sering digunakan dalam berbagai proyek infrastruktur seperti sistem irigasi, jalan raya, pelabuhan, dan lain-lain. Selain berfungsi sebagai elemen struktur bawah, komponen fondasi seperti ruang bawah tanah (basement) dan abutmen jembatan juga berperan dalam menahan tekanan tanah di sekitarnya. Stabilitas dinding penahan tanah sangat bergantung pada total berat struktur serta beban tanah yang berada di atas pelat fondasinya. Besarnya tekanan tanah dan pola distribusinya pada dinding sangat dipengaruhi oleh sejauh mana tanah mengalami pergerakan lateral relatif terhadap dinding tersebut.

2.4.1 Jenis Dinding Penahan Tanah

Ada beberapa jenis dinding penahan tanah, antara lain (Gambar 2.10):



Gambr 2.10. Berbagai jenis Dinding Penahan Tanah

(Sumber : Analisis dan Perancangan Fondasi - Bagian I - Hary Christady Hardiyatmo)

1. Dinding Gravitasi

Dinding gravitasi merupakan jenis dinding penahan yang dibuat dari beton tanpa tulangan atau menggunakan susunan batu kali. Pada beberapa kasus, beton ini diberi sedikit tulangan pada permukaannya guna mencegah retak akibat perubahan suhu (lihat Gambar 2.10.a).

2. Dinding Semi Gravitasi

Dinding semi gravitasi adalah variasi dari dinding gravitasi dengan ketebalan yang lebih tipis. Karena bentuknya yang lebih ramping, tulangan beton hanya dipasang pada bagian dinding dan berfungsi sebagai pengikat yang menghubungkan dinding dengan fondasi (lihat Gambar 2.10.b).

3. Dinding Kantilever

Dinding kantilever terdiri dari kombinasi dinding dan pelat beton bertulang

berbentuk huruf T. Kedua komponen ini tipis dan dilengkapi dengan tulangan lengkap untuk menahan momen dan gaya geser yang bekerja pada struktur (lihat Gambar 2.10.c).

4. Dinding Counterfort

Dinding counterfort adalah dinding beton bertulang yang memiliki ketebalan tipis dan diperkuat dengan pelat atau dinding vertikal yang disebut counterfort, dipasang dengan jarak tertentu di bagian dalam dinding. Area di atas pelat fondasi yang terletak di antara counterfort diisi dengan tanah urug (lihat Gambar 2.10.d).

5. Dinding Krib

Dinding krib dibentuk dari balok-balok beton yang disusun sedemikian rupa untuk membentuk struktur penahan tanah (lihat Gambar 2.10.e).

6. Dinding Tanah Bertulang (Reinforced Earth Wall)

Dinding tanah bertulang adalah struktur yang terbuat dari timbunan tanah yang diperkuat menggunakan bahan khusus seperti geosintetik atau elemen logam untuk meningkatkan kestabilan dinding (lihat Gambar 2.10.f).

2.4.2 Tekanan Tanah Lateral

Tanah merupakan hal yang sangat penting. Besarnya tekanan serta pola distribusinya sangat bergantung pada adanya pergerakan atau deformasi lateral tanah terhadap dinding. Dalam beberapa situasi, analisis tekanan lateral dilakukan berdasarkan kondisi regangan yang terjadi. Namun, apabila asumsi yang digunakan dalam perhitungan tidak sesuai dengan kondisi aktual di lapangan, maka dapat terjadi kesalahan dalam perencanaan struktur. Oleh karena itu, penguasaan terhadap hubungan antara regangan lateral tanah dan tekanan yang diterima oleh dinding menjadi faktor yang sangat vital.

2.4.3 Tekanan Tanah saat Diam, Aktif dan Pasif

Dilihat dari sebuah dinding penahan tanah yang memiliki permukaan tanah datar seperti pada Gambar 2.8.a, kondisi awal dinding dan tanah urug di belakangnya berada dalam keadaan diam. Oleh karena itu, tanah pada posisi ini masih berada

dalam kondisi elastis. Pada keadaan tersebut, tekanan tanah yang bekerja pada dinding disebut sebagai Tekanan Tanah Saat Diam (Earth Pressure at Rest) pada kedalaman tertentu (z), yang dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

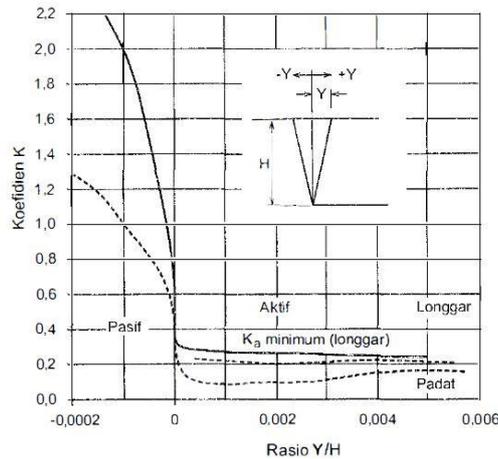
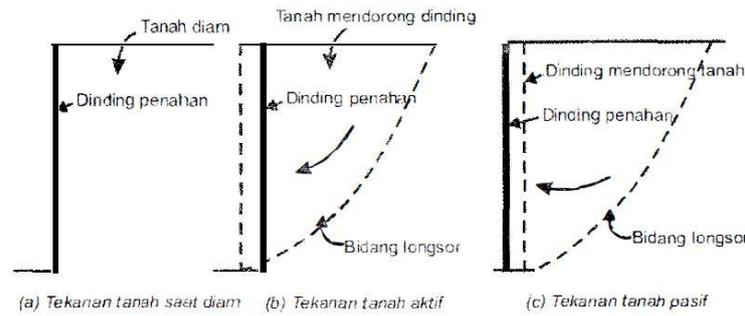
$$\sigma_h = K_o \sigma_v = K_o z \gamma \quad (2.19)$$

Keterangan :

K_o = Koefisien Tekanan Tanah tidak bergerak (Diam)
= Berat Volume Tanah (kN/m^3)

Apabila dinding penahan tanah bergeser dan hilangnya massa tanah urugan (lihat Gambar 2.8.b), dan pergerakan ini di ikuti oleh pembekuan tanah di belakang dinding, maka tekan tanah lateral pada dinding secara bertahap akan berkurang. Bersamaan itu, penahan tanah berkembang secara penuh. Pada titik tertentu, pergerakan dinding yang berkelanjutan akan menyebabkan terjadinya keruntuhan pergeseran pada tanah, dan tekanan tanah lateral akan mencapai nilai konstan pada kondisi minimum. Tekanan minimum ini, yang timbul akibat pergerakan dinding menjauhi tanah di belakang dan menyebabkan kegagalan geser tanah, dikenal sebagai **tekanan Tanah Aktif (Tekanan Bumi Aktif)**.

Sebaliknya, pada kondisi tekan, yaitu ketika tanah mengalami tekanan akibat dorongan dari dinding penahan (lihat Gambar 2.11.c), regangan lateral yang terjadi menuntut gaya yang jauh lebih besar dibandingkan tekanan tanah biasa yang bekerja terhadap dinding. Seiring dengan pergerakan dinding ke arah tanah, regangan dalam tanah meningkat, dan gaya yang di butuhkan untuk menekan tanah secara lateral juga semakin besar. Sampai pada titik tertentu, tanah tidak lagi mampu menahan desakan tersebut dan mengalami keruntuhan geser. Pada kondisi ini, tekanan tanah lateral mencapai nilai maksimum yang konstan. Tekanan maksimum ini, yang menyebabkan keruntuhan pergeseran akibat dorongan dinding terhadap tanah urugan, dikenal sebagai **Tekanan Tanah Pasif (Passive Earth Pressure)**.



Gambar 2.11. Tekanan Tanah Lateral

(Sumber : “Analisis dan Perancangan Fondasi - Bagian I - Hary Christady Hardiyatmo“)

2.4.4 Pengaruh Beban di atas Tanah Urug

1. Beban Ter bagi Rata

Beban merata (q) yang bekerja di atas tanah urugan dapat diperlakukan sebagai setara dengan lapisan tanah setebal h_s , yang memiliki berat jenis volume (γ) tertentu. Oleh karena itu, tinggi lapisan setara tersebut dapat dihitung dengan rumus $h_s = q/\gamma$. Tekanan tanah aktif yang dihasilkan pada kedalaman h_s dari permukaan tanah setara tersebut dapat dinyatakan sebagai

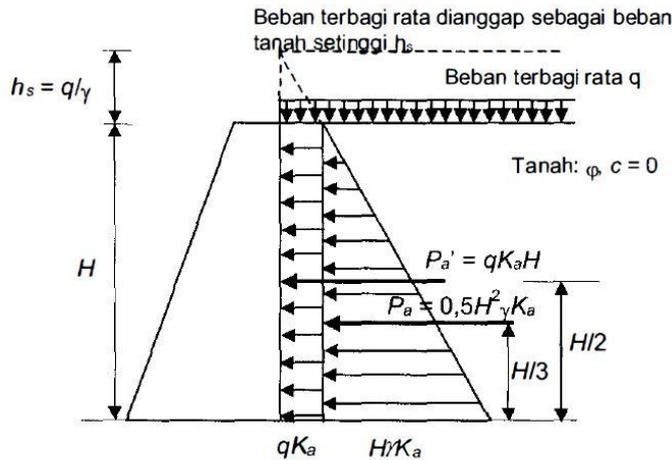
$$p_a = h_s \gamma K_a = q K_a \tag{2.20}$$

Keterangan:

- q = Beban merata (kN/m^2)
- H = Tinggi dinding penahan (m)

- K_a = Koefisien tekanan tanah aktif
- γ = Berat jenis volume tanah (kN/m^3)

Diagram tekanan tanah aktif yang terjadi jika dinding penahan tanah dipengaruhi oleh beban merata di atas tanah urug ditampilkan pada **Gambar 2.12**



Gambr 2.12. Dia gram Tekann Tanah Aktif Akibat Beban

Terbagi Rata q untuk Teori Rankine

(Sumber : Analisis dan Perancangan Fondasi - Bagian I - Hary Christady Hardiyatmo)

2. Beban Titik

Tekanan lateral tanah yang disebabkan oleh beban titik PPP yang bekerja di atas tanah urugan dapat dihitung menggunakan rumus Boussinesq, dengan asumsi bahwa nilai Poisson (μ) adalah 0,5 (Spangler, 1938). Untuk kasus beban titik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13.a, tekanan lateral tanah pada kedalaman zzz terhadap dinding dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma_h = \frac{3P}{2\pi} \frac{3x^2z}{(x^2+z^2)^{5/2}} \tag{2.21.a}$$

Substitusi $x = mH$, $z = nH$ dan $\sigma_x = \sigma_h$, diperoleh :

$$\sigma_h = \frac{3P}{2\pi H^2} \frac{3x^2z}{(x^2+z^2)^{5/2}} \tag{2.21.b}$$

Dari penelitian Gerber (1929) dan Spangler (1938), persamaan tersebut mendekati kenyataan bila di ubah menjadi :

$$\sigma_h = \frac{1,77P}{H^2} \frac{m^2n^2}{(m^2+n^2)^3} \quad \text{untuk } m > 0,4 \tag{2.22.a}$$

$$\sigma_h = \frac{0,28P}{H^2} \frac{n^2}{(0,16+n^2)^3} \quad \text{untuk } m \leq 0,4 \quad (2.22.b)$$

3. Beban Garis

Dalam praktik lapangan, beban garis dapat berasal dari elemen struktural seperti dinding beton, pagar, saluran, dan sejenisnya. Tekanan lateral tanah yang dihasilkan oleh beban garis dengan intensitas q per satuan lebar (lihat Gambar 2.13.b), dapat dihitung menggunakan rumus Boussinesq, yang dirumuskan sebagai berikut

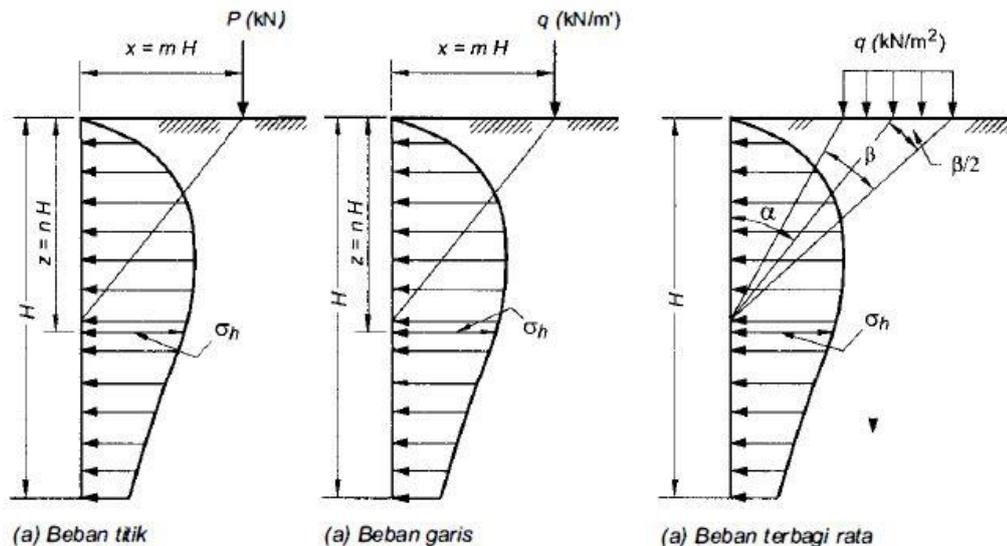
$$\sigma_h = \frac{2qm^2}{\pi H(m^2+n^2)^2} \quad (2.23)$$

“Dari pengamatan *Terzaghi* (1954), nilai yang diperoleh mendekati kenyataan bila **Persamaan (2.18)**, dimodifikasi menjadi : “

$$\sigma_h = \frac{4q}{\pi H} \frac{m^2 n}{(m^2+n^2)^2} \quad \text{untuk } m > 0,4 \quad (2.24.a)$$

$$\sigma_h = \frac{q}{H} \frac{0,203n}{(0,6+n^2)^2} \quad \text{untuk } m \leq 0,4 \quad (2.24.b)$$

Dia gram tekanan tanah lateral yang mempengaruhi beban garis dapat dilihat pada **Gambr 2.13.b** berikut ini :



Gambr 2.13. Tekanan Tanah pada Dinding Akibat Beban, Beban Titik, Beban Garis dan Beban Terbagi Rata Memanjang
 (Sumber : Analisis dan Perancangan Fondasi -

Bagian I - Hary Christady Hardiyatmo)

4. Beban Terbagi Rata Memanjang

Dalam pengujian, beban merata sepanjang panjang tertentu (qq) dapat berasal dari berbagai sumber seperti jalan raya, rel kereta api, urugan tanah, dan lain. Tekanan lateral tanah yang dihasilkan oleh beban ini dapat dihitung menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Terzaghi (1943), yaitu sebagai berikut:

$$\sigma_h = \frac{2q}{\pi} (\beta - \sin\beta \cos 2\alpha) \quad (2.25)$$

Dimana α dan β adalah sudut (dalam radian) yang ditunjukkan dalam **Gambar 2.11.c**. Dalam gambar tersebut ditunjukkan pula bentuk diagram tekanan lateralnya.

2.4.5 Stabilitas Dinding Penahan

Berbagai gaya yang memengaruhi stabilitas dinding penahan tanah meliputi berat dari struktur dinding itu sendiri (W), tekanan tanah aktif dari tanah urug di belakang dinding (P_a), tekanan tanah pasif di bagian depan dinding (P_p), tekanan air pori dalam tanah (P_w), serta reaksi tanah pada dasar fondasi (R). Seluruh gaya ini perlu dianalisis secara teliti untuk memastikan kestabilan dinding, terutama ketika terjadi tekanan akibat aliran rembesan air yang dapat meningkatkan kadar air dalam tanah, sehingga volume tanah di belakang dinding bertambah. Peningkatan berat tanah urug tersebut dapat memengaruhi stabilitas dengan menimbulkan gaya angkat (uplift) baik pada bidang keruntuhan maupun pada dasar fondasi. Selain itu, tekanan pasif di bagian depan dinding juga bisa berkurang. Untuk menjaga kestabilan dinding penahan, dilakukan evaluasi dan analisis sebagai berikut:

1. **Stabilitas Terhadap Gaya Geser**

Gaya yang cenderung menggeser dinding penahan akan ditahan oleh gaya gesek antara tanah dan fondasi, serta oleh tekanan tanah pasif. Nilai faktor keamanan terhadap gaya geser dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \geq 1,5 \text{ Untuk Tanah Granuler} \quad (2.26.a)$$

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \geq 2 \text{ Untuk Tanah Kohesif} \quad (2.26.b)$$

1. Stabilitas Terhadap Penggulingan

Dinding penahan tanah dapat mengalami kegagalan berupa guling akibat tekanan lateral dari tanah urug di belakangnya, dengan titik rotasi terjadi pada bagian depan alas fondasi. Untuk mengevaluasi stabilitas terhadap guling, dilakukan perhitungan menggunakan faktor keamanan terhadap momen guling, yang dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \geq 1,5 \text{ buat Tanah Granuler} \quad (2.27.a)$$

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \geq 2 \text{ buat Tanah Kohesif} \quad (2.27.b)$$

2. Stabilitas Terhadap Keruntuhan Kepastian Dukung Tanah

Persamaan untuk perhitungan stabilitas ini sama halnya dengan perhitungan persamaan untuk kapasitas dukung tanah. Sedangkan persamaan untuk faktor aman berdasarkan pada persamaan di bawah ini adalah :

$$F = \frac{q_w}{q} \geq 3 \quad (2.28)$$

3. Penurunan

Seperti halnya struktur lainnya, dinding penahan tanah juga dapat mengalami penurunan. Prinsip dasar untuk menghitung penurunan ini sama seperti perhitungan penurunan pada fondasi.

Selain mengalami penurunan akibat beban, dinding penahan tanah juga dapat mengalami kemiringan karena rotasi pada ujung kaki fondasinya. Umumnya, kemiringan ini terjadi ke arah luar (menjauh dari tanah urug), karena gaya resultan biasanya berada di antara tengah dan tepi luar fondasi. Kemiringan akibat momen guling cukup sulit untuk dihitung secara akurat. Dalam perencanaan, kemiringan maksimum biasanya dibatasi hingga $0,01H$, di mana H adalah tinggi dinding penahan.

Namun, ada juga kondisi di mana dinding penahan miring ke arah dalam (bagian fondasi di bawah tanah urug mengalami penurunan lebih besar). Hal ini disebabkan oleh berat tanah urug dan struktur dinding itu sendiri, yang menyebabkan penurunan lebih signifikan pada area fondasi di bawah tanah urug. Oleh karena itu, pengujian tanah—terutama uji konsolidasi—perlu dilakukan untuk memperkirakan besarnya penurunan dan kemiringan. Jika kemiringan terlalu besar, langkah-langkah perbaikan seperti pengubahan desain struktur, perbaikan tanah menggunakan pasir dan batu, atau penerapan fondasi tiang dapat dilakukan.

Jika dinding berdiri di atas tanah fondasi yang normal, posisi gaya vertikal resultan (V) sebaiknya berada di sepertiga bagian tengah dari lebar fondasi. Pada tanah berbatu, eksentrisitas resultan dapat dibiarkan lebih besar, umumnya hingga $e < (B/4)$. Namun, untuk tanah yang sangat lunak, resultan gaya vertikal V harus berada dekat dengan pusat fondasi, karena tekanan tanah meningkat drastis jika eksentrisitas bertambah. Ketika gaya resultan tidak berada di tengah, bagian luar fondasi akan mengalami penurunan lebih besar dibanding bagian dalam, dan ini akan memperbesar eksentrisitas yang sudah ada, meningkatkan risiko ketidakstabilan hingga struktur mencapai kegagalan.

Dalam beberapa kasus, dinding penahan tanah dibuat cukup panjang, bahkan hingga puluhan meter. Pada kondisi ini, sifat tanah di sepanjang panjang dinding bisa bervariasi, yang menyebabkan penurunan tidak merata dan kemiringan yang sulit dihindari. Untuk mengatasi hal ini, sambungan-sambungan antar segmen dinding perlu disediakan agar pergerakan atau penurunan pada satu bagian tidak memengaruhi bagian lainnya.

2.4.6 Penentuan Sifat-Sifat Teknis Tanah Urug

Pemilihan material tanah urug sangat bergantung pada ketersediaan bahan di sekitar area proyek. Umumnya, tanah berbutir kasar (granular) lebih dipilih karena memiliki kekuatan geser yang relatif stabil meskipun kadar air berubah. Sebaliknya, tanah kohesif seperti lempung cenderung mengalami penurunan kekuatan geser jika kadar air meningkat, yang dapat menyebabkan naiknya tekanan lateral pada dinding

penahan. Berdasarkan pengalaman di lapangan, penggunaan tanah urug dari jenis lempung seringkali menimbulkan kendala pada kestabilan dinding penahan tanah. Nilai berat volume (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ) yang digunakan dalam analisis tekanan lateral sebaiknya berasal dari hasil pengujian tanah yang representatif terhadap kondisi di lapangan. Idealnya, data ini dikumpulkan sebelum tahap perancangan dimulai. Jika pengujian tidak memungkinkan, maka nilai-nilai tersebut perlu diperkirakan berdasarkan jenis material yang tersedia, dan pelaksanaan konstruksi harus disesuaikan agar tetap sesuai dengan asumsi-asumsi desain. Nilai c dan ϕ umumnya diperoleh melalui pengujian geser langsung atau uji triaxial.

Dalam pendekatan semi-empiris untuk merancang dinding penahan tanah, langkah awal adalah memilih material dari lima kategori yang telah diklasifikasikan oleh Terzaghi dan Peck (1948), serta Wu (1975). Jenis-jenis tanah urug yang direkomendasikan adalah sebagai berikut:

1. **Tanah berbutir kasar tanpa partikel halus**, seperti pasir bersih atau kerikil yang sangat mudah dilalui air. Dalam klasifikasi tanah Unified (USCS), jenis ini termasuk GW, GP, SW, dan SP. Dengan sistem drainase yang baik, tekanan air pori di belakang dinding hampir tidak muncul bahkan saat musim hujan.
2. **Tanah kasar seperti pasir dan kerikil yang mengandung lanau**, dengan permeabilitas sedang hingga rendah. Termasuk dalam klasifikasi GM-GP, GM-GW, SM-SP, dan SM-SW. Jenis ini tidak selalu menjamin tekanan air pori nol, sehingga tetap perlu perhatian dalam desain drainase.
3. **Tanah berpasir dan berkerikil yang mengandung lanau dan lempung dalam jumlah sedang** (kategori GM, GC, SM, dan SC), termasuk tanah hasil pelapukan (residu). Jenis ini memiliki permeabilitas rendah, sehingga air dapat terjebak di dalamnya dan meningkatkan kadar air selama musim hujan.
4. **Lanau dan lempung (ML, MH, CL, CH)** yang rentan pecah menjadi gumpalan kecil ketika digunakan sebagai urugan. Lempung dengan plastisitas tinggi, seperti yang memiliki batas cair (LL) lebih dari 40 dan batas plastis (PL) lebih dari 20, sebaiknya tidak digunakan karena sangat

mudah mengembang dan menyusut. Jika tetap digunakan, perlu dilakukan uji laboratorium untuk mengetahui potensi perubahan volumenya.

5. **Lempung kaku hingga sangat kaku** yang digunakan dalam bentuk bongkahan. Jenis ini cenderung membentuk rongga antar bongkahan, dan kekuatan gesernya sangat bergantung pada cara pengurugannya.

Untuk tanah dengan permeabilitas menengah, nilai sudut geser dalam (ϕ) bisa diperoleh melalui uji geser dalam kondisi terdrainase (drained), karena air dalam pori-pori tanah dapat bergerak dan menyesuaikan diri selama pengerjaan berlangsung (Terzaghi dan Peck, 1967). Proses penyesuaian butiran tanah ini dapat mengurangi angka pori dan meningkatkan kekuatan geser.

Sedangkan pada tanah lempung, nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) biasanya diperoleh melalui uji triaxial dalam kondisi tidak terdrainase (undrained). Pengujian dilakukan pada sampel tanah dengan tingkat kepadatan dan kadar air yang disesuaikan agar menyerupai kondisi aktual setelah proses pengurugan selesai dilakukan.

2.4.7 Pemadatan Tanah Urug

Tanah dengan struktur yang longgar cenderung mengalami pemadatan alami akibat beratnya sendiri. Namun, jenis tanah seperti ini umumnya tidak cukup kuat untuk mendukung beban konstruksi di atasnya. Oleh karena itu, proses penempatan dan pemadatan tanah urug di belakang dinding penahan harus dilakukan secara bertahap menggunakan metode berlapis. Meski demikian, pemadatan yang terlalu intensif dapat memicu kerusakan pada struktur dinding penahan. Untuk mencegah peningkatan tekanan lateral yang berlebihan, sebaiknya digunakan alat pemadat ringan. Jika kondisi lapangan mengharuskan penggunaan alat berat, maka perlu dilakukan evaluasi terlebih dahulu mengenai dampaknya terhadap kestabilan dinding. Beberapa studi menunjukkan bahwa tekanan lateral akibat pemadatan berlebihan dapat jauh melebihi tekanan tanah pasir yang belum dipadatkan.

Untuk itu, area dari belakang dinding hingga sejajar dengan garis imajiner 45° yang ditarik dari tepi belakang fondasi, sebaiknya dipadatkan menggunakan alat ringan atau pemadat manual. Jumlah lintasan alat pemadat tergantung pada karakteristik jenis tanah yang digunakan. Pengawasan yang ketat sangat penting, terutama bila

menggunakan tanah lempung sebagai bahan urugan. Bahkan untuk tanah berbutir kasar yang memiliki toleransi penurunan yang kecil, pemadatan tetap harus dilakukan secara bertahap, dengan ketebalan tiap lapisan tidak melebihi 15–30 cm. Untuk menjamin kapasitas dukung dan mengendalikan penurunan tanah, proses pemadatan harus diawasi secara menyeluruh di lapangan.

Pemadatan yang dilakukan berlapis juga perlu mempertimbangkan agar permukaan tanah tetap sejajar dan tidak miring ke arah dinding. Permukaan yang miring dapat menyebabkan terbentuknya bidang geser yang berpotensi longsor. Oleh sebab itu, permukaan tanah urug sebaiknya tetap datar dan horizontal selama proses pemadatan. Untuk mengurangi peresapan air hujan ke dalam urugan, disarankan untuk menambahkan lapisan kedap air, seperti lapisan lempung, di bagian atas permukaan tanah urug.

Plaxis

Plaxis merupakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yang dirancang khusus untuk menganalisis deformasi dan kestabilan dalam rekayasa geoteknik. Dengan antarmuka grafis yang intuitif, pengguna dapat membuat model elemen hingga yang kompleks dengan lebih efisien. Program ini juga dilengkapi dengan berbagai fitur yang memungkinkan visualisasi hasil analisis secara rinci. Seluruh proses perhitungan dijalankan secara otomatis dengan menggunakan pendekatan numerik yang telah terbukti keandalannya.

Plaxis terdiri dari empat bagian utama, yaitu:

1. Input Program

Pada bagian ini, pengguna mengatur geometri dan parameter global dari model yang akan dianalisis.

2. Calculation Program

Setelah geometri dimasukkan, pengguna menginput data karakteristik tanah dan material perkuatan yang dibutuhkan untuk proses analisis.

3. Output Program

Bagian ini menampilkan hasil dari proses analisis, termasuk informasi mengenai kestabilan lereng, gaya internal, dan deformasi.

4. **Curve Program**

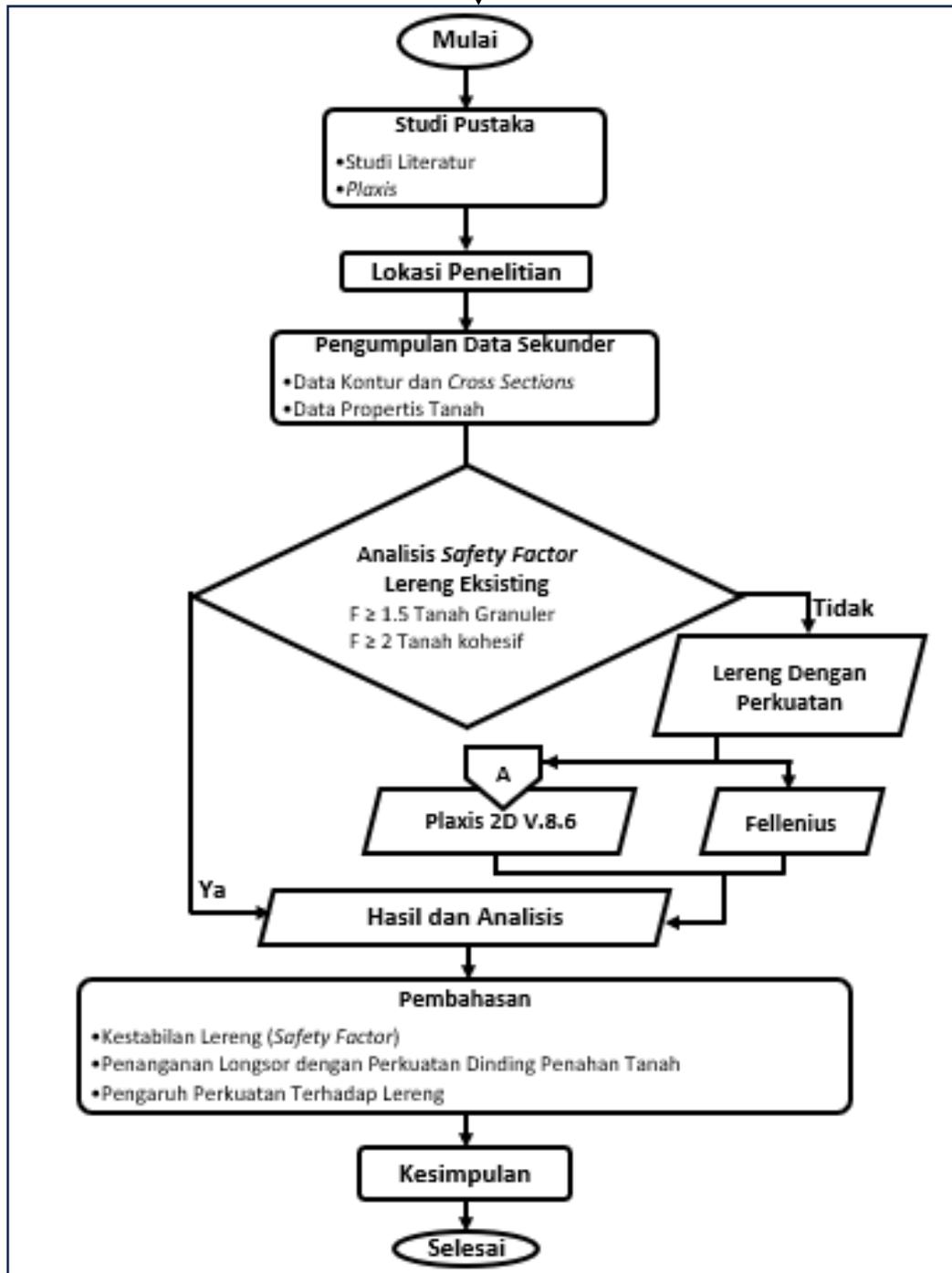
Hasil-hasil analisis kemudian dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk memudahkan interpretasi lebih lanjut.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

3.1.1 Dia gram Alir Penelitian

Gambr 3.1. Dia gram Alir Penelitian



.1.2 Diagram Alir Plaxis 2D V.8.6



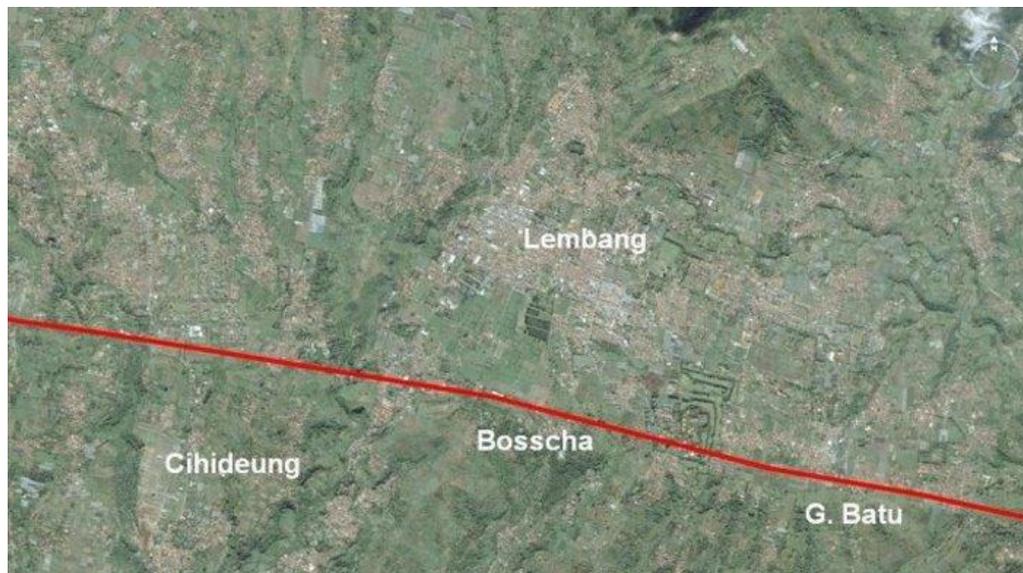
Gambr 3.2. Diagram Alir *Plaxis 2D V.8.6*

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada pada pembuatan jalan tol baru di daerah “Wisata Noah’s Park Di Sesar Lembang, Kabupaten Bandung Barat”.



Gambr 3.3. Peta Lokasi



Gambr 3.4. Peta Kontur Lokasi

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan pengolahan data merupakan prosedur atau cara yang digunakan untuk Agar data yang dikumpulkan selama penelitian lebih mudah dipahami, dilakukan analisis berdasarkan tahapan yang telah dirancang sebelumnya. Dalam penelitian ini, prosedur pelaksanaan mencakup beberapa tahap berikut:

1. Proses pengumpulan data dari berbagai sumber yang relevan.
2. Analisis stabilitas struktur dinding penahan tanah beton bertulang tipe kantilever menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D versi 8.6.
3. Penjabaran dan interpretasi terhadap hasil analisis dari perangkat lunak tersebut.
4. Evaluasi performa hasil simulasi Plaxis 2D, dengan menekankan pada nilai faktor keamanan dan besar perpindahan total yang terjadi.
5. Penyusunan kesimpulan berdasarkan temuan dari proses analisis.

Data Sekunder

3.4.1 Data Kontur dan Penampang Melintang

Garis kontur merupakan representasi visual yang menghubungkan titik-titik dengan ketinggian yang sama di suatu permukaan. Garis ini berfungsi untuk menggambarkan bentuk permukaan lahan ketika dipotong secara horizontal, dan biasanya ditampilkan dalam peta topografi. Sebagai contoh, batas air danau dapat berfungsi sebagai contoh alami garis kontur. Interval kontur merujuk pada selisih ketinggian tetap antara dua garis kontur yang berdekatan, dan garis-garis ini digambar berdasarkan posisi aktualnya di lapangan.

Dengan menganalisis peta kontur, kita dapat memahami bentuk topografi seperti bukit, lembah, dan pegunungan. Setiap garis menunjukkan ketinggian tertentu, yang membantu dalam menentukan derajat kemiringan lereng.

Berikut adalah beberapa prinsip utama dalam menggambarkan garis kontur:

- Garis kontur tidak boleh terputus, saling bersilangan, atau berhenti di tengah peta, kecuali dalam kondisi ekstrem seperti tebing vertikal atau gua.
- Jarak antar garis biasanya konsisten, kecuali data lapangan menunjukkan sebaliknya.

- Setiap garis kontur digambar dengan memperhatikan sisi elevasi yang lebih tinggi.
- Karena kontur merepresentasikan permukaan yang kontinu, maka setiap garis harus membentuk lingkaran tertutup, meskipun mungkin tidak terlihat sepenuhnya pada batas peta.
- Garis kontur harus dibuat tegak lurus terhadap arah kemiringan maksimum pada lereng.
- Jarak antar kontur menunjukkan seberapa curam suatu lereng; semakin rapat garis, semakin curam lereng tersebut, dan sebaliknya.

Interval kontur merupakan perbedaan vertikal antar dua garis kontur yang berdampingan, yang berarti menunjukkan jarak antara dua bidang datar yang berbeda elevasi. Dalam peta topografi, interval ini biasanya ditetapkan secara seragam dan berbanding terbalik dengan skala peta—semakin besar skalanya, semakin kecil intervalnya, sehingga peta tersebut memberikan detail topografi yang lebih jelas.

Garis kontur indeks adalah garis kontur yang digambar lebih tebal atau lebih mencolok, biasanya muncul pada kelipatan tertentu dari interval kontur, misalnya setiap 10 meter. Tujuannya adalah untuk memudahkan identifikasi dan pembacaan nilai elevasi di peta.

1. *Cross Section*

Pengukuran dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh informasi mengenai variasi ketinggian permukaan tanah sepanjang jalur yang ditentukan. Proses ini melibatkan penentuan elevasi di berbagai titik sepanjang lintasan pengukuran. Data yang diperoleh menjadi dasar penting dalam merancang berbagai proyek konstruksi seperti jalan raya, rel kereta api, sistem irigasi, dan jaringan pipa. Beberapa manfaat utama dari pengukuran ini antara lain:

Menentukan kemiringan yang sesuai untuk pekerjaan konstruksi.

Menghitung volume pekerjaan secara keseluruhan.

Menaksir jumlah tanah yang harus digali atau ditimbun.

Pengukuran **profil melintang (cross section)** dilakukan setelah pengukuran memanjang selesai. Jarak antar penampang melintang biasanya ditetapkan secara

tetap, sementara lebar pengukuran ke arah kiri dan kanan dari sumbu jalur ditentukan sesuai kebutuhan perencanaan. Misalnya, pada proyek pembangunan jalan, penampang melintang diambil dari satu sisi badan jalan hingga sisi lainnya. Arah pengambilan penampang ini tegak lurus terhadap garis sumbu jalur utama. Pada bagian jalur yang berbelok, penampang melintang bisa dibuat membagi sudut tikungan secara simetris atau dalam beberapa kasus, dua penampang dibuat masing-masing tegak lurus terhadap arah masuk dan arah keluar tikungan.

Titik-titik acuan dalam pengukuran profil melintang ditentukan dari titik-titik hasil pengukuran memanjang, dengan sudut pandang (bidding angle) 90° dan 270° , dan jarak pengukuran ke arah kiri dan kanan masing-masing sejauh 15 meter.

Langkah-langkah dalam pelaksanaan pengukuran profil melintang meliputi:

Meletakkan alat waterpass pada titik awal dan memastikan sumbu vertikalnya sejajar.

Mengarahkan alat pada titik kedua untuk membuat azimuth $0^\circ 00' 00''$.

Memutar alat sebesar 90° , lalu meletakkan rambu ukur pertama di titik terluar sejauh 15 meter, sedangkan rambu-rambu lain ditempatkan pada titik-titik yang mencerminkan variasi elevasi tanah.

Mencatat hasil pembacaan benang untuk tiap titik.

Memutar alat ke arah berlawanan sebesar 180° hingga mencapai sudut 270° .

Meletakkan rambu pertama pada sisi berlawanan sejauh 15 meter.

Menempatkan rambu-rambu lainnya pada posisi yang menggambarkan kontur lahan sesuai arah pembidikan.

Proses penempatan rambu dilakukan dari titik terluar ke arah alat.

Mengulangi keseluruhan langkah tersebut untuk titik-titik berikutnya.

3.4.2 Data Karakteristik Tanah

Tanah merupakan bahan alami yang terbentuk dari kumpulan butiran mineral padat yang tidak terikat secara kimia, dan di dalamnya terdapat unsur organik hasil pelapukan, air, serta udara yang mengisi ruang pori antar butiran.

Ilmu mekanika tanah adalah cabang dari geoteknik yang mempelajari karakteristik fisik dan respons massa tanah terhadap berbagai jenis gaya. Sementara itu, rekayasa

tanah (soil engineering) merupakan penerapan konsep-konsep mekanika tanah dalam penyelesaian persoalan teknis di lapangan.

Tanah tersusun dari berbagai macam partikel yang dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- **Batu berangkal (Boulder):** memiliki ukuran lebih dari 250–300 mm.
- **Kerikil (Gravel):** ukuran partikel berkisar antara 5 mm hingga 150 mm.
- **Pasir (Sand):** memiliki rentang ukuran dari 0,0074 mm sampai 5 mm, mulai dari jenis kasar hingga halus.
- **Lanau (Silt):** ukuran partikel berada antara 0,002 mm dan 0,0074 mm.
- **Lempung (Clay):** berukuran di bawah 0,002 mm dan bersifat kohesif.
- **Koloid:** partikel mineral yang sangat halus dan berada dalam keadaan tersuspensi.

Jenis tanah yang terdapat di permukaan bumi sangat beragam, tergantung pada lokasi geografis serta proses pembentukannya. Setiap tipe tanah memiliki karakteristik unik yang dapat dikategorikan berdasarkan sifat-sifat berikut:

1. Sifat Fisik Tanah

Sifat fisik mencakup tekstur, struktur, konsistensi, warna, suhu, kadar lengas, daya hantar air (permeabilitas), porositas, dan sistem drainasenya.

2. Sifat Kimia Tanah

Meliputi kandungan bahan organik, unsur hara, serta tingkat keasaman atau pH tanah.

3. Sifat Biologi Tanah

Terdiri atas partikel padat tanah, kandungan bahan organik, serta organisme yang hidup di dalam tanah.

Karena sifat tanah sangat memengaruhi perencanaan dan pelaksanaan konstruksi, maka diperlukan kegiatan penyelidikan tanah (soil investigation) yang mencakup pengujian laboratorium dan pengujian langsung di lapangan.

Soil investigation wajib dilakukan pada setiap lokasi proyek pembangunan struktur.

Pengujian lapangan yang umum digunakan meliputi Sondir (Cone Penetration Test), pengeboran (boring), dan uji penetrasi standar (Standard Penetration Test atau SPT).

Dalam proses pengeboran, sampel tanah diambil untuk dianalisis di laboratorium, mencakup parameter seperti kadar air, kepadatan, dan karakteristik lainnya.

3.5 Pengoperasian Plaxis 2D V.8.6

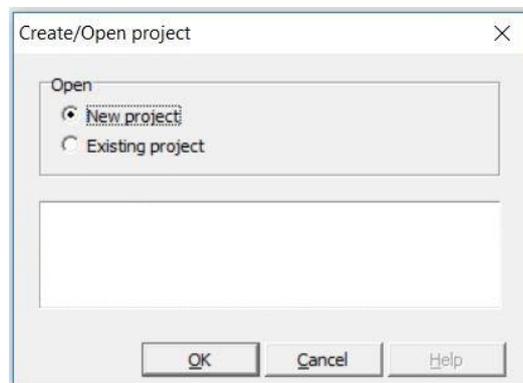
3.5.1 Plaxis Input

1. Open Program *Plaxis*

Jalankan program Plaxis dengan klik ganda pada ikon *Plaxis Input*.



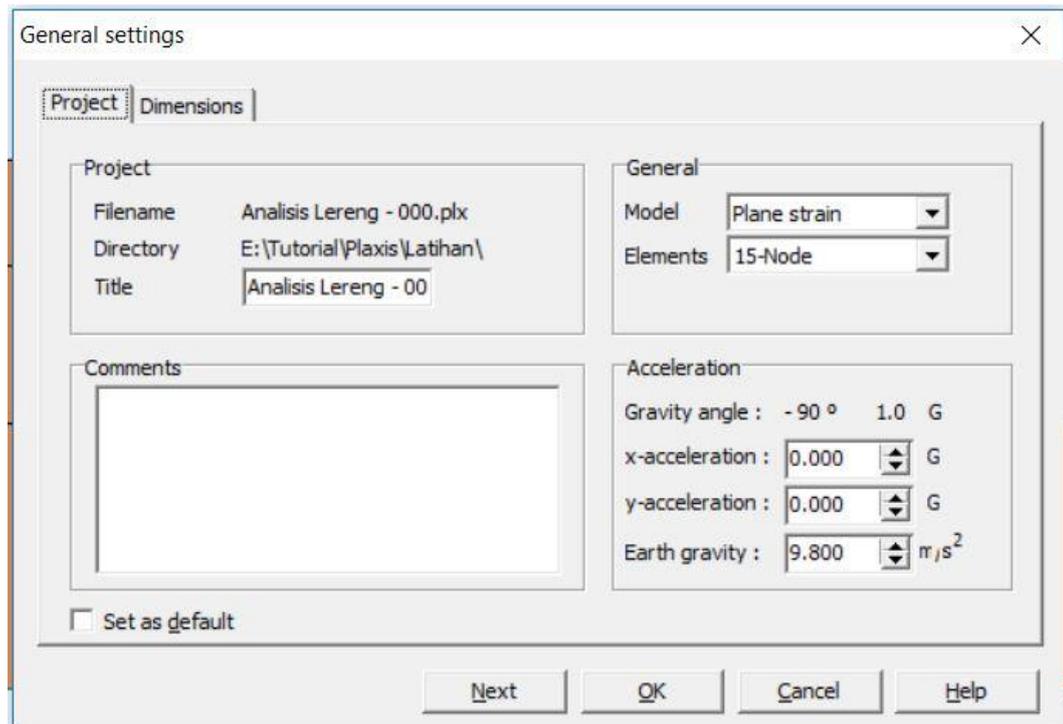
Gambr 3.5. Plaxis Input



Gambr 3.6. Create/Open Project

2. General Setting

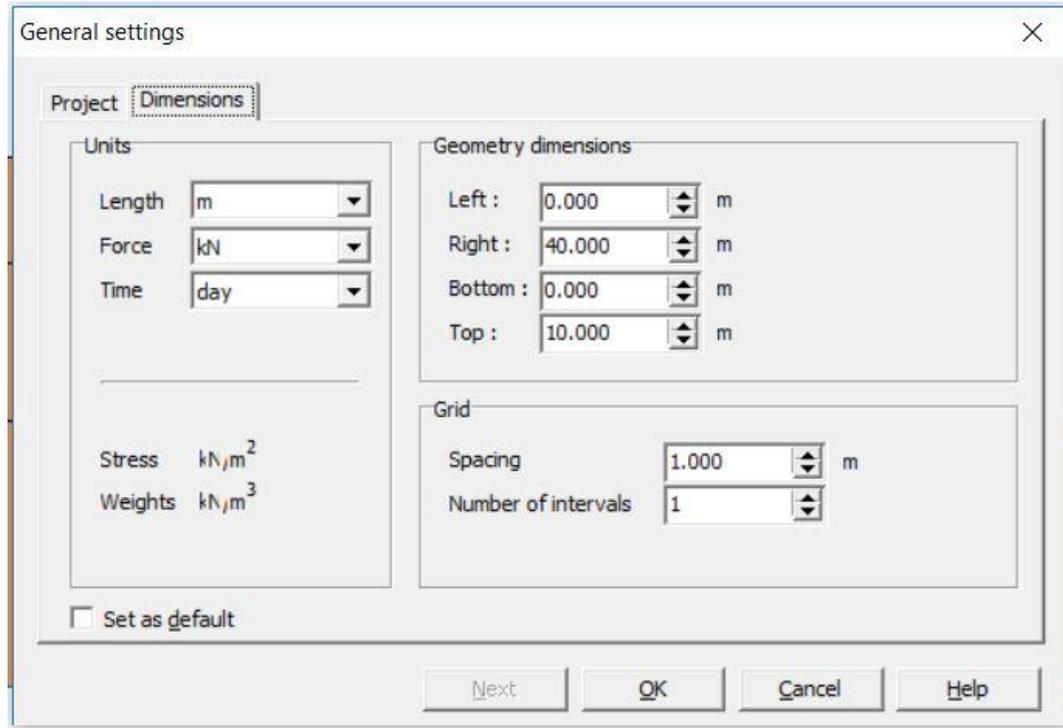
Pada menu pengaturan umum (General Setting), tersedia dua tab utama: tab *project* dan *dimensions*. Di tab *project*, masukkan nama proyek yang ingin dibuat pada kolom *title*. Kemudian, di bagian *general*, pilih jenis model analisis *plane strain* dan tetapkan elemen dasar 15-Node untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih akurat terkait tegangan dan beban runtuh. Ilustrasi pengaturan Gambar 3.7 berikut.



Gambr 3.7. General Setting

10
1
1
65

Di tab *geometry dimensions*, pilih satuan yang telah ditetapkan sebelumnya pada kotak *unit* (Length = m, Force = kN, Time = day). Setelah itu, tentukan ukuran area gambar dengan mengisi koordinat tertinggi dan terendah dari geometri yang akan dirancang. *Plaxis* akan secara otomatis menambahkan margin kecil agar seluruh geometri berada dalam batas area gambar. Masukkan nilai 0.0, 40, 0.0, dan 10 secara berurutan ke dalam kolom *left*, *right*, *bottom*, dan *top* pada kotak dialog tersebut. Pada bagian *Grid*, tersedia pengaturan untuk menentukan jarak antar titik grid yang membentuk matriks, sehingga memudahkan penempatan objek secara presisi dalam pembuatan model. Jarak antar titik ini diatur dengan memasukkan nilai 1.0 sebagai *spacing* dan 1 sebagai jumlah interval. Contoh pengaturan *Grid* ditunjukkan pada Gambar 3.8 berikut.



Gambr 3.8. Kotak Dialog Grid

3. Permodelan Geometri

Pembuatan model geometri dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah berikut:

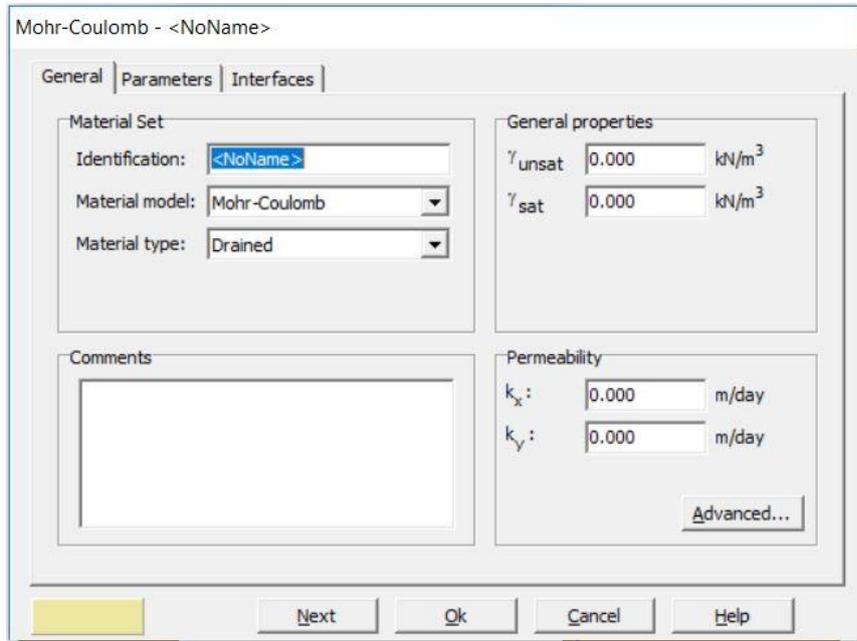
- Akses menu *Geometry Line* untuk memulai proses penggambaran.
- Klik ikon *Standard Fixities* pada bilah alat (toolbar) untuk menetapkan batasan standar.
- Pilih ikon *Distributed Load System A* dari toolbar.
- Tentukan posisi awal dan akhir pada bagian geometri yang akan dikenai beban, lalu klik kanan untuk menyelesaikan penempatan beban merata. Masukkan nilai beban sebesar 12 kN/m².
- Buka menu *Load* dan pilih opsi *Standard Earthquake Boundaries* untuk menambahkan beban gempa dinamis.

4. Pemasukan Parameter Material

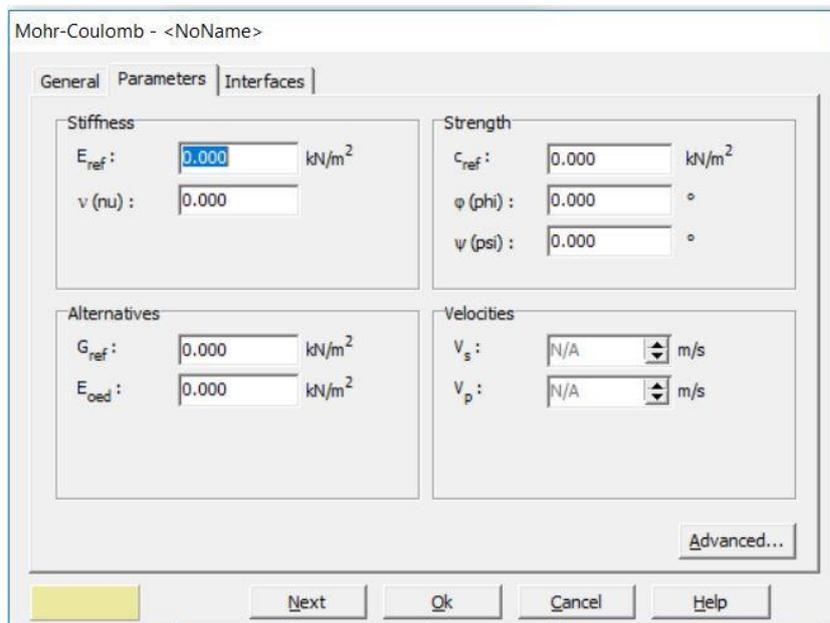
Untuk mendefinisikan sifat-sifat material, pengguna dapat menggunakan ikon *Material Sets* pada toolbar atau memilih menu *Materials*. Klik *Material Sets*, lalu pilih opsi *New Material* untuk menambahkan jenis material baru, dan isi

15

parameter tanah sesuai kebutuhan. Contoh tampilan pengisian data material ditunjukkan pada Gambar 3.9 dan 3.10 berikut ini.



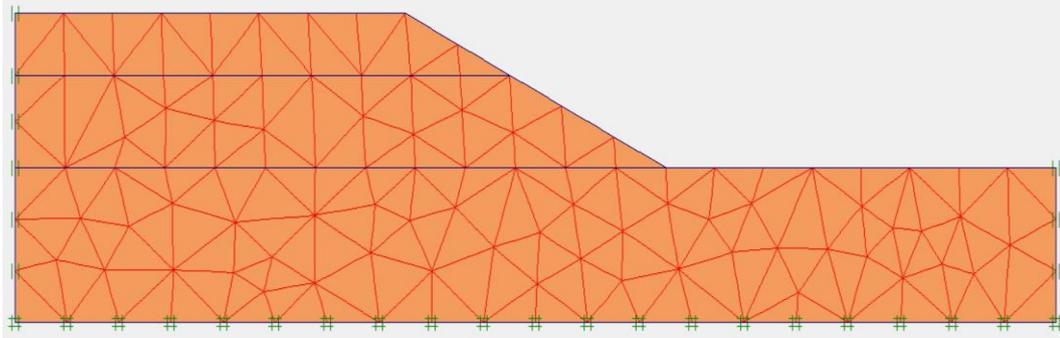
Gambar 3.9. Gene ral Material Set



Gambar 3.10. Para meter Material Set

4. Gene ral Meshing

8 Tekan tombol Generate Mesh pada toolbar, lalu klik tombol <Update> untuk kembali ke mode input geometri. Contoh tampilan General Mesh dapat dilihat pada Gambar 3.11 berikut ini

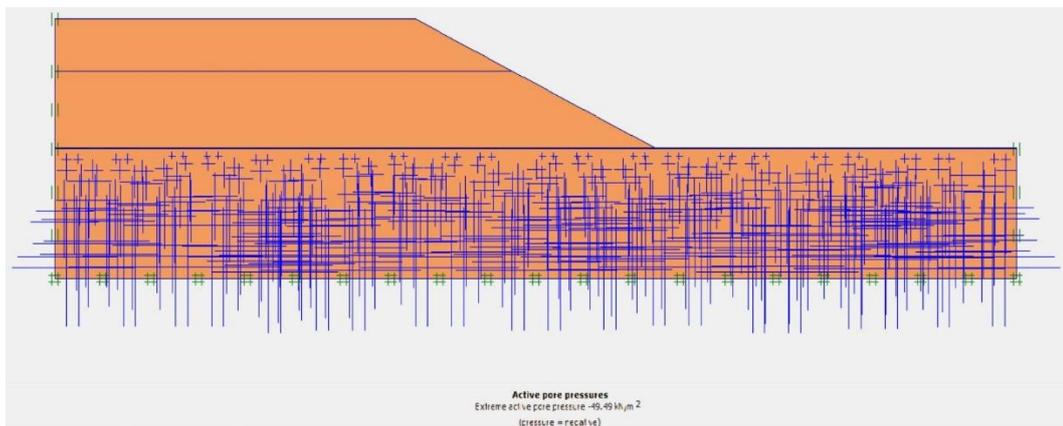


Gambar 3.11. General Mesh

10 5. *Initial Condition*

- a. Klik tombol Initial Conditions pada toolbar.
- b. Masukkan ketinggian muka air sungai dan muka air tanah untuk tekanan air pori dengan memilih tombol Phreatic Level.
- c. Klik tombol Generate Initial Stresses pada toolbar.
- d. Tekan tombol Calculate.

8 Hasil dari pengaturan Initial Condition dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut ini:

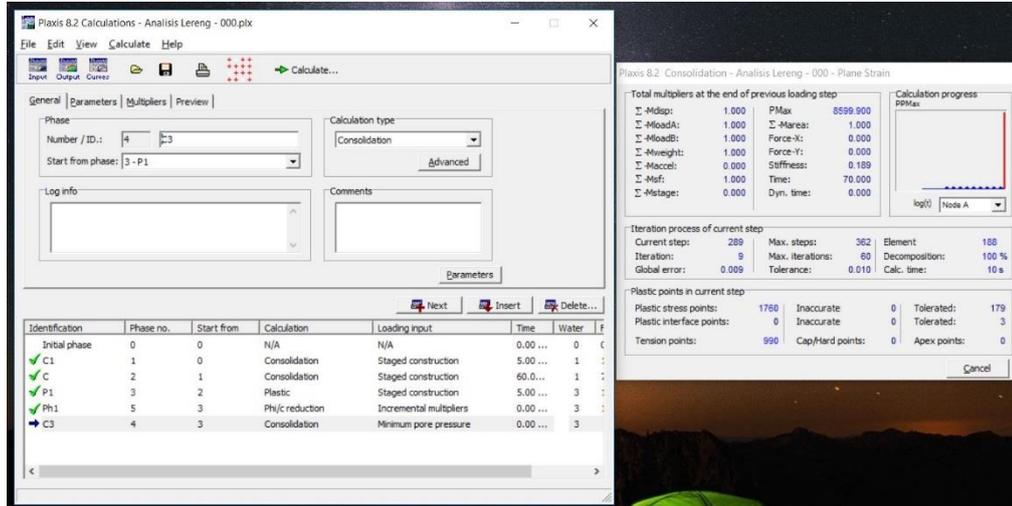


Gambr 3.12. Initial Condition

3.5.1. Plaxis Calculations

Plaxis Calculations dijalankan setelah seluruh data input untuk analisis pekerjaan telah selesai dimasukkan. Program ini biasanya akan otomatis terbuka ketika tombol calculate pada toolbar dipilih setelah proses input selesai. Setelah memilih tombol calculate tersebut, muncul tampilan seperti yang terlihat pada Gambar 3.13 berikut ini:

8

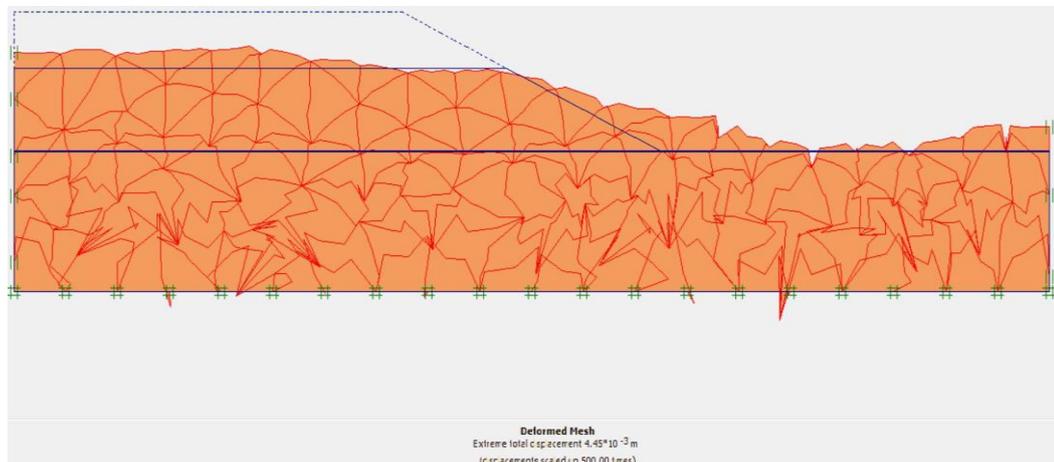


Gambar 3.13. Plaxis Calculations

21

3.5.2. Plaxis Output

Program **Plaxis Output** dapat diakses kembali melalui ikon Plaxis Output pada toolbar atau melalui Start Menu. Selain itu, toolbar Calculation dalam program perhitungan juga bisa digunakan untuk membuka tampilan output, asalkan proses input sudah selesai dan titik evaluasi telah ditentukan sebelumnya. Setelah dibuka, tampilan yang muncul akan serupa dengan yang ditunjukkan pada Gambar 3.14 berikut:



35

Gambr 3.14. *Plaxis Output*

Selain memantau perpindahan dan tegangan di dalam tanah, output program juga dapat digunakan untuk melihat gaya-gaya yang bekerja pada struktur. Berikut adalah langkah-langkah untuk menampilkan hasil analisis tersebut:

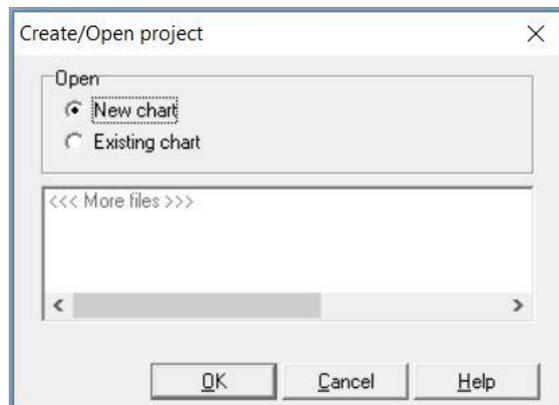
1. Pilih opsi total displacement pada menu deformasi, kemudian layar akan menampilkan pergerakan semua titik nodal dengan representasi berupa panah. Panjang panah tersebut menggambarkan besaran relatif perpindahan.
2. Pilih opsi effective stress pada menu tegangan, sehingga akan muncul tampilan yang menunjukkan besaran dan arah tegangan utama efektif

3.5.3. *Plaxis Curves*

Plaxis Curves berfungsi untuk menampilkan grafik yang menggambarkan hubungan antara beban atau waktu terhadap perpindahan, serta menunjukkan distribusi tegangan di titik-titik tertentu yang telah ditentukan sebelumnya melalui fitur *Select Point For Curve* pada *Calculation Program*. Pemilihan titik ini dibatasi hingga maksimal 10 titik nodal dan 10 titik tegangan.

Langkah-langkah untuk menampilkan kurva di *Plaxis*, baik kurva baru maupun yang sudah tersimpan, adalah sebagai berikut:

1. Pada jendela *Create/Open Project*, pilih jenis kurva yang ingin ditampilkan. Untuk membuat kurva baru, pilih opsi *New Chart*. Jika ingin membuka kurva yang telah disimpan sebelumnya, pilih *Existing Chart* dan tentukan file kurva yang akan digunakan.



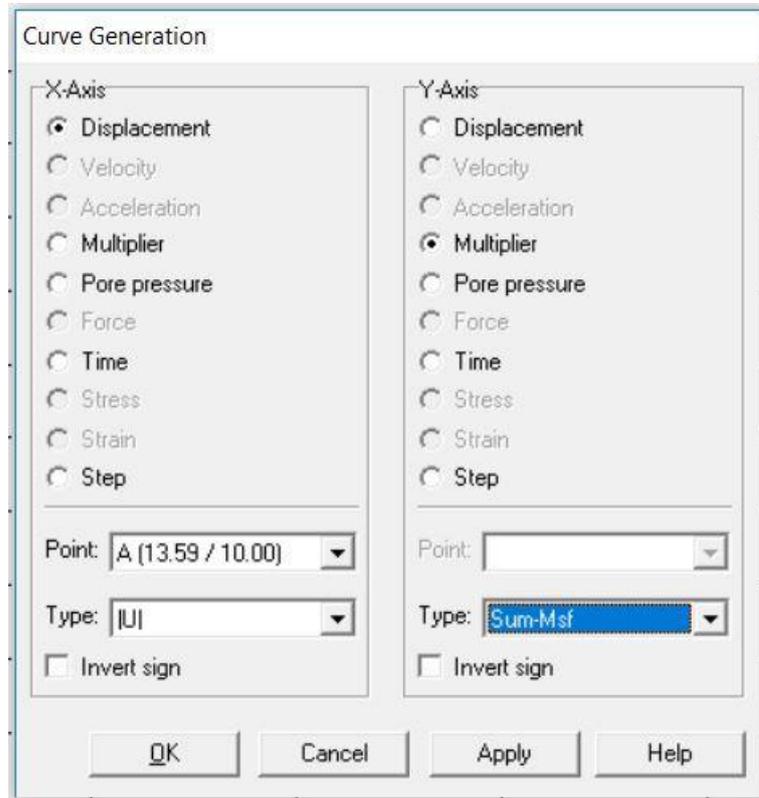
Gambar 3.15. *Open Project pada Curve Program*

21

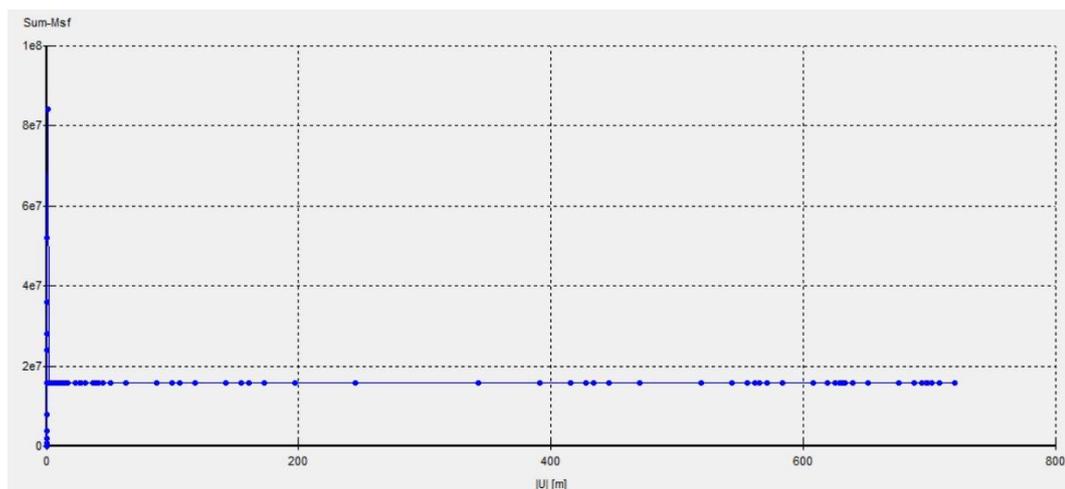
21

4

1. Memeriksa hubungan kurva yang akan ditampilkan, sesuai dengan nod atau stress point yang ditinjau.



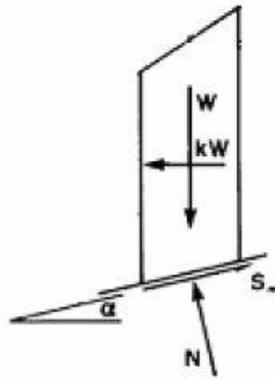
Gambar 3.16. Curve Generation



Gambr 3.17. Plaxis Curva Output Program

3.6 Metode Fellenius

Metode Irisan yang dikembangkan oleh Fellenius pada tahun 1936 adalah salah satu metode irisan yang paling sederhana. Metode ini juga dikenal dengan sebutan metode lingkaran Swedia. Dalam metode ini, diasumsikan bahwa gaya resultan antara irisan sama dengan nol dan bekerja sejajar dengan permukaan bidang runtuh, yang diasumsikan berbentuk busur lingkaran. Metode ini hanya memenuhi kondisi kesetimbangan momen pada setiap irisan di pusat lingkaran runtuh



Gambr 4.18. Gaya yang Bekerja Pada Tiap Irisan

(Sumber : Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Irisan)

Gaya total ditentukan dengan menggunakan kesetimbangan gaya dalam arah tegak lurus dasar irisan, besarnya yaitu

$$N = W \cos \alpha - kW \sin \alpha \tag{3.1}$$

Dengan merujuk pada **Gambr 4.18.**, kesetimbangan momen pada pusat lingkaran runtuh untuk semua irisan adalah sebagai berikut :

$$\sum_{i=1}^n (WR \sin \alpha + kW(R \cos \alpha - h_c)) - \sum_{i=1}^n (S_m R) + Aa = 0 \tag{3.2}$$

“Dimana h_c adalah tinggi pusat massa irisan dari titik tengah pada dasar irisan. Gaya geser yang diperlukan agar lereng berada dalam kondisi setimbang adalah : “

$$S_m = \frac{c' \beta + (N - u \beta) \tan \phi'}{F} \tag{3.3}$$

Apabila persamaan di atas disubstitusikan ke dalam **Persamaan (3.2)** akan diperoleh persamaan untuk menghitung Faktor Keamanan (F) sebagai berikut : “

$$S_m = \frac{\sum_{i=1}^n [c' \beta + (N - u \beta) \tan \phi']}{\sum_{i=1}^n [W \sin \alpha + kW (\cos \alpha - \frac{h_c}{R})] + \frac{Aa}{R}} \tag{3.4}$$

Apabila dibandingkan dengan metode lainnya yang lebih teliti, seperti Metode Bishop atau Metode Spencer, faktor keamanan yang di hitung dengan metode ini pada umumnya memiliki nilai yang lebih rendah sebesar 5% sampai 20%. Bahkan untuk lereng landau dengan tekanan air pori yang tinggi, perbedaannya dapat mencapai sekitar 60%. Untuk lereng dengan material yang mempunyai sudut geser sama dengan nol ($\phi=0$) metode ini dapat memberikan nilai faktor keamanan yang sama akuratnya dengan Metode Bishop yang Disederhanakan. Untuk lereng dengan material yang mempunyai sudut gesek lebih besar daripada nol, metode ini sebaiknya tidak digunakan karena dapat menghasilkan rancangan lereng yang tidak ekonomis.

3.7 Faktor Aman

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami karena proses geologi atau karena dibuat oleh manusia. Lereng yang terbentuk secara alamiah misalnya lereng bukit dan tebing sangai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain yaitu galian dan timbunan untuk membuat jalan raya dan jalan kereta api, bendungan, tanggul sungai dan kanal serta tambang terbuka

Pengertian longsor menurut Crude (1991) yaitu suatu kejadian atau peristiwa geologi yang disebabkan oleh pergerakan massa batuan tanah atau puing-puing yang menuruni suatu lereng. Sedangkan Vernes (1978) mengartikan longsor sebagai pergerakan material ke bawah dan ke luar lereng karena pengaruh dari gravitasi. Longsor yang lebih dikenal dengan tanah longsor (Landslide) juga dapat didefinisikan sebagai perpindahan massa berbagai jenis batuan atau tanah yang tidak membutuhkan media berpindah seperti air atau udara

Analisis kestabilan lereng harus didasarkan pada model yang akurat mengenai kondisi material bawah permukaan, kondisi air tanah, serta beban-beban yang mungkin bekerja pada lereng tersebut. Tanpa adanya model geologi yang memadai, analisis hanya dapat dilakukan secara kasar, sehingga keandalan hasilnya menjadi diragukan. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan dalam analisis tersebut adalah metode Fenellius.

Dalam analisis kestabilan atau kemantapan lereng, dikenal istilah *Faktor Keamanan (Safety Factor)*, yaitu perbandingan antara gaya penahan terhadap gaya penggerak tanah. Lereng dianggap stabil apabila gaya penahan lebih besar daripada gaya penggerak. Menurut Bowles (1997), nilai minimum *Faktor Keamanan terhadap penggeseran dasar fondasi* (F_{gs}) yang disarankan adalah sebagai berikut:

1. $F_{gs} \geq 1,5$ untuk tanah dasar berbutir kasar (granuler)
2. $F_{gs} \geq 2,0$ untuk tanah dasar kohesi

Keterangan :

F_{gs} = Faktor Aman Terhadap Penggeseran

Untuk Faktor Aman (*Safety Factor*) terhadap penggulingan (F_{gl}) bergantung pada jenis tanah, yaitu :

1. $(F_{gl}) \geq 1.5$ Untuk Tanah Dasar Granuler
2. $(F_{gl}) \geq 2$ Untuk Tanah Dasar Kohesif

Keterangan :

F_{gl} = Faktor Aman Terhadap Penggulingan

Dan untuk Faktor Aman (*Safety Factor*) terhadap keruntuhan kapasitas dukung didefinisikan sebagai berikut :

$$F = \frac{q_u}{q} \geq 3 \quad (3.5)$$

Keterangan :

F = Faktor Aman

q_u = Kapasitas Dukung Ultimit

q = Kapasitas Dukung

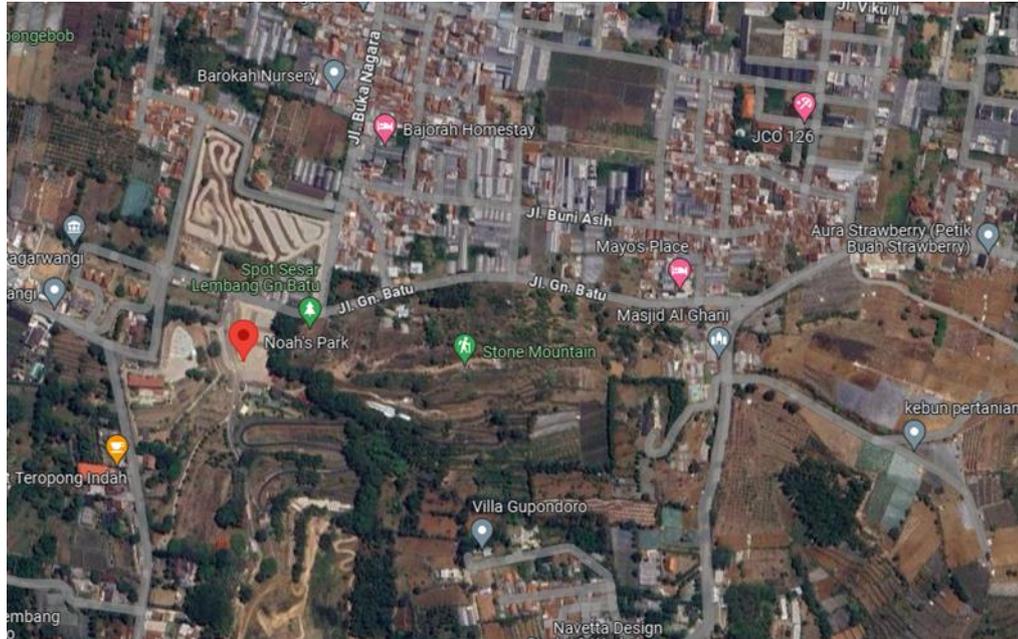
Dinding Penahan Tanah adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menahan tanah longsor dan mencegah keruntuhan tanah miring atau lereng yang kemantapannya tidak dapat dijamin oleh lereng tanah itu sendiri. Tanah yang tertahan memberikan dorongan secara aktif pada struktur dinding sehingga cenderung akan terguling atau akan tergeser.

Dinding penahan tanah berfungsi untuk menyokong tanah serta mencegahnya dari kelongsoran. Baik akibat beban air hujan, berat tanah itu sendiri maupun akibat beban yang bekerja di atasnya.

BAB IV — ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Parameter Tanah dan Beban

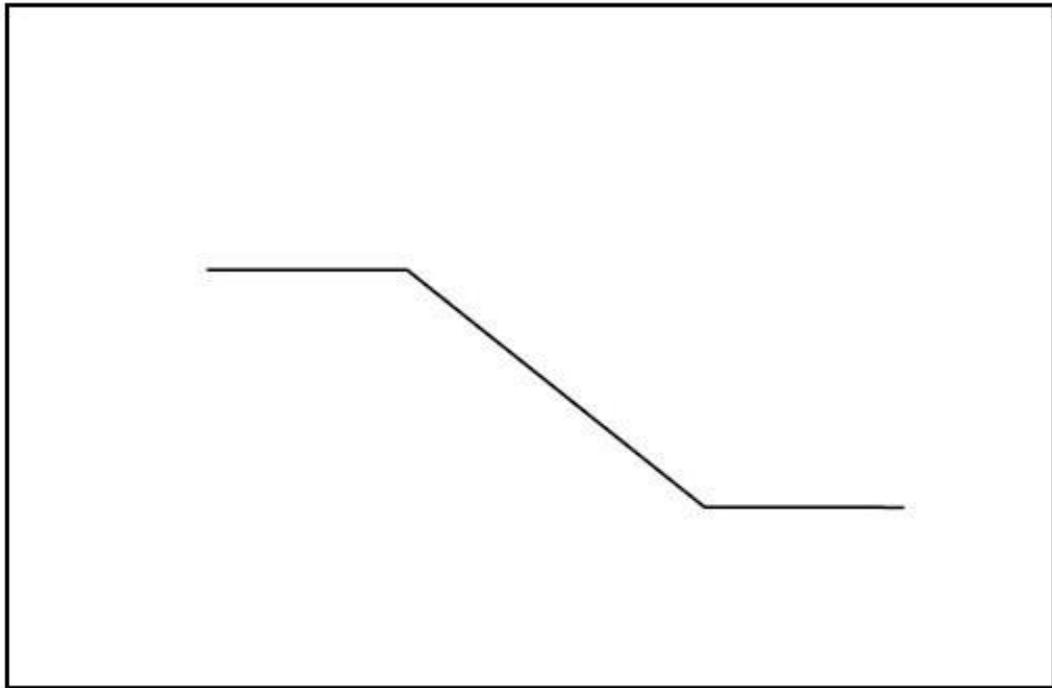
4.1.1 Data Kontur



Gambar 4.1. Peta Lokasi



Gambar 4.2. Peta Kontur Lokasi



Gambar 4.3. Potongan Melintang Lokasi

4.1.2 Data hasil survey Geoteknik Tanah

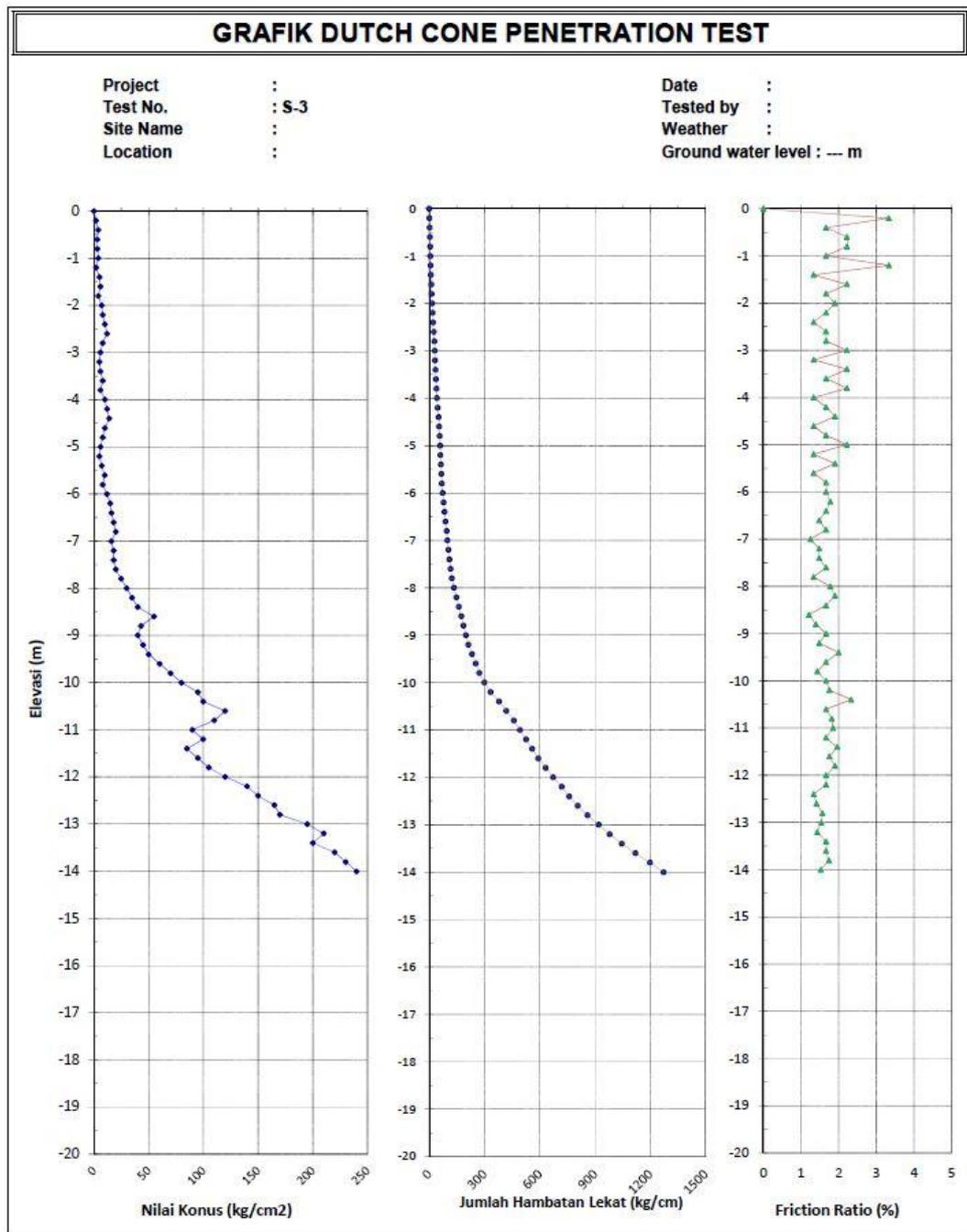
Dalam studi kasus perencanaan geoteknik perbaikan lereng di Wisata Noah's Park Di Sesar Lembang, Kabupaten Bandung Barat, data geoteknik dapat dilihat pada **Gambar 4.4.a. - Gambar 4.6.** berikut ini :

DUTCH CONE PENETRATION TEST							
Project :		Date :			Tested by :		
Test No. : S-3		Weather :			Ground water level : --- m		
Site Name :							
Location :							
Elevasi (m)	PEMBACAAN		TAHANAN		Hambatan Lekat (JP-PK)*C2 (kg/cm ²)	Jumlah Hambatan Lekat JHL (kg/cm)	fs/qc (%)
	PK	JP	qc PK Co	fs (JP-PK)*C1			
1	2	3	4	5	6	7	8
0.00	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
-0.20	2	3	2.000	0.067	1.333	1.333	3.33
-0.40	4	5	4.000	0.067	1.333	2.667	1.67
-0.60	3	4	3.000	0.067	1.333	4.000	2.22
-0.80	3	4	3.000	0.067	1.333	5.333	2.22
-1.00	4	5	4.000	0.067	1.333	6.667	1.67
-1.20	2	3	2.000	0.067	1.333	8.000	3.33
-1.40	5	6	5.000	0.067	1.333	9.333	1.33
-1.60	6	8	6.000	0.133	2.667	12.000	2.22
-1.80	4	5	4.000	0.067	1.333	13.333	1.67
-2.00	7	9	7.000	0.133	2.667	16.000	1.90
-2.20	8	10	8.000	0.133	2.667	18.667	1.67
-2.40	10	12	10.000	0.133	2.667	21.333	1.33
-2.60	12	15	12.000	0.200	4.000	25.333	1.67
-2.80	8	10	8.000	0.133	2.667	28.000	1.67
-3.00	6	8	6.000	0.133	2.667	30.667	2.22
-3.20	5	6	5.000	0.067	1.333	32.000	1.33
-3.40	6	8	6.000	0.133	2.667	34.667	2.22
-3.60	8	10	8.000	0.133	2.667	37.333	1.67
-3.80	6	8	6.000	0.133	2.667	40.000	2.22
-4.00	10	12	10.000	0.133	2.667	42.667	1.33
-4.20	12	15	12.000	0.200	4.000	46.667	1.67
-4.40	14	18	14.000	0.267	5.333	52.000	1.90
-4.60	10	12	10.000	0.133	2.667	54.667	1.33
-4.80	8	10	8.000	0.133	2.667	57.333	1.67
-5.00	6	8	6.000	0.133	2.667	60.000	2.22
-5.20	5	6	5.000	0.067	1.333	61.333	1.33
-5.40	7	9	7.000	0.133	2.667	64.000	1.90
-5.60	10	12	10.000	0.133	2.667	66.667	1.33
-5.80	8	10	8.000	0.133	2.667	69.333	1.67
-6.00	12	15	12.000	0.200	4.000	73.333	1.67
-6.20	15	19	15.000	0.267	5.333	78.667	1.78
-6.40	16	20	16.000	0.267	5.333	84.000	1.67
-6.60	18	22	18.000	0.267	5.333	89.333	1.48
-6.80	20	25	20.000	0.333	6.667	96.000	1.67
-7.00	16	19	16.000	0.200	4.000	100.000	1.25
-7.20	18	22	18.000	0.267	5.333	105.333	1.48
-7.40	18	22	18.000	0.267	5.333	110.667	1.48
-7.60	20	25	20.000	0.333	6.667	117.333	1.67
-7.80	25	30	25.000	0.333	6.667	124.000	1.33
-8.00	30	38	30.000	0.533	10.667	134.667	1.78
-8.20	35	45	35.000	0.667	13.333	148.000	1.90
-8.40	40	50	40.000	0.667	13.333	161.333	1.67
-8.60	55	65	55.000	0.667	13.333	174.667	1.21
-8.80	43	52	43.000	0.600	12.000	186.667	1.40
-9.00	40	50	40.000	0.667	13.333	200.000	1.67

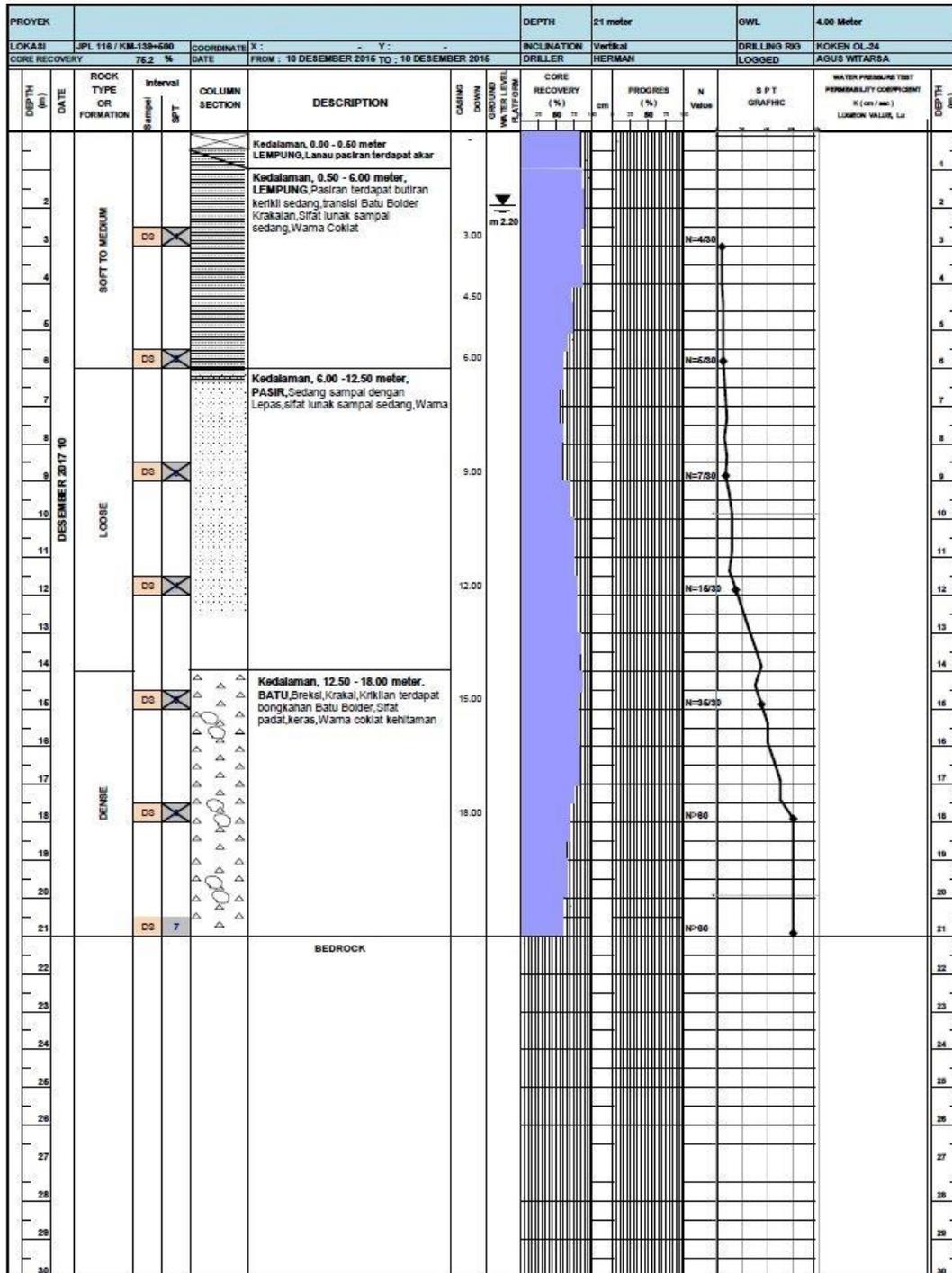
Gambar 4.4.a. CPT (Cone Penetration Test)

DUTCH CONE PENETRATION TEST								
Project		:			Date		:	
Test No.		: S-3			Tested by		:	
Site Name		:			Weather		:	
Location		:			Ground water level		: --- m	
Elevasi (m)	PEMBACAAN		TAHANAN		Hambatan Lekat (JP-PK)*C2 (kg/cm2)	Jumlah Hambatan Lekat JHL (kg/cm)	fs/qc (%)	
	PK	JP	qc PK Co	fs (JP-PK)*C1				
1	2	3	4	5	6	7	8	
-9.20	45	55	45.000	0.667	13.333	213.333	1.48	
-9.40	50	65	50.000	1.000	20.000	233.333	2.00	
-9.60	60	75	60.000	1.000	20.000	253.333	1.67	
-9.80	70	85	70.000	1.000	20.000	273.333	1.43	
-10.00	80	100	80.000	1.333	26.667	300.000	1.67	
-10.20	95	120	95.000	1.667	33.333	333.333	1.75	
-10.40	100	135	100.000	2.333	46.667	380.000	2.33	
-10.60	120	150	120.000	2.000	40.000	420.000	1.67	
-10.80	110	140	110.000	2.000	40.000	460.000	1.82	
-11.00	90	115	90.000	1.667	33.333	493.333	1.85	
-11.20	100	125	100.000	1.667	33.333	526.667	1.67	
-11.40	85	110	85.000	1.667	33.333	560.000	1.96	
-11.60	95	120	95.000	1.667	33.333	593.333	1.75	
-11.80	105	135	105.000	2.000	40.000	633.333	1.90	
-12.00	120	150	120.000	2.000	40.000	673.333	1.67	
-12.20	140	175	140.000	2.333	46.667	720.000	1.67	
-12.40	150	180	150.000	2.000	40.000	760.000	1.33	
-12.60	165	200	165.000	2.333	46.667	806.667	1.41	
-12.80	170	210	170.000	2.667	53.333	860.000	1.57	
-13.00	195	240	195.000	3.000	60.000	920.000	1.54	
-13.20	210	255	210.000	3.000	60.000	980.000	1.43	
-13.40	200	250	200.000	3.333	66.667	1046.667	1.67	
-13.60	220	275	220.000	3.667	73.333	1120.000	1.67	
-13.80	230	290	230.000	4.000	80.000	1200.000	1.74	
-14.00	240	295	240.000	3.667	73.333	1273.333	1.53	
-14.20								
-14.40								
-14.60								
-14.80								
-15.00								
-15.20								
-15.40								
-15.60								
-15.80								
-16.00								
-16.20								
-16.40								
-16.60								
-16.80								
-17.00								
-17.20								
-17.40								
-17.60								
-17.80								
-18.00								
-18.20								

Gambar 4.4.b. CPT (Cone Penetration Test)



Gambar 4.5. Grafik CPT (*Cone Penetration Test*)



Gambar 4.6. SPT (Standar Penetration Test)

4.1.2 Data Parameter Tanah

Adapun data parameter tanah yang digunakan dalam penelitian analisis Plaxis adalah sebagai berikut :

1. Tanah 1
 - a. Berat Volume Tanah (γ) = 16.845 kN/m³
 - b. Kohesi (c) = 3.555 kN/m²
 - c. Sudut Geser Dalam (ϕ) = 28.333 °

2. Tanah 2
 - a. Berat Volume Tanah (γ) = 17.125 kN/m³
 - b. Kohesi (c) = 7.333 kN/m²
 - c. Sudut Geser Dalam (ϕ) = 35.000 °

3. Tanah 3
 - a. Berat Volume Tanah (γ) = 17.500 kN/m³
 - b. Kohesi (c) = 34.445 kN/m²
 - c. Sudut Geser Dalam (ϕ) = 39.667 °

Adapun rekap data parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 4.1. berikut ini :

Tabel 4.1. Rekap Data Parameter Tanah

Parameter	Notasi	Satuan	Tanah 1	Tanah 2	Tanah 3
Model Material	Model	-	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Jenis Perilaku Material	Jenis	-	UnDrained	Drained	Drained
Berat Volume Unsaturated	γ_{unsat}	kN/m ³	16.845	17.125	17.560
Berat Volume Saturated	γ_{sat}	kN/m ³	19.568	20.135	20.524
Permeabilitas	Kx/Ky	m/hari	0.0864	0.864	0.864
Modulus Elastisitas	E	kN/m ²	10167	15000	33333.5
Angka Poisson	ν	-	0.245	0.149	0.354
Kohesi	c	kN/m ²	3.555	7.333	34.445

Sudut Gesek Dalam	ϕ	°	28.333	35	39.667
-------------------	--------	---	--------	----	--------

4.1.3 Data Beban Lalu Lintas

Data beban lalu lintas diperoleh berdasarkan *Panduan Geoteknik 4 No. PT-T-10-2002-B* (2002), yang mengklasifikasikan sistem jaringan jalan berdasarkan fungsi jalan dan nilai Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR). Berdasarkan pedoman tersebut, beban lalu lintas yang digunakan dalam analisis adalah sebesar 12 kN/m².

Tabel 4.2. Data Beban Lalu Lintas

Sistem Jaringan	Fungsi Jalan	LHR	Beban Lalu Lintas KN/m ²
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	>10.000	15
		<10.000	12
Sekunder	Arteri	>20.000	15
		<20.000	12
	Kolektor	>6.000	12
		<6.000	10
	Lokal	>500	10
		<500	10

4.1.4 Data Dinding Penahan Tanah

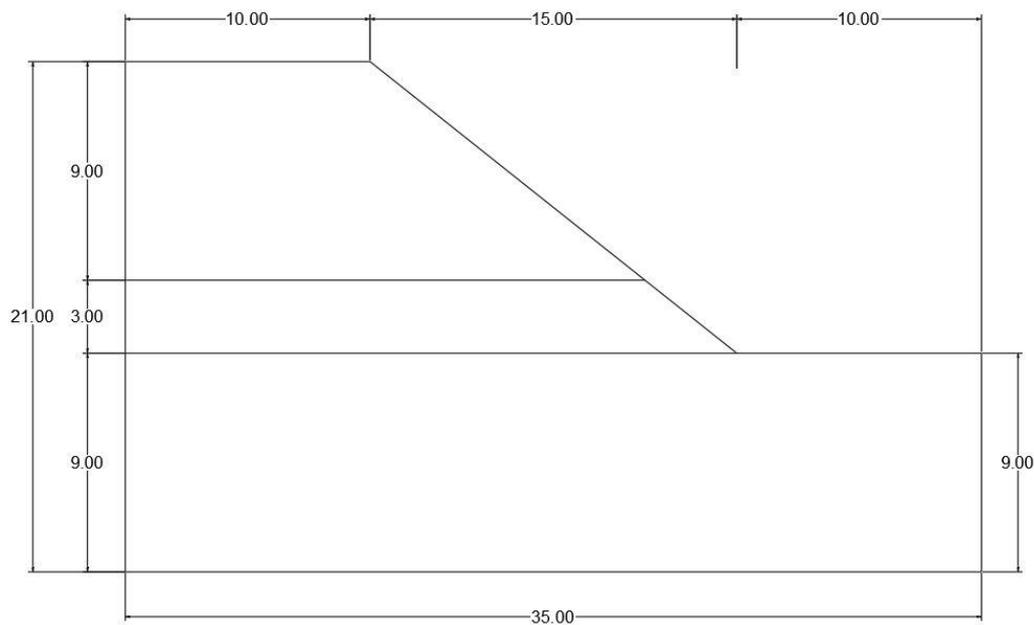
Data Parameter dan Spesifikasi Dinding Penahan Tanah tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.0. berikut ini :

Tabel 4.3. Data Spesifikasi Dinding Penahan Tanah

Jenis DPT	Nilai	Satuan
Mutu Beton (f_c')	24.9 (K-300)	Mpa
Berat Volume Beton (γ_c)	26.4	kN/m ³
Modulus Elastis (E)	23452.953	kN/m ²

4.2 Analisis Lereng Tanpa Perkuatan

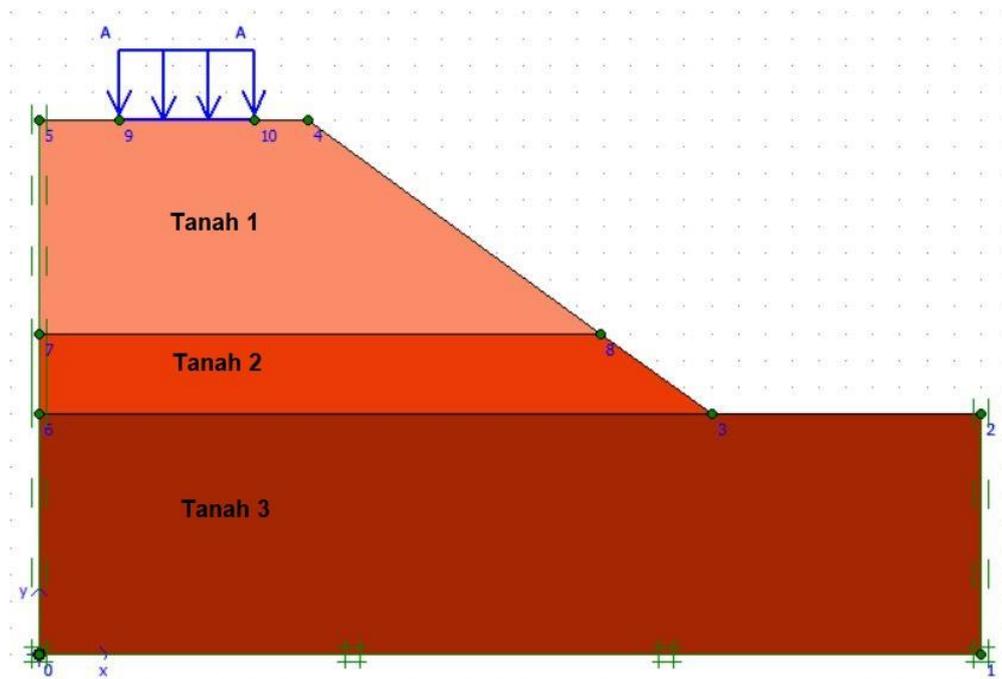
Analisis yang dilaksanakan dalam penelitian meliputi analisis stabilitas terhadap lereng asli pada Lokasi Wisata Noah's Park Di Sesar Lembang, Kabupaten Bandung Barat dengan ketinggian lereng 21 m dan lebar lereng 35 m. Analisis tersebut untuk mengetahui angka kea manan lereng terhadap beban gempa dan beban kendaraan yang melintas di atas jalan Dengan muka air setinggi 12 m di atas dasar sungai. Berikut ini adalah gambaran eksisting lereng asli dengan muka air dapat dilihat pada **Gambar 4.7.** sebagai berikut :



Gambar 4.7. Lereng Tanpa Perkuatan

4.2.1 Pemodelan Lereng Tanpa Perkuatan

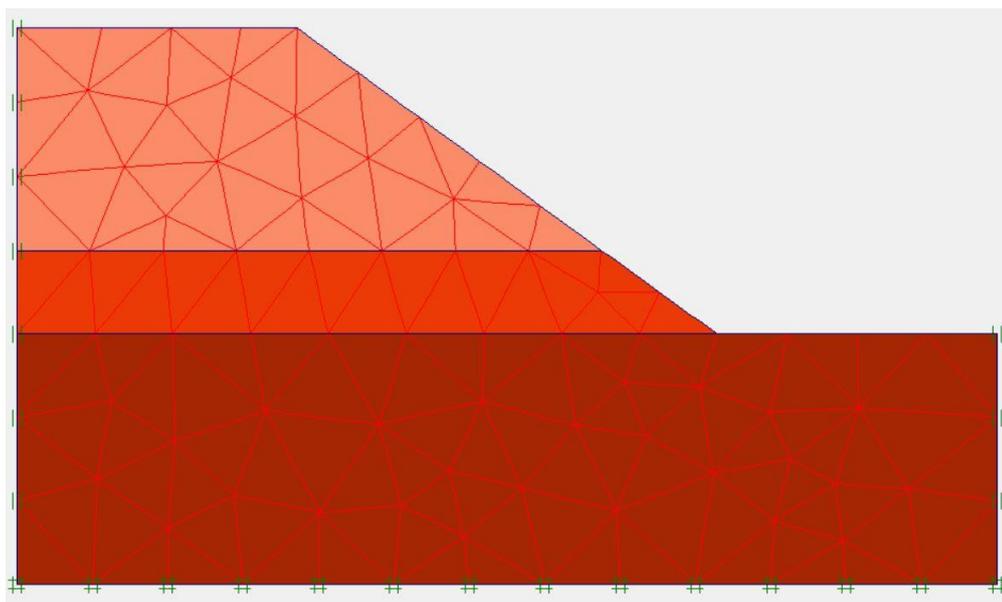
pada tahap pemodelan, seluruh parameter data geoteknik diinput ke *Program Plaxis 2D V.8.6* untuk mengetahui keruntuhan yang terjadi pada lereng tersebut. *Input* pemodelan lereng dengan kondisi batas, beban kendaraan dapat dilihat pada **Gambar 4.8.** sebagai berikut :



Gambar 4.8. Pemodelan Lereng Tanpa Perkuatan

4.2.2 Pembuatan Jaring Elemen

Setelah kondisi batas diterapkan pada model, tahap berikutnya adalah pembagian geometri menjadi elemen-elemen imajiner melalui proses *meshing*. Dalam pemodelan menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D versi 8.6, jenis mesh yang digunakan adalah *fine mesh* untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih akurat. Hasil penyusunan elemen-elemen mesh tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut

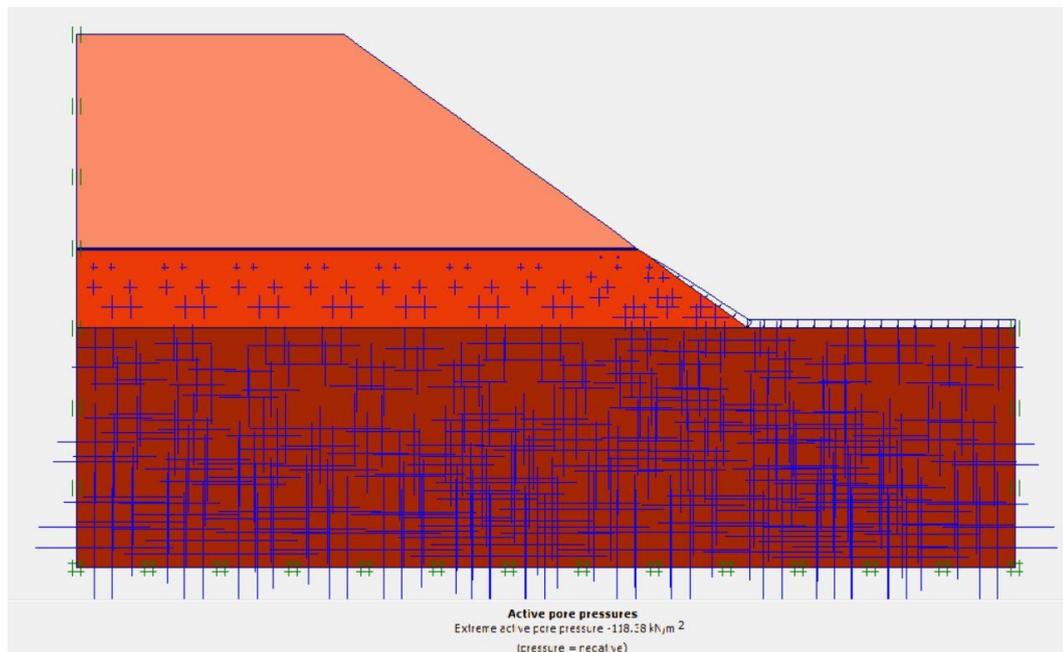


Gambar 4.9. Jaringan-Jaringan Elemen Lereng Tanpa Perkuatan

4.2.3 Tahap Perhitungan

1. Perhitungan Tegangan Awal

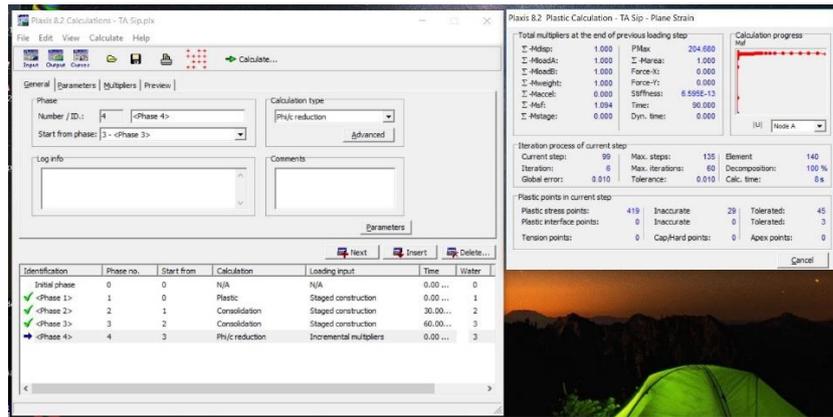
Tegangan awal dihitung dengan plastis dimana faktor pengali tanah adalah 1. Perhitungan ini disebut sebagai beban gravitasi (*Gravity Load*) dan dalam fase perhitungan hanya melibatkan struktur tanah dan batuan pembentuk lereng. Gambar tegangan dapat dilihat pada **Gambar 4.10.** Dari **Gambar 4.10.** didapat *Active pore Pressure* sebesar -118.38 kN/m^2 .



Gambar 4.10. Perhitungan Tegangan Awal Lereng Tanpa Perkuatan

2. Tahap *Calculation*

Setelah seluruh parameter dimasukkan dan perhitungan awal dilakukan, tahap selanjutnya adalah proses *Calculation*. Tahap ini berfungsi untuk menjalankan analisis lebih lanjut sesuai dengan skenario pembebanan yang telah ditentukan. Proses perhitungan dimulai dari pembebanan akibat berat sendiri (*self weight*) hingga tahap analisis untuk memperoleh nilai faktor keamanan dengan mempertimbangkan pengaruh beban gempa. Ilustrasi tahapan ini ditunjukkan pada Gambar 4.11 berikut:



Gambar 4.11. Analisis Perhitungan Lereng Tanpa Perkuatan

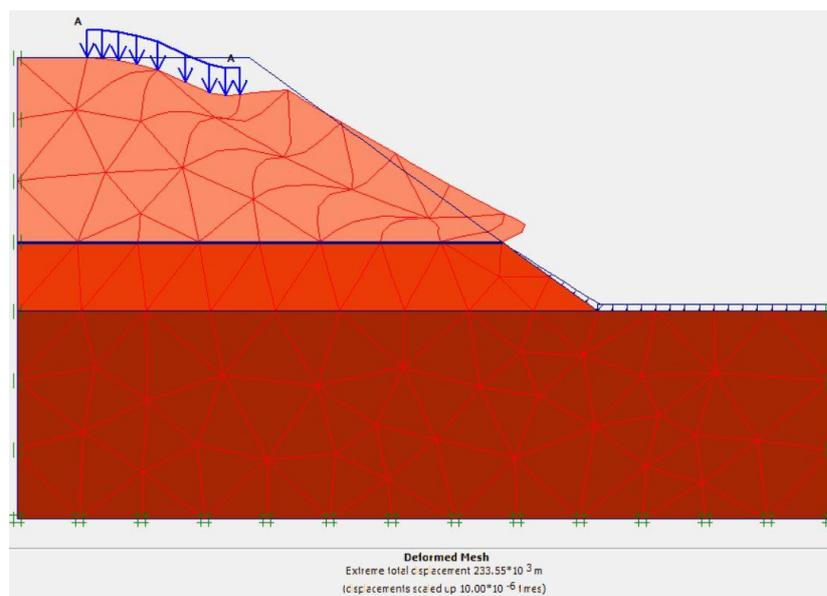
4.2.4 Hasil Output Lereng Tanpa Perkuatan

Setelah perhitungan selesai dianalisis maka tahap selanjutnya dapat diketahui besar displacement keruntuhan lereng dan angka keamanan lereng. Hasil perhitungan analisis menggunakan Program Plaxis 2D V.8.6 dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini :

1. Hasil Prhitungan Lereng Tanpa Perkuatan

a. Deformed Mesh

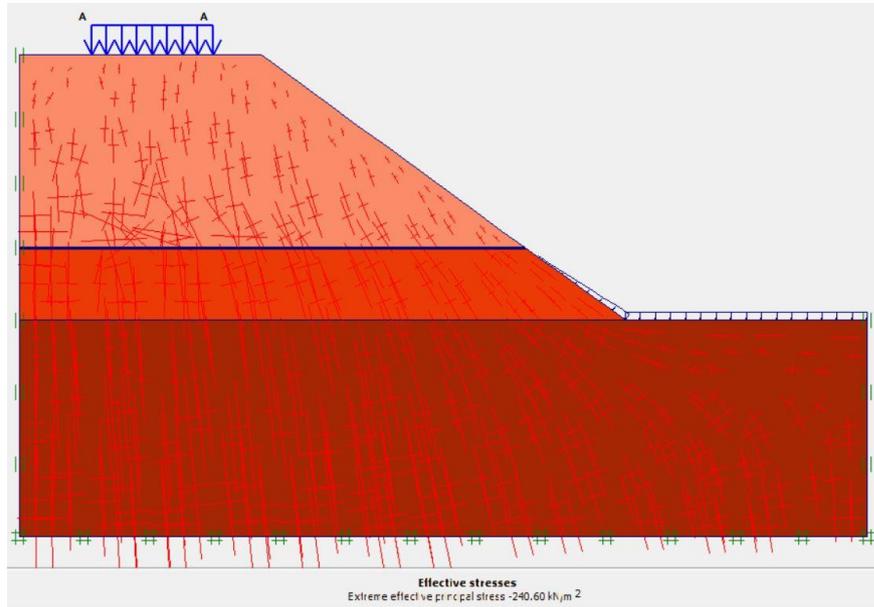
hasil *Deformed Mesh* dengan beban kendaraan dapat dilihat pada **Gambar 4.12.** Dari **Gambar 4.12.** didapatkan *Total Displacement* sebesar 233.55×10^3 m. Dari hasil tersebut maka diketahui bahwa pergerakan total tanah masih dalam kategori aman terhadap longsor.



Gambar 4.12. Deformed Mesh Lereng Tanpa Perkuatan

b. *Effective Stresses*

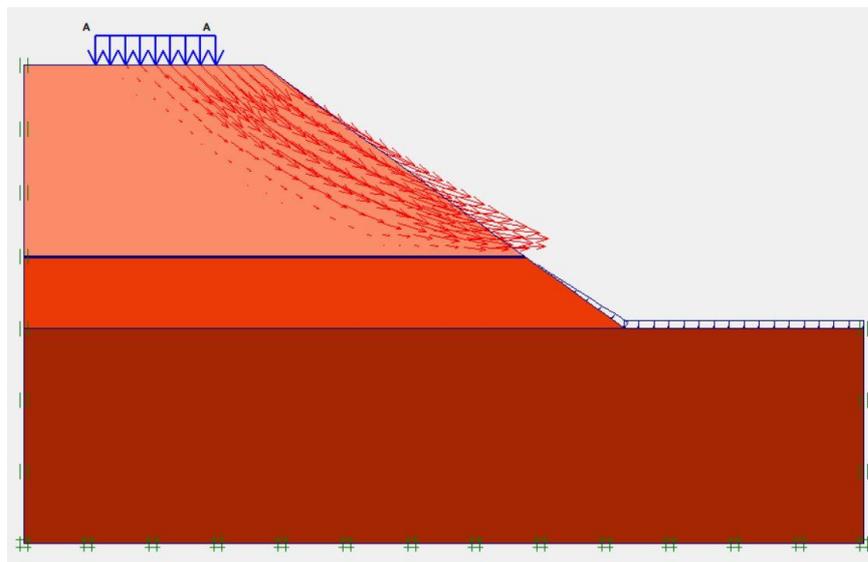
Besarnya nilai *Effective Stresses* dengan beban merata kendaraan adalah sebesar -240.30 kN/m^2 seperti pada **Gambar 4.13**. tekanan efektif tersebut sebagai berikut :



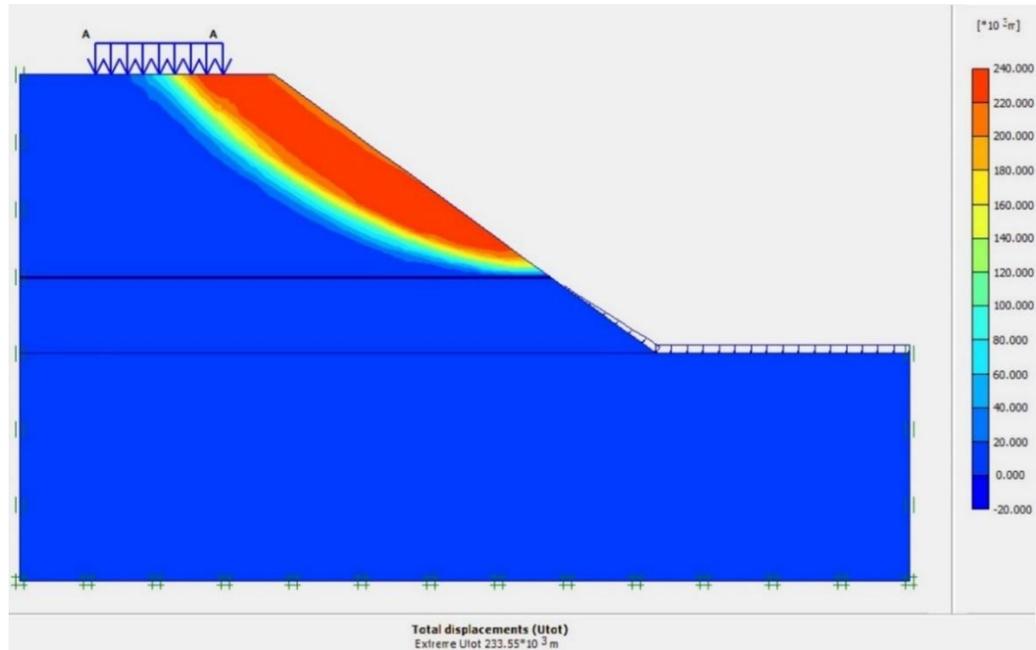
Gambar 4.13. *Effective Stresses* Lereng Tanpa Perkuatan

c. Arah Pergerakan dan Daerah Potensial Tanah Longsor

Untuk arah pergerakan dan daerah potensial longsor dapat dilihat pada **Gambar 4.14**. dan **Gambar 4.15**. Dari **Gambar 4.15**. didapat nilai *Total Displacement* sebesar $233.55 \times 10^3 \text{ m}$.



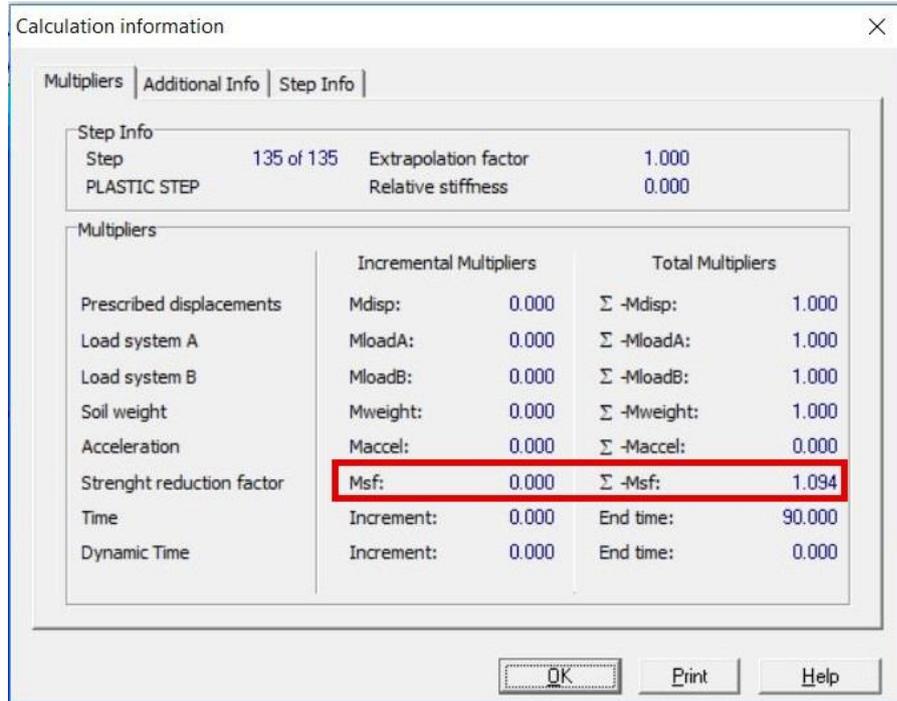
Gambar 4.14. Arah Pergerakan Tanah Longsor Lereng Tanpa Perkuatan



Gambar 4.15. Daerah Potensial Keruntuhan Tanah Longsor Lereng Tanpa Perkuatan

d. *Safety Factor* (Angka Keaman)

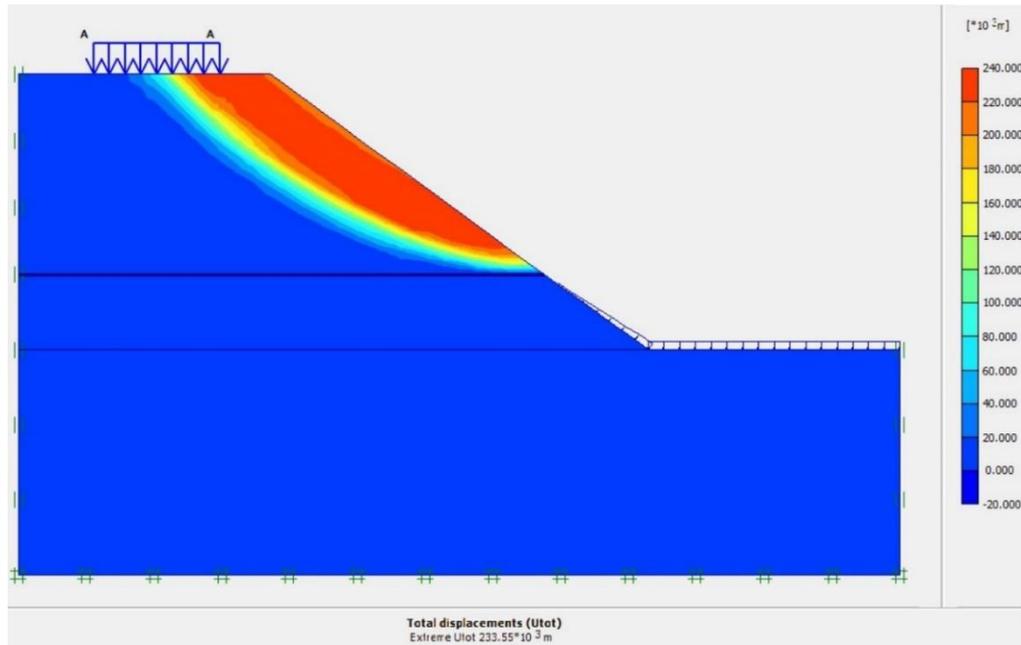
Safety Factor dapat dilihat pada **Gambar 4.16.** berikut ini. Dari **Gambar 4.16.** didapatkan *Safety Factor* sebesar 1.094 **(Tidak Aman)**



Gambar 4.16. Safety Factor Lereng Tanpa Perkuatan (Tidak Aman)

e. *Total Displacement*

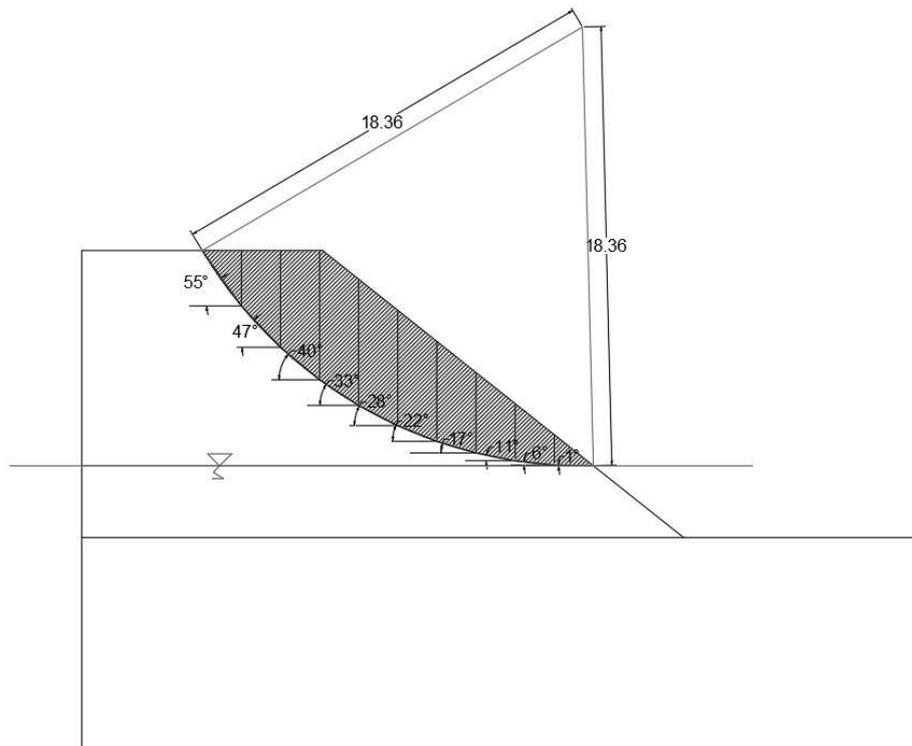
Besarnya nilai *Total Displacement* dengan beban kendaraan Tanpa Perkuatan adalah sebesar 23355 m. Beban kendaraan diasumsikan sebagai beban merata dengan panjang sesuai dengan lebar jalan dilokasi proyek sepanjang 5 m. Berikut gambar *Total Displacement* yang terjadi pada tanah asli yang dapat dilihat pada **Gambar 4.17**



Gambar 4.17. Total Displacement Lereng Tanpa Perkuatan

4.3 Analisis Hitungan Manual Metode Fellenius Tanpa Perkuatan

Analisis hitungan manual untuk stabilitas lereng asli digunakan metode irisan *Fellenius*. Dimana metode tersebut berdasarkan daerah potensial keruntuhan. Untuk perhitungannya dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 4.18. Irisan Daerah Keruntuhan Tanah Lereng Tanpa Perkuatan

Berdasarkan **Gambar 4.18**, irisan tersebut dapat diketahui panjang, luas dan sudut masing-masing irisan yang akan digunakan sebagai dasar perhitungan angka keamanan dengan metode *Fellenius*.

Perhitungan manual dengan metode *Fellenius* dapat dilihat sebagai berikut :

1. Perhitungan Radians = $\alpha x \frac{\pi}{180}$
2. Perhitungan Berat Irisan = Luas x γ
3. Perhitungan = Sin α
4. Perhitungan = Cos α
5. Pehitungan = Wt x Sin α
6. Perhitunga = Wt x Cos α

Tabel 4.4. Perhitungan Metode Fellenius Tanpa Perkuatan

No	Panjang Irisan (L)	Kohesi Tanah (C)	Bidang Geser c*L	Ø	Tan Ø	Luas Irisan (M2)	Sudut Tiap Irisan (α)	Radians	Sin α	Cos α	Gama Unsat (Yunsat)	Berat Irisan (Wt) (Luas*Y)	Wt*Ssin α	Wt*Cos α	tan Ø * Wt Cos a
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
1	1.626	3.555	5.780	28.333	0.539	1.046	1.000	0.017	0.017	1.000	16.845	17.620	0.308	17.617	9.499
2	1.635	3.555	5.812	28.333	0.539	2.992	8.000	0.140	0.139	0.990	16.845	50.400	7.014	49.910	26.911
3	1.658	3.555	5.894	28.333	0.539	4.697	11.000	0.192	0.191	0.982	16.845	79.121	15.097	77.667	41.877
4	1.696	3.555	6.029	28.333	0.539	6.152	17.000	0.297	0.292	0.956	16.845	103.630	30.299	99.102	53.435
5	1.753	3.555	6.232	28.333	0.539	7.341	22.000	0.384	0.375	0.927	16.845	123.659	46.324	114.655	61.820
6	1.834	3.555	6.520	28.333	0.539	8.235	28.000	0.488	0.469	0.883	16.845	138.719	65.124	122.481	66.040
7	1.949	3.555	6.929	28.333	0.539	8.785	33.000	0.576	0.545	0.839	16.845	147.983	80.597	124.109	66.918
8	2.117	3.555	7.526	28.333	0.539	7.721	40.000	0.698	0.643	0.766	16.845	130.060	83.601	99.632	53.720
9	2.376	3.555	8.447	28.333	0.539	5.231	47.000	0.820	0.731	0.682	16.845	88.116	64.444	60.095	32.403
10	2.832	3.555	10.068	28.333	0.539	1.985	55.000	0.959	0.819	0.574	16.845	33.437	27.390	19.179	10.341
Total			69.237										420.198		422.965

SF $\frac{c*L + \text{Tan } \varnothing \cdot \Sigma w \cdot \text{cosa}}{\Sigma W \cdot \text{Sina}}$

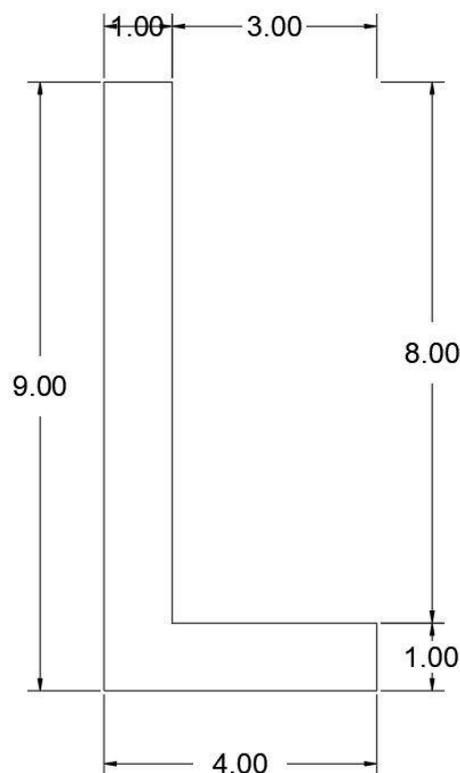
= 1.171 **Tidak Aman**

4.4 Analisis Dinding Penahan Tanah Beton Bertulang

Analisis Dinding Penahan Tanah diperlukan untuk melakukan perkuatan tanah pada daerah tanah yang mengalami keruntuhan. Dinding Penahan Tanah dipasang di atas tanah keras dengan tinggi sesuai daerah keruntuhan. Analisis ini menggunakan metode dengan menggunakan *Program Plaxis 2D V.8.6*. Analisis menggunakan *Program Plaxis 2D V.8.6* pada dinding penahan tanah sama halnya dengan analisis stabilitas lereng. Hal yang membedakan ialah data Dinding Penahan Tanahnya. Data Dinding Penahan Tanah adalah sebagai berikut : ”

1. Dinding Penahan Tanah terbuat dari beton bertulang.
2. Mutu beton bertulang yang digunakan adalah $F_c' = 24.9 \text{ Mpa}$ (K-300).
3. Berat volume beton bertulang yang digunakan adalah 26.4 kN/m^3 .
4. Dinding Penahan Tanah memiliki jenis tipe dinding kantilever.
5. Dinding Penahan Tanah memiliki tinggi 9 m dan lebar 4 m.
6. Tulangan Pokok D16 dan tulangan Senggang $\phi 10$.

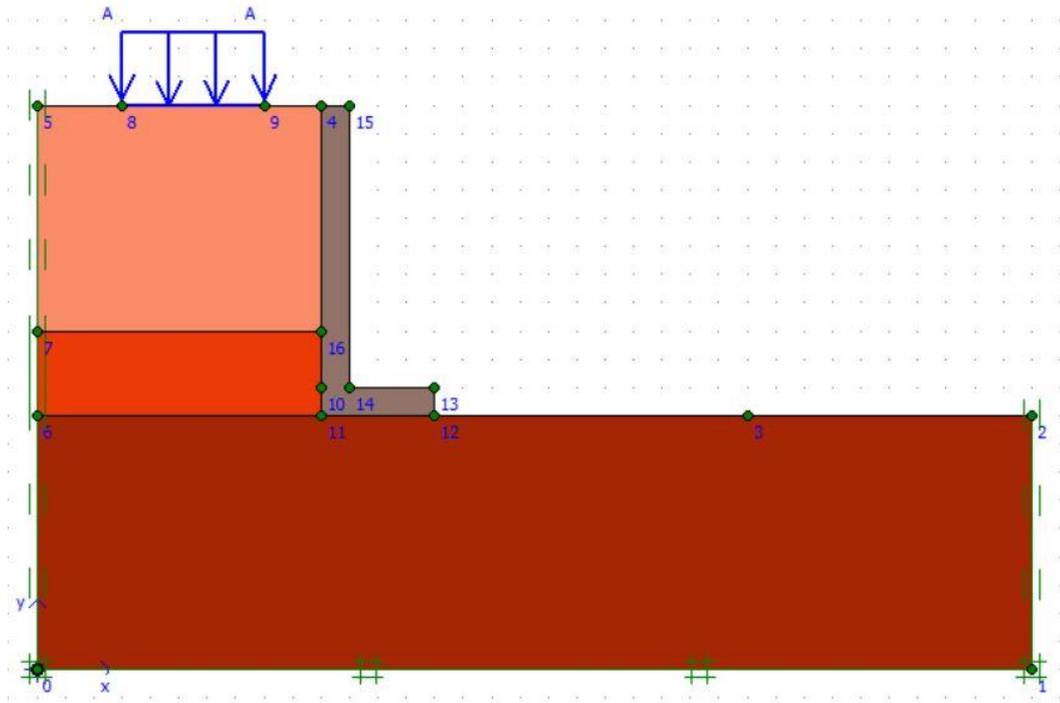
Untuk memperjelas Dimensi dan Parameter Dinding Penahan Tanah dapat dipilih pada **Gambar 4.19**. berikut ini :



Gambar 4.19. Dimensi Dinding Penahan Tanah Kantilever

4.4.1 Pemodelan Lereng Dengan Perkuatan

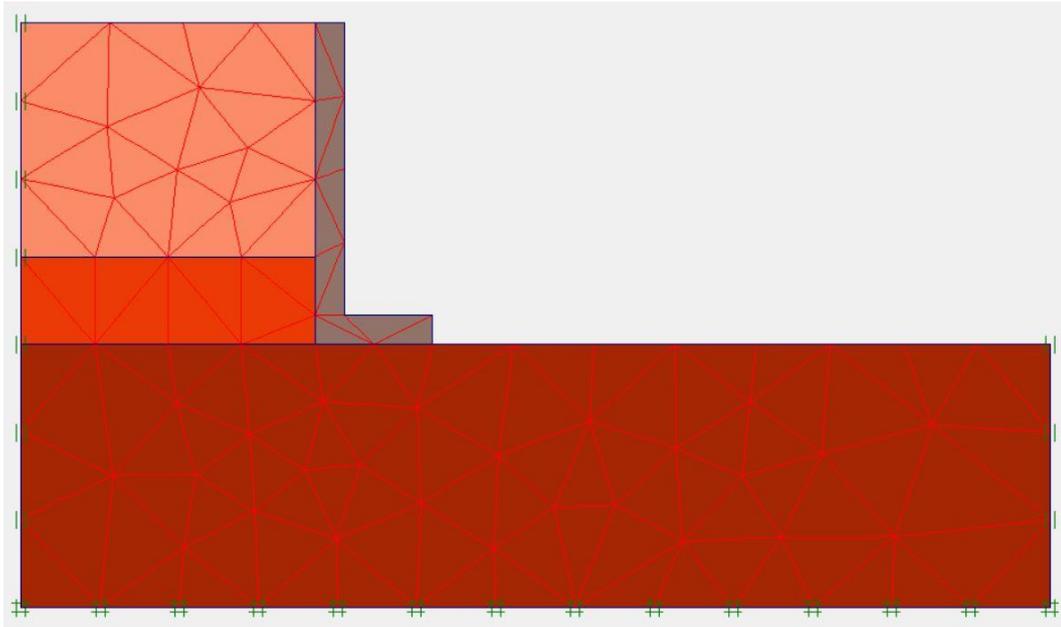
Padatahap pemodelan, seluruh parameter data geoteknik dimasukkan ke *Program Plaxis 2D V.8.6* untuk mengetahui keruntuhan yang terjadi pada lereng tersebut. Input pemodelan lereng dengan perkuatan dengan kondisi batas, beban kendaraan dapat dilihat pada **Gambar 4.20.** berikut ini : ”



Gambar 4.20. Pemodelan Lereng Dengan Perkuatan

4.4.2 Jaringan Elemen Dengan Perkuatan

sesudah kondisi batas diterapkan pada model, langkah selanjutnya adalah model geometri dibagi menjadi elemen-elemen imajiner (*Meshing*). Penyusunan jarring-jaring elemen pada *Program Plaxis 2D V.8.6* ini digunakan jenis *fine*. Jarring-jaring elemen yang telah dibuat dapat dilihat pada **Gambar 4.21.** berikut ini :

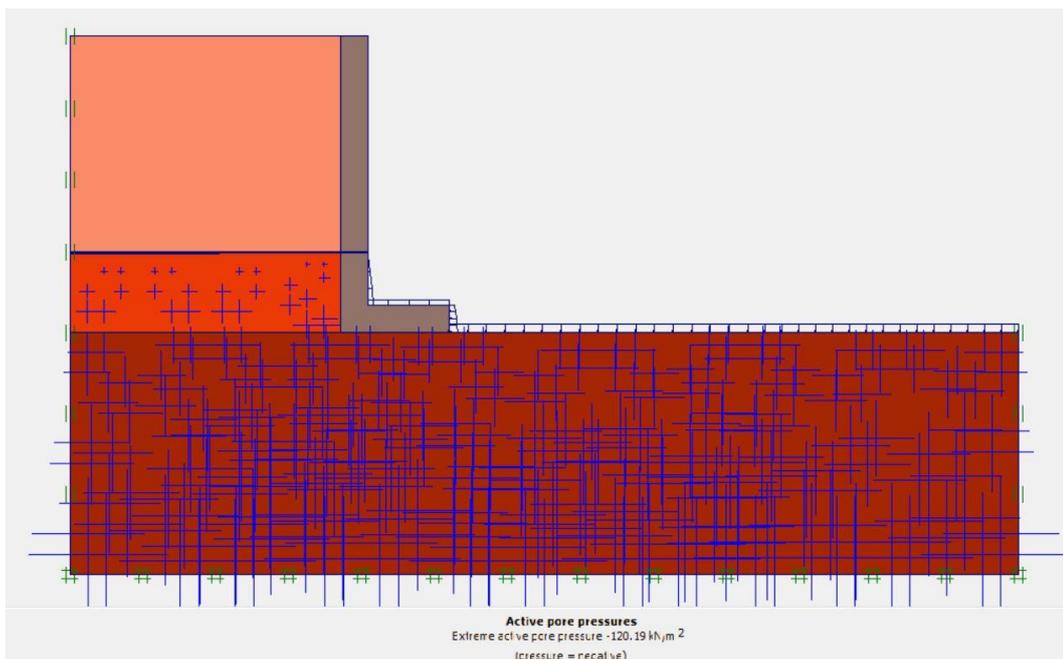


Gambar 4.21. Jaring-Jaring Elemen Lereng Dengan Perkuatan

4.4.3 Tahap Perhitungan Dengan Perkuatan

1. Perhitungan Tegangan Awal

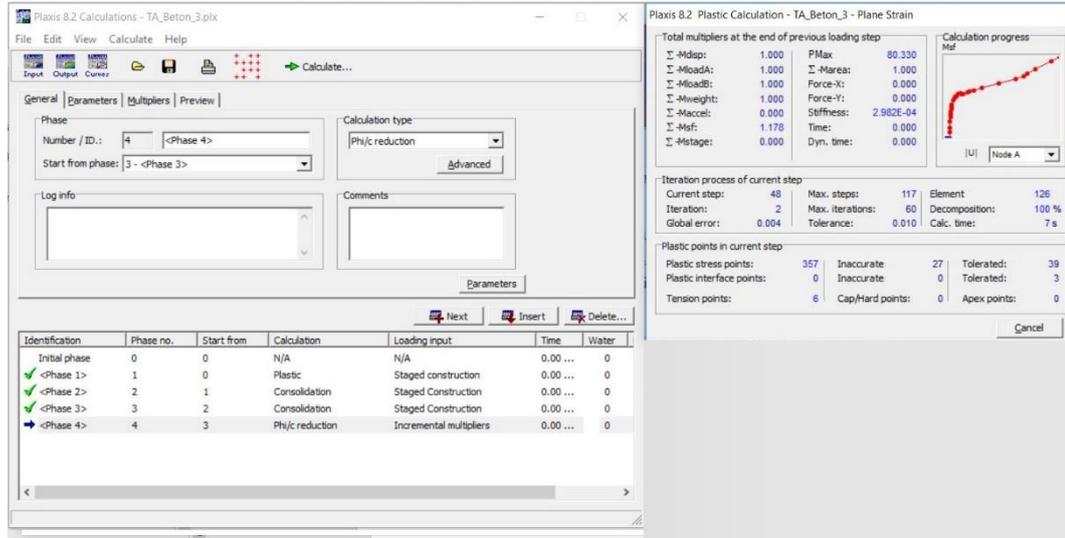
Tegangan awal dihitung dengan plastis dimana faktor pengali tanah adalah 1. Perhitungan ini disebut sebagai beban gravitasi (*Gravity Load*) dan dalam fase perhitungan hanya melibatkan struktur tanah dan batuan pembentuk lereng. Dimana gambar tegangan dapat dilihat pada **Gambar 4.22.** berikut ini :



Gambar 4.22. Perhitungan Tegangan Awal Lereng Dengan Perkuatan

2. Tahap *Calculation*

Pada tahap ini setelah semua parameter dimasukkan dan dilakukan perhitungan, maka dilakukan tahap *Calculation* seperti pada **Gambar 4.23.** untuk mendapatkan *Output* hitungan *Program Plaxis 2D V.2.6* berikut ini :”



Gambar 4.23. Analisis Perhitungan Lereng Ditambah Perkuatan

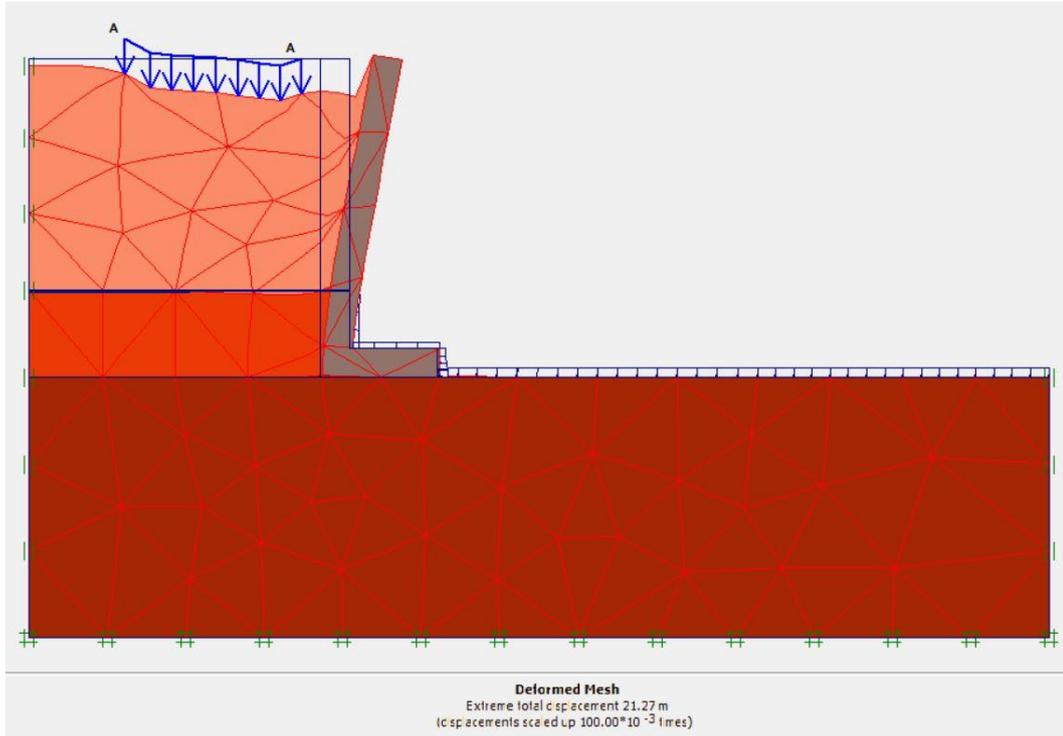
4.4.4 Hasil *Output* Dinding Penahan Tanah Dengan Perkuatan

Setelah proses analisis selesai dilakukan, langkah berikutnya adalah mengevaluasi besarnya perpindahan (displacement) akibat keruntuhan lereng serta menentukan nilai faktor keamanan lereng. Hasil analisis yang diperoleh menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D versi 8.6 ditampilkan pada gambar-gambar berikut.

1. Hasil Analisis Lereng dengan Perkuatan

a. Deformed Mesh

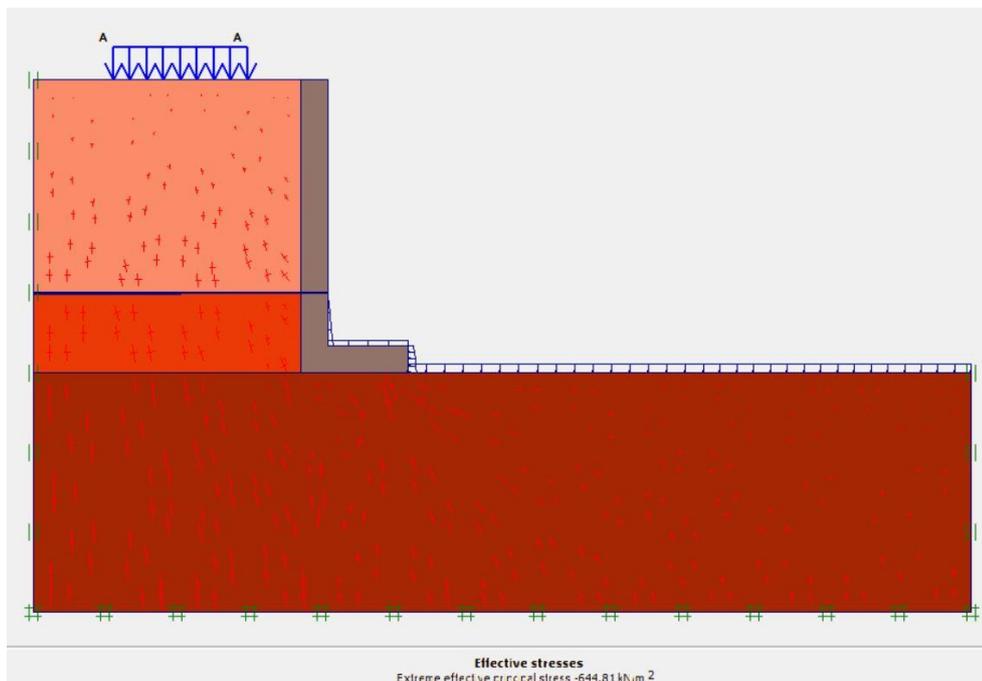
Visualisasi *Deformed Mesh* akibat beban kendaraan ditunjukkan pada **Gambar 4.24.** Berdasarkan gambar tersebut, nilai *Extreme Total Displacement* yang diperoleh adalah sebesar 21,27 meter



Gambr 4.24. Deformed Mesh Lereng Ditambah Perkuatan

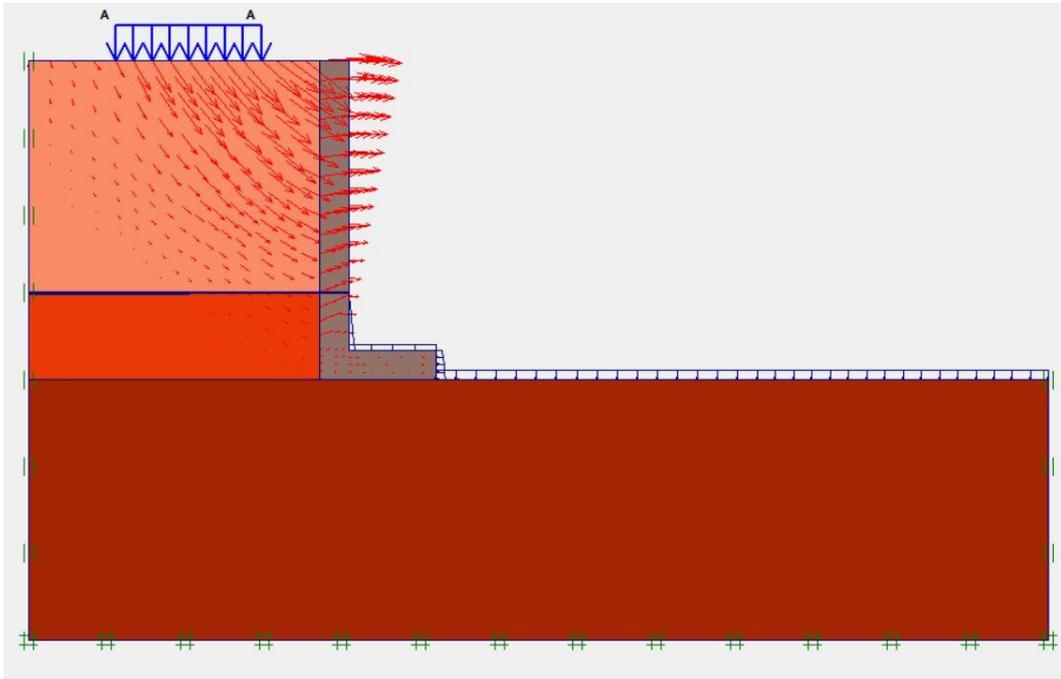
a. *Effective Stresses*

Besarnya nilai *Effective Stresses* dengan ditambahkan beban merata kendaraan adalah sebesar -644.81 kN/m^2 , seperti pada **Gambr 4.25.** berikut ini :

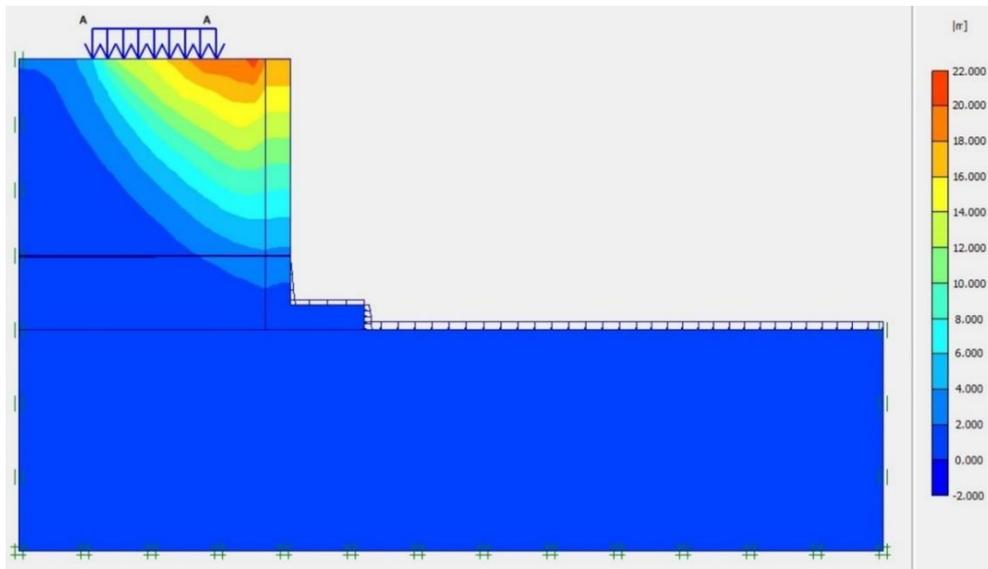


Gambr 4.25. Effective Stresses Lereng Ditambah Perkuatan

- b. Arah Pergerakan dan Daerah Potensial Tanah Longsor Dengan Perkuatan
 Untuk arah pergerakan dan daerah potensial longsor dapat dilihat pada **Gambr 4.26.** dan **Gambr 4.27.** sebagai berikut ini :



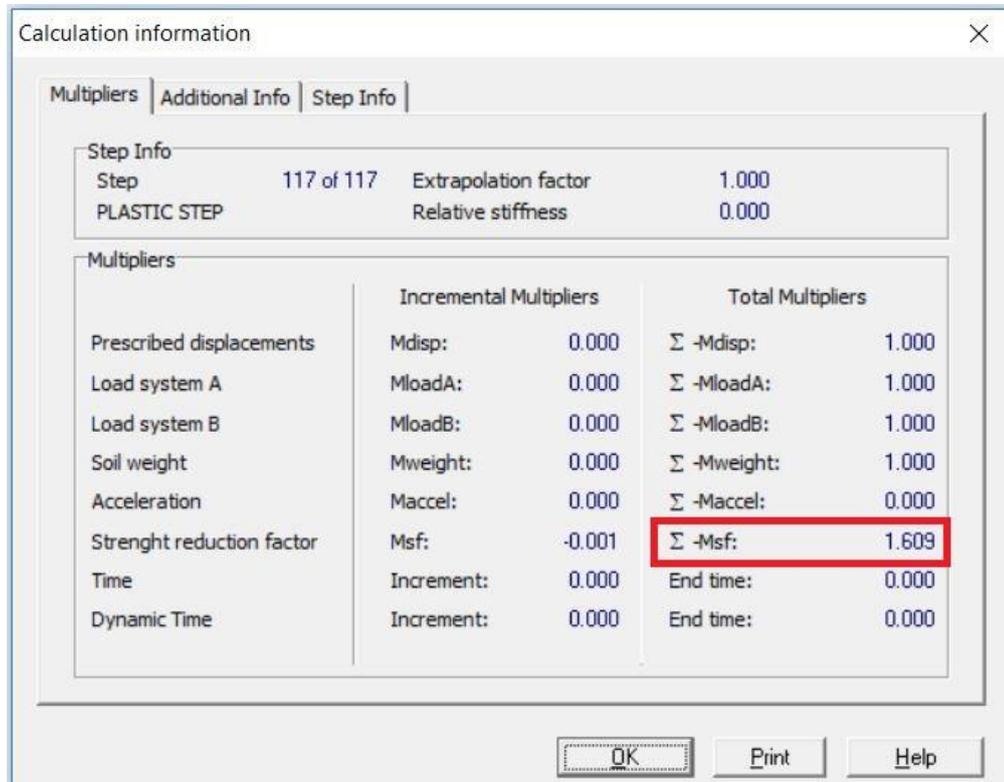
Gambr 4.26. Arah Pergerakan Tanah Longsor Lereng Ditambah Perkuatan



Gambar 4.27. Daerah Potensial Keruntuhan Tanah Longsor Lereng Ditambah Perkuatan

- c. *Safety Factor* (Angka aman)

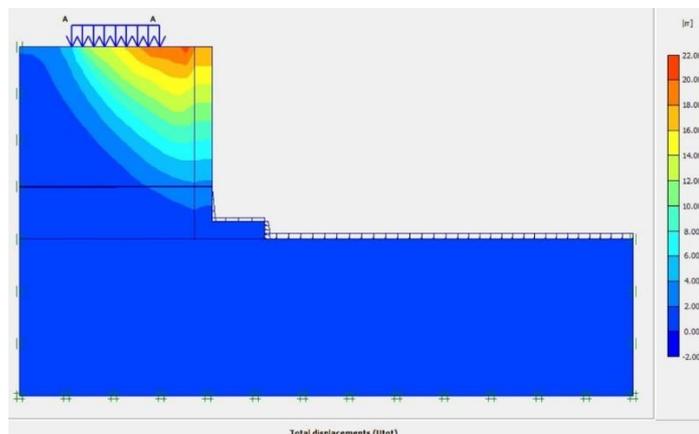
Besarnya *Safety Factor* terdapat pada **Gambr 4.28.**, dari gambar tersebut didapatkan *Safety Factor* sebesar 1.609. (**Aman**)



Gambar 4.28. Safety Factor Lereng Ditambah Perkuatan (Aman)

d. *Total Displacement*

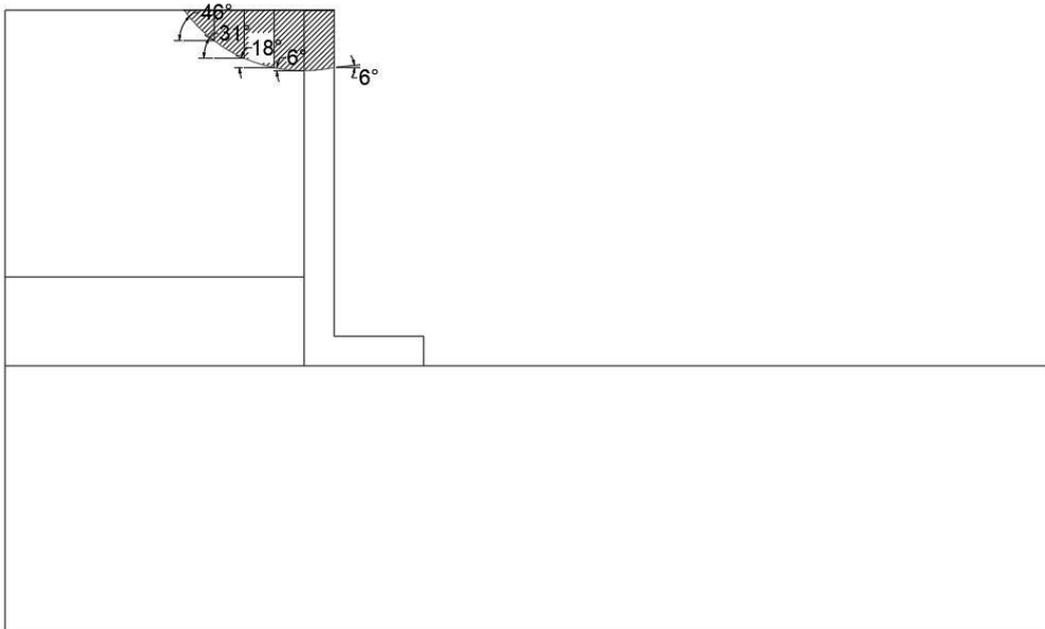
1 Nilai *Total Displacement* akibat beban kendaraan tercatat sebesar 21,27 meter. Beban kendaraan ini diasumsikan sebagai beban merata dengan panjang mengikuti lebar jalan di lokasi proyek, yaitu sepanjang 5 meter. Visualisasi *Total Displacement* pada tanah asli ditampilkan pada Gambar 4.29 berikut



Gambr 4.29. Total Displacement Lereng Ditambah Perkuatan

4.5 Analisis Hitungan Manual Metode Fellenius Ditambah Perkuatan Beton bertulang

Analisis manual untuk mengevaluasi stabilitas lereng asli dilakukan dengan menggunakan metode irisan Fellenius, yang berfokus pada zona potensial terjadinya keruntuhan. Langkah-langkah perhitungannya dijelaskan sebagai berikut



Gambar 4.30. Irisan Daerah Keruntuhan Tanah Lereng Ditambah Perkuatan

Tabel 4.5. Perhitungan Metode Fellenius Dengan Perkuatan

No	Parjang Irisan (L)	Kohesi Tanah (C)	Bidang Geser c*L	Ø	Tan Ø	Luas Irisan (M2)	Sudut Tiap Irisan (α)	Radians	Sin α	Cos α	Gama Unsat (γ _{unsat})	Berat Irisan (Wt) (Luas*γ)	Wt*Sin α	Wt*Cos α	tan Ø * Wt Cos α
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
1	1.010	40.000	40.400	40.000	0.839	2.004	6.000	0.105	0.105	0.995	16.845	33.757	3.529	33.572	28.171
2	1.009	3.555	3.587	28.333	0.539	2.012	6.000	0.105	0.105	0.995	16.845	33.892	3.543	33.706	18.174
3	1.054	3.555	3.747	28.333	0.539	1.804	18.000	0.314	0.309	0.951	16.845	30.388	9.391	28.901	15.583
4	1.167	3.555	4.149	28.333	0.539	1.354	31.000	0.541	0.515	0.857	16.845	22.808	11.747	19.550	10.541
5	1.441	3.555	5.123	28.333	0.539	0.565	46.000	0.802	0.719	0.695	16.845	9.517	6.846	6.611	3.565
Total			57.005										35.055		76.034

$$SF = \frac{c \cdot L + \tan \theta \cdot \sum W \cdot \cos \alpha}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

= 3.795 **Aman**

4.6 Analisis dan Pembahasan

Hasil dari perhitungan *Program Plaxis 2D V.8.6* lereng Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan di dapatkan :

1. *Safety Factor* Tanpa Perkuatan = $1.094 \leq 1.5$ (**Tidak Aman**)
2. *Safety Factor* Dengan Perkuatan = $1.609 \geq 1.5$ (**Aman**)

Hasil dari perhitungan *Metode Fellenius* lereng Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan di dapatkan :

1. *Safety Factor* Tanpa Perkuatan = $1.171 \leq 1.5$ (**Tidak Aman**)
2. *Safety Factor* Dengan Perkuatan = $3.795 \geq 1.5$ (**Aman**)

33

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

56

1. Perhitungan lereng tanpa perkuatan menggunakan Program Plaxis 2D versi 8.6 menunjukkan nilai faktor keamanan sebesar 1,094, yang kurang dari batas aman 1,5, sehingga dinyatakan tidak aman.
2. Perhitungan lereng tanpa perkuatan dengan metode Fellenius menghasilkan faktor keamanan sebesar 1,144, juga di bawah nilai batas aman 1,5, sehingga dinyatakan tidak aman.
3. Mengingat kondisi lereng yang tidak aman, dilakukan perkuatan menggunakan dinding penahan tanah kantilever dari beton bertulang dengan mutu beton $f_c' = 24,9$ MPa (K-300).
4. Setelah diberi perkuatan kantilever, perhitungan dengan Program Plaxis 2D versi 8.6 menunjukkan faktor keamanan sebesar 1,609, yang melebihi batas aman 1,5, sehingga kondisi lereng dinyatakan aman.
5. Hasil perhitungan perkuatan kantilever menggunakan metode Fellenius juga menunjukkan faktor keamanan sebesar 3,795, jauh di atas batas aman, sehingga lereng dinyatakan aman

2

61

5.2. Saran

1. Untuk menjadikan perbandingan perkuatan lereng eksisting bisa dilakukan dengan cara lain seperti :
 - a. Perkuatan Turap (*Sheet Pile*)
 - b. Penggunaan Geotekstil
 - c. Dinding Penahan Tanah Gravity Wall
 - d. Pembentukan Slope Lereng (Terasering)
 - e. Dengan Menggunakan Tumbukan
2. Optimasi pembangunan bisa dilakukan desain Dinding Penahan Tanah Kantilever yang lebih ekonomis atau *Safety Factor* mendekati 1.5.