

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Transportasi adalah proses perpindahan barang atau manusia dari satu tempat menuju tempat lainnya yang digerakkan oleh mesin atau manusia dengan waktu tempuh yang cepat, biaya yang relative murah, dan menampung jumlah penumpang dalam kapasitas yang cukup banyak transportasi (Nafis, Setyawan dan Mohammad Musthofa, 2021). membuat para penumpang memilih menggunakan transportasi sangat dibutuhkan masyarakat khususnya di Indonesia sebagai sarana transportasi masal untuk memenuhi perekonomian, karena sebagian besar masyarakat tidak mempunyai kendaraan pribadi dan tingkat perekonomian rendah, sehingga sangat diperlukan pembangunan atau peningkatan kualitas pelayanan transportasi masal. Salah satu transportasi masal yang mengalami peningkatan penumpang dan sering digunakan oleh masyarakat yaitu kereta api.

Kereta api merupakan alat transportasi yang banyak diminati di Indonesia, dengan perkembangan ekonomi yang sangat pesat, faktor keamanan, efisien waktu dan harga tiket yang terjangkau bagi semua kalangan masyarakat, mendorong manusia untuk memanfaatkan kereta api sebagai alat transportasi darat. Menyadari betapa penting angkutan kereta api, pemerintah terus melakukan pembangunan jalur kereta api, salah satunya yang berada di pulau jawa.

Pembangunan jalur ganda kereta api lintas selatan oleh Ditjen Perkeretaapian, Kementerian Perhubungan ini telah dimulai sejak tahun 2015 dengan panjang lintasan 694 kilometer. Awal Oktober 2020 lalu, Menteri Perhubungan telah meresmikan pengoperasian parsial jalur ganda lintas selatan Jawa di Stasiun Solo Balapan. Jalur Ganda Kereta Api lintas selatan yang sudah beroperasi dan telah diresmikan Menteri perhubungan adalah jalur ganda sepanjang 550 km dari Cirebon, Purwokerto, Kroya, Jogjakarta, Solo, Madiun, dan Jombang

Pada proyek pembangunan jalur ganda antara solo balapan – kadipiro – kalioso memiliki panjang lintasan sebesar 8,5 km dengan kondisi tanah yang beragam, Pada KM 98 + 550 tanah di lapangan merupakan tanah lunak. tanah yang lunak bisa

mengakibatkan penurunan pada tanah (*settlement*) dan longsor. Oleh karena itu diperlukan analisis timbunan di atas tanah lunak yang akan di bangun jalan rel.

Pekerjaan pada proyek pembangunan jalur ganda kereta api antara solo balapan – kadapiro - kalioso akan dilakukan pekerjaan timbunan tanah. Penimbunan tanah tersebut dilakukan dengan tujuan untuk membentuk desain trase yang sudah direncanakan namun karena jenis tanah pada proyek tersebut merupakan tanah lunak maka diperlukan kajian analisis stabilitas tanah.

Adanya pekerjaan timbunan membentuk suatu lereng baru sehingga perlu di analisis kestabilan timbunan tersebut. Ada berbagai metode dalam menganalisis kestabilan lereng salah satunya menggunakan *software* geoteknik yang berbasis pada analisis metode elemen hingga yaitu *Plaxis*. Analisis pada *Plaxis* menghasilkan angka keamanan lereng yang menunjukkan kondisi kestabilan timbunan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut ini:

1. Bagaimana stabilitas timbunan tanah tanpa perkuatan *geotextile* pada pembangunan jalur ganda antara Solo Balapan – Kadapiro – Kalioso menggunakan *software plaxis* ?
2. Bagaimana stabilitas timbunan tanah menggunakan perkuatan menggunakan *geotextile* pada pembangunan jalur ganda antara Solo Balapan – Kadapiro – kalioso menggunakan *software plaxis* ?
3. Bagaimana menganalisis faktor keamanan (*safety factor*) dan besar penurunan Timbunan tanah menggunakan *software plaxis*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui stabilitas timbunan tanah tanpa perkuatan *geotextile* pada proyek pembangunan jalur ganda antara Solo Balapan – Kadapiro – Kalioso menggunakan *software plaxis*.

2. Mengetahui stabilitas timbunan tanah menggunakan perkuatan *geotextile* pada proyek pembangunan jalur ganda antara Solo Balapan – Kadipiro – Kalioso menggunakan *software plaxis* .
3. Mengetahui faktor keamanan (*safety factor*) dan besar penurunan timbunan menggunakan *software plaxis*.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai rekomendasi untuk menghindari terjadinya kelongsoran pada tanah timbunan pada proyek pembangunan jalur ganda kereta api antara solo balapan – kadipiro – kalioso.
2. Manfaat untuk peneliti sendiri yaitu dapat mengetahui hasil dari analisis stabilitas timbunan sehingga dapat memperluas wawasan dan ilmu di bidang rekayasa geoteknik.

#### 1.5 Batas Penelitian

Untuk menghindari pembahasan diluar penelitian dan memusatkan fokus penelitian maka diperlukan batasan penelitian sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian dilakukan pada proyek Jalur Ganda Antara Solo Balapan – Kadipiro – Kalioso .
2. data penelitian didapat dari kontaktor pelaksana dan konsultan manajemen konstruksi pada proyek jalur ganda antara solo balapan – kadipiro – kalioso km 96 + 400 s/d km 104 + 900.
3. Kemiringan lereng IV : 1,5H . yang artinya setiap untuk setiap ketinggian tebing (vertikal) 1 m harus berbanding dengan jarak horizontal 1,5 m.
4. Penelitian yang ditinjau yaitu pada KM. 98 + 550
5. Pembebanan sesuai dengan Peraturan Menteri Nomor 60 tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan rel
6. Proses analisis stabilitas timbunan tanah dilakukan menggunakan *Software plaxis 8.6*

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan pada proyek pembangunan Jalur Ganda antara Solo Balapan – Kadipiro – Kalioso KM 96 + 400 s.d KM 104 + 900 adalah sebagai berikut :

### 1. BAB I Pendahuluan

Dalam bab ini dibahas mengenai latar belakang masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan.

### 2. BAB II Tinjauan Pustaka

Dalam bab ini dibahas mengenai teori-teori yang mendukung dalam penelitian yang meliputi pembahasan mengenai kuat geser tanah, definisi lereng, analisa stabilitas lereng, konsolidasi dan perangkat lunak (software) Plaxis secara umum.

### 3. BAB III Metodologi Penelitian

Dalam bab ini dibahas mengenai metode penelitian mencakup pengumpulan data dan penyelesaian masalah, parameter parameter yang diambil dari bahan referensi untuk analisis dan model penelitian yang dibuat di dalam Plaxis.

### 4. BAB IV Pembahasan

Dalam bab ini dibahas mengenai analisis stabilitas timbunan dan perangkat lunak Plaxis sehingga didapat nilai angka keamanan lereng dan konsolidasi dari timbunan tersebut.

### 5. BAB V Penutup

Bagian ini membahas tentang penarikan kesimpulan dari permasalahan serta saran yang diberikan untuk penelitian kedepanny

## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan salah satu referensi yang digunakan pada peneliti untuk memperkaya teorinya. Untuk memperkaya referensi dalam penelitian ini, akan dipaparkan beberapa referensi penelitian sejenis dan sudah dilakukan sebelumnya (Zulham, 2020). Berikut penelitian terdahulu yang dijadikan referensi ialah sebagai berikut :

1. Andrea Betrand Steinmets Timisela (2012)

melakukan analisis kestabilan lereng pada jalan rel kereta api Sepancar - Gilas STA 217 dengan analisis manual yaitu menggunakan metode irisan Bishop yang disederhanakan dan analisis komputasi dengan menggunakan program Plaxis sehingga diketahui nilai faktor keamanan lereng tersebut. Hasil analisis dengan cara manual dan komputasi memiliki hasil nilai faktor keamanan yang berbeda dengan perbedaan sekitar 13% - 24%. Namun secara umum nilai faktor keamanan yang diperoleh dari analisis menunjukkan bahwa lereng STA 217 aman.

2. Adi Budiastho (2018)

Melakukan analisis Timbunan tanah untuk mengetahui Nilai angka aman dan besar penurunan tanah pada timbunan badan jalan dengan variasi tinggi timbunan 2m, 4m, 6m, dan 8m . Timbunan tanah asli memiliki *safety factor* yang lebih dari yang disyaratkan yaitu 1,4. Namun penurunan tanah sangat besar sehingga perlu adanya perkuatan. Setelah diperkuat dengan tanah replacement serta *geotextile* penurunan tanah bisa direduksi.

3. Nizar Surya Isadono (2020)

Melakukan analisis stabilitas tanah timbunan mengetahui angka aman terhadap longsor serta angka penurunan tanah Analisis stabilitas timbunan dilakukan dengan menggunakan bantuan *software PLAXIS 8.6*. Variasi tinggi timbunan yang digunakan adalah 2,1 m, 4,2 m, 6,3 m, 8,4 m, dan 10,5 m. Variasi yang diterapkan juga termasuk variasi tinggi muka air tanah. Tinggi muka air tanah terdapat pada ketinggian 20 meter dan 18 meter sesuai dengan parameter tanah

yang didapat. Analisis awal yaitu pada tanah asli didapatkan SF yang tidak aman (*collapse*) pada timbunan 10,5 m dengan muka air 20 m. Kemudian dicari nilai SF menggunakan metode fellenius dan didapat SF sebesar 0,946. Setelah seluruh variasi timbunan diberi perkuatan maka didapatkan nilai SF yang aman serta penurunan tanah yang kecil. Jumlah lapis *geotextile* adalah 2.

4. Ainun Nafis (2021)

(Nafis, Setyawan and Mohammad Musthofa, 2021) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui stabilitas lereng *embankment* berupa nilai safety factor pada jalur kereta cepat Jakarta - Bandung Daerah konstruksi DK 70 + 150.00 sampai DK 70 + 181.88. Adapun analisis numerik yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan program Plaxis 8.6 yang dikembangkan berdasarkan metode Finite Element dengan model *Mohr-Coulomb*. Hasil analisis berupa angka *safety factor* yang menunjukkan kondisi stabilitas suatu lereng *embankment*. Penambahan alternatif perkuatan lereng embankment berupa cerucuk (*micropile*), Bronjong (*gabion*) dan *geotextile* sebagai upaya pencegahan adanya kelongsoran jangka pendek dan panjang pada lereng embankment yang tidak stabil. Hasil analisis lereng embankment kereta api cepat Jakarta-Bandung DK70+150 sampai DK70 + 181.88 kondisi eksisting sebesar SF = 1,1565 yang artinya lereng dalam kondisi tidak stabil dan perlu penambahan alternatif perkuatan. Berdasarkan simulasi kombinasi alternatif perkuatan. Menunjukkan kombinasi alternatif perkuatan *geotextile* dengan *micropile* menghasilkan angka safety factor SF =1,8151

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Tanah

Tanah didefinisikan sebagai agregat butiran mineral dan partikel-partikel padat dengan cairan dan gas pada ruang-ruang kosong didalamnya. Hardiyatmo (2010) menyatakan bahwa istilah pasir, lempung lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Akan tetapi, istilah yang serupa juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan

plastis, sedangkan pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis.

### 1. Jenis – Jenis Tanah

Tanah merupakan hasil pelapukan oleh waktu yang menggerogti batuan keras dan lambat laun mengalami dekomposisi (Fallou,1855). Berdasarkan ukurannya,tanah terdiri dari berbagai ukuran butiran, mulai dari butiran yang kecil hingga butiran menjadi besar. Sifat tanah perlu diklasifikasikan berdasarkan jenis dan karakteristiknya dengan tujuan untuk mengelompokkan tanah yang berbeda – beda namun mempunyai sifat yang serupa ke dalam grup maupun subgrup. Pengklasifikasian tanah berdasar kepada plastisitas tanah dan ukuran butiran. Berdasarkan sifat lekatnya, tanah dapat dibagi menjadi 2 jenis antara lain:

#### a. Tanah kohesi

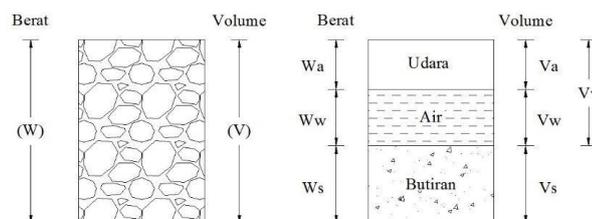
Tanah kohesi adalah tanah yang mempunyai lekatan antar butirannya ( $c > 0$ )

#### b. Tanah non kohesi

Tanah non kohesi adalah tanah yang tidak mempunyai lekatan antar butirnya dimana( $c = 0$ ) umumnya tanah non kohesi tidak mengandung lempung.

### 2.2.2 Properties Tanah

Menurut Hardiyatmo (2010) *Properties* tanah adalah segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, maka tanah hanya terdiri dari dua bagian, yaitu butiran-butiran tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori. Bagian-bagian tanah dapat digambar dalam bentuk diagram fase memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume  $V$  dan berat total  $W$  yang ditunjukkan dalam Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Diagram Fase Tanah

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Dari gambar tersebut dapat dibentuk Persamaan 2.1, Persamaan 2.2 dan Persamaan 2.3 berikut:

$$W = W_s + W_w \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

$$V = V_s + V_w + V_a \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan:

$W_s$  = Berat butiran padat

$W_w$  = Berat Air

$V_s$  = Volume Butiran Padat

$V_w$  = Volume Air

$V_a$  = Volume Udara

1. Berat volume basah ( $\gamma_b$ )

Berat volume basah ( $\gamma_b$ ), adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara ( $W$ ) dengan volume total tanah ( $V$ ), dapat dituliskan dengan Persamaan 2.4.

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

2. Berat volume kering ( $\gamma_d$ )

Untuk berat volume kering ( $\gamma_d$ ), adalah perbandingan antara berat butiran tidak termasuk air dan udara ( $W_s$ ) dengan volume ( $V$ ) maka dapat diperoleh Persamaan 2.5 berikut.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

Tabel 2.1 Nilai Berat Volume Tanah

No	Jenis Tanah	$\gamma_b$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	Kerikil	20 – 22	15 – 17
2	Pasir	18 – 20	13 – 16
3	Lanau	18 – 20	14 – 18
4	Lempung	16 – 22	14 – 21

(sumber : Wiley & Sons,2000)

### 3. Permeabilitas Tanah

Menurut Siregar (2013) Permeabilitas dapat diartikan sebagai sifat berpori yang memungkinkan terjadinya aliran rembesan yang berupa air mengalir melewati rongga pori. Pori – pori pada tanah saling terhubung, sehingga air dapat mengalir dari tekanan tinggi menuju tekanan yang lebih rendah. Permeabilitas tanah mencerminkan kemampuan tanah untuk meloloskan air melalui rongga pori. kisaran nilai permeabilitas pada jenis – jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Nilai Permeabilitas Tanah

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

(sumber : Hardiyatmo, 2012)

### 4. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas ( $E$ ) merupakan nilai yang menunjukkan besarnya angka elastisitas tanah dari perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap peregangan. Perkiraan nilai ini dapat ditentukan dari jenis tanah seperti pada Tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

No	Jenis Tanah	E (kN/m <sup>2</sup> )
1	Lempung :	
	Sangat Lunak	300 – 3000
	Lunak	2000 – 4000
	Sedang	4500 – 9000
	Keras	7000 – 20000
	Berpasir	30000 - 42500
2	Pasir :	
	Berlanau	5000 – 20000
	Tidak padat	10000 – 250000
	Padat	50000 - 100000
3	Pasir dan kerikil :	
	Padat	80000 - 200000
	Tidak padat	50000 - 140000
4	Lanau	2000 - 20000
5	Loses	15000 – 60000
6	Cadas	140000 - 1400000

(Sumber : Bowles, 1989)

#### 5. Possion Ratio

Menurut Hardiyatmo (2010) Nilai poisson ratio ( $\nu$ ) ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai ini dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti pada Tabel 2.4 berikut :

Tabel 2.4 Nilai poisson ratio

No	Jenis Tanah	<i>Poisson Ratio</i>
1	Lempung jenuh	0,4 – 0,5
2	Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
3	Lempung berpasir	0,2 – 0,3
4	Lanau	0,3 – 0,35
5	Pasir Padat	0,2 – 0,4
6	Pasir tidak padat	0,15
7	Pasir halus	0,25
8	Batu	0,1 – 0,4
9	Loess	0,1 – 0,3

(Sumber : Hardiyatmo,2010)

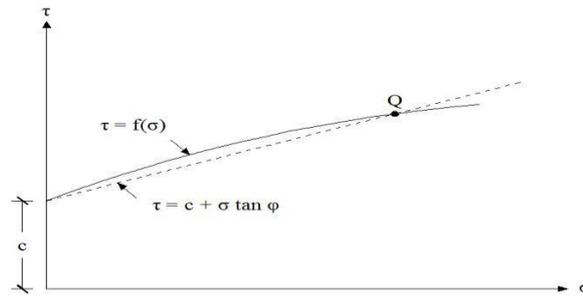
### 2.2.3 Kuat geser tanah

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah untuk melawan tegangan geser yang terjadi saat tanah terbebani. Keruntuhan geser (*shear failure*) tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butiran tanah tersebut tetapi karena disebabkan oleh gerak relatif antara butiran tanah tersebut (Budi Santoso, dkk, 1998). Menurut Hardiyatmo (2010) parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis kapasitas dukungan tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada dinding penahan tanah. Menurut teori Mohr (1910) dalam Hardiyatmo (2010) kondisi keruntuhan bahan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan oleh Persamaan 2.6 berikut.

$$\tau = f(\sigma) \dots\dots\dots (2.6)$$

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pengertian tersebut, Coloumb(1776) mendefinisikan  $\tau$  sebagai Persamaan 2.7 dan digambarkan dengan grafik seperti pada Gambar 2. 2 berikut ini.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} (\varphi) \dots\dots\dots (2.7)$$



Gambar 2.2 Grafik Kriteria Kegagalan Mohr dan Coloumb

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

dengan:

- $\tau$  = Kuat geser tanah (kN/m<sup>2</sup>)
- $c$  = Kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>)
- $\phi$  = Sudut geser tanah (°)
- $\sigma$  = Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m<sup>2</sup>)

Dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan .

Ada beberapa metode menentukan kuat geser tanah antara lain :

1. Pengujian geser langsung (*Direct Shear Test*)
2. Pengujian triaksial (*Triaksial test*)
3. Pengujian tekan bebas (*Unconfined compression test*)

Namun dalam penelitian ini digunakan asumsi untuk menentukan kuat geser tanah. pengujian dilakukan untuk mendapatkan parameter kuat geser yaitu kohesi dan sudut geser dalam .

a. Kohesi

Kohesi (c) adalah gaya tarik antar partikel tanah. Kohesi merupakan kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah, dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah . Selain itu kisaran yang nilai kohesi dapat ditentukan berdasarkan nilai qc pada uji sondir seperti tabel 2.5 berikut :

Tabel 2.5 Hubungan Konsistensi Tanah Terhadap Tekanan Konus dan Kohesi

No	Konsentrasi tanah	Tekanan Konus qc (kg/cm <sup>2</sup> )	Kohesi
1	<i>Very Soft</i>	< 2,50	< 1,25
2	<i>Soft</i>	2,50 – 5,0	1,25 – 2,50

No	Konsentrasi tanah	Tekanan Konus $q_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Kohesi
3	<i>Medium Stiff</i>	5,0 – 10	2,50 - 50
4	<i>Stiff</i>	10 – 20	5,0 -10
5	<i>Very Stiff</i>	20 – 40	10 - 20
6	<i>Hard</i>	> 40	20

Sumber: Bowles (1989)

#### b. Sudut Geser dalam

Sudut geser dalam ( $\phi$ ) bersamaan dengan kohesi untuk menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini didapat pada pengujian *triaxial test* dan *direct shear test*. Untuk kisaran nilai sudut geser dalam dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti tabel 2.6 berikut ini

Tabel 2.6 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil kepasiran	35 – 40
Kerikil kerakal	35 – 40
Pasir padat	35 – 40
Pasir lepas	30
Lempung	25 – 30
Lanau	20 – 25

Sumber: Das (1994)

#### 2.2.4 Klasifikasi tanah

Klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda – beda tetapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok – kelompok dan subkelompok – kelompok berdasarkan pemakaiannya. Adapun Klasifikasi tanah dapat dibedakan beberapa sistem antara lain sebagai berikut :

##### a. Klasifikasi berdasarkan *Unified*

Pada sistem unified, tanah diklasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar ( kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, dan 14 sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos

saringan nomor 200. Selanjutnya tanah diklasifikasikan kelompok yang dapat dilihat dalam tabel 2.7 berikut :

G = kerikil (gravel)

S = pasir (sand)

C = lempung (clay)

M = lanau (silt)

O = lanau atau lempung organik (organic silt or clay)

Pt = tanah gambut dan tanah organik tinggi (peat and highly organic soil)

W = gradasi baik (well-graded)

P = gradasi buruk (poorly graded)

H = plastisitas tinggi (high-plasticity)

L = plastisitas rendah (low plasticity)

Tabel 2.7 Sistem Klasifikasi *Unified*

DIVISI UTAMA		SIMBOL KELOMPOK	NAMA JENIS		
Tanah berbutir kasar 50% butiran berbutiran saringan No. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar berbutiran saringan No. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran		
		Kerikil dengan butiran halus	GP Kerikil bergradasi buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran		
			GM Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau		
			GC Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan No. 4 (4,75 mm)	Pasir Bersih (hanya pasir)	SW Pasir bergradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
			SP Pasir bergradasi buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Pasir dengan butiran halus	SM Pasir berlanau, campuran pasir lanau		
			SC Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
			Tanah berbutir halus 50% butiran berbutiran saringan No. 200	Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang	ML Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
					CL Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)
Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%		OL Lanau organik dan lempung berlanau dengan plastisitas rendah			
		MH Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis			
		CH Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)			

DIVISI UTAMA		SIMBOL KELOMPOK	NAMA JENIS
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi
Tanah - tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi

(Sumber: Bowles, 1989)

### 2.2.5 Lereng

Kemiringan adalah permukaan yang miring dan membentuk sudut terhadap horizontal. Apabila terdapat dua permukaan tanah yang ketinggiannya berbeda, maka akan timbul gaya dorong yang menyebabkan permukaan tanah yang lebih tinggi bergerak ke bawah, yang disebut gaya gravitasi, sehingga menyebabkan terjadinya tanah longsor. Longsoran lereng adalah pergerakan batuan dan tanah dari posisi semula dalam arah vertikal, horizontal atau miring akibat ketidakmampuan lereng menahan gaya geser (Chasanah, 2012)

Menurut Surjandari dkk (2012), lereng adalah permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut dengan bidang mendatar. Apabila terdapat dua permukaan tanah yang ketinggiannya berbeda, maka akan timbul efek dorong sehingga menyebabkan permukaan tanah yang lebih tinggi bergerak ke bawah sehingga menimbulkan tanah longsor.

### 2.2.6 Stabilitas Lereng

#### 1. Pengertian Umum

Analisis lereng dapat dilakukan dengan menghitung faktor keamanan lereng yang melibatkan data sifat fisik tanah, mekanika tanah, dan geometri lereng. Menurut Zakaria (2009), analisis tersebut dapat diperkuat khususnya dengan memperhatikan aspek fisik regionalitas lainnya, yaitu dengan memfokuskan pada kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi pergerakan tanah dan karakteristik perbukitan yang rawan longsor. Tujuan utama dari stabilitas lereng adalah untuk memberikan kemampuan perencanaan konstruksi yang aman dan ekonomis. Analisis kestabilan lereng tidaklah mudah karena banyak faktor yang mempengaruhi hasil perhitungan, antara lain: kondisi tanah berlapis banyak, anisotropi kuat geser tanah, rembesan tanah, dan lain-lain. Analisis kestabilan lereng didasarkan pada konsep kesetimbangan batas plastis. Tujuan analisis

kestabilan lereng adalah untuk memperoleh faktor keamanan daerah yang berpotensi longsor. Faktor keamanan (SF) diartikan nilai perbandingan antara gaya dorong dan gaya geser

Menurut Pradhana (2018), tanah longsor merupakan akibat dari meningkatnya tegangan geser tanah atau menurunnya kuat geser tanah. Kuat geser tanah tidak mampu menopang beban-beban kerja yang terjadi. Berbagai aktivitas manusia dan kondisi alam dapat menyebabkan terganggunya stabilitas lereng. Lereng yang tidak stabil sangat berbahaya bagi lingkungan sekitar, demikian analisisnya

Stabilisasi lereng sangat diperlukan. Gravitasi seringkali menyebabkan ketidakstabilan pada lereng, lereng akibat penggalian, lereng tanggul, dan bendungan tanah. Jenis-jenis keruntuhan lereng yang terjadi dalam analisis yang disebut dengan jenis keruntuhan digambarkan pada gambar berikut:



Gambar 2.3 Tipe Keruntuhan Lereng

(Sumber: DAS, 2002)

## 2. Faktor Keamanan Lereng

Faktor keamanan lereng adalah perbandingan gaya penahan terhadap gaya penggerak. Kestabilan lereng pada saat operasi penambangan dipengaruhi oleh kondisi geologi daerah setempat, bentuk keseluruhan lereng di lokasi tersebut, kondisi air tanah setempat, faktor luar seperti getaran akibat peledakan atau peralatan mekanis yang digunakan, serta teknik penambangan yang digunakan pada lereng. konstruksi. Faktor pengontrol ini, tentu saja sangat berbeda tergantung pada situasi tambang dan penting untuk memberikan aturan umum

untuk menentukan seberapa tinggi atau landai suatu lereng untuk menjamin stabilitasnya. Adapun faktor keamanan lereng menurut Bowles J.E (1989) dapat dilihat pada tabel 2.8 berikut:

Tabel 2.8 Faktor Keamanan Lereng

Faktor Keamanan	Status Lereng	Intensitas Longsor
$SF < 1,07$	Lereng Labil	Longsor sering terjadi
$1,07 > SF > 1,25$	Lereng Kritis	Longsor pernah terjadi
$1,25 > SF$	Lereng Relatif Stabil	Longsor jarang terjadi

(Sumber Bowles J.E 1989)

Lereng yang labil merupakan lereng yang sering terjadi longsor, ditandai dengan nilai faktor aman (SF) dibawah 1,07. Lereng kritis merupakan lereng yang pernah terjadi longsor, ditandai dengan nilai faktor aman (SF) antara 1,07 hingga 1,25. Sedangkan lereng yang relatif stabil merupakan lereng yang jarang terjadi longsor dan tergolong lereng yang aman, ditandai dengan nilai faktor aman (SF) diatas 1,25. Sedangkan Faktor keamanan (SF) menurut SNI 8460 : 2017 dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah :

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah <sup>a</sup>	Tinggi <sup>b</sup>
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih

<sup>a</sup>Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan.

<sup>b</sup>Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.

Gambar 2.4 Faktor keamanan pada lereng

(Sumber : SNI Geoteknik 8460 Tahun 2017)

Berdasarkan tabel diatas Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan. sedangkan Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat

kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.

### **2.2.7 Konsolidasi**

#### **1. Pengertian Umum**

Bila lapisan tanah jenuh dengan permeabilitas rendah lalu diberi beban maka tekanan air dalam tanah segera bertambah. Perbedaan tekanan air pori pada lapisan tanah mengakibatkan air mengalir ke lapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah kemudian diikuti dengan penurunan tanah. Permeabilitas tanah yang rendah mengakibatkan proses ini membutuhkan waktu. Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau rongga pori dari tanah jenuh yang mempunyai permeabilitas tanah rendah akibat pembebanan dimana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya air pori keluar dari rongga tanah. Besarnya penurunan dapat diukur dengan berpedoman pada titik referensi ketinggian pada tempat tertentu (Hardiyatmo, 2010)

Pada umumnya tanah dibagi menjadi 2 jenis yaitu tanah kohesif dan tanah berbutir. Pada tanah kohesif, air pori dapat mengalir keluar struktur tanah memerlukan waktu yang lama disebabkan karena permeabilitasnya yang rendah. Sedangkan untuk tanah berbutir, air pori dapat mengalir keluar dari struktur tanah dengan mudah. Konsolidasi berlangsung dalam satu arah pergerakan yaitu arah vertikal, karena arah horisontal tertahan oleh lapisan tanah disekelilingnya maka dapat diabaikan saja. Selama peristiwa konsolidasi berlangsung, tanah akan mengalami proses penurunan (*settle*). Secara umum, penurunan dapat diklasifikasikan kedalam tiga tahapan berikut ini.

##### **a. Penurunan Seketika (*immediate settlement*)**

Dapat terjadi karena deformasi elastis tanah kering, basah dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Biasanya terjadi selama proses pembebanan pada tanah.

##### **b. Penurunan Konsolidasi Primer (*primary consolidation settlement*)**

Penurunan ini ditandai dengan adanya tekanan besar pada tanah yang menyebabkan struktur tanah mengalami penurunan, penyusutan susunan,

dan pergerakan partikel tanah kedalam rongga tanah yang diakibatkan oleh tanah mampat dan memadat.

c. Penurunan Konsolidasi Sekunder (*secondary consolidation settlement*)

Penurunan ini terjadi setelah tekanan air pori hilang seluruhnya karena adanya proses pemampatan akibat penyesuaian dari butir-butir tanah yang bersifat plastis. Besarnya penurunan yang terjadi pada lapisan tanah yang dibebani dapat dihitung dengan Persamaan 2.8 berikut ini.

$$S = S_i + S_c + S_s \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan =

S = penurunan total

$S_i$  = penurunan segera

$S_c$  = penurunan konsolidasi primer

$S_s$  = Penurunan Konsolidasi Sekunder

2. Faktor yang mempengaruhi Konsolidasi

Secara garis besar akibat penurunan tanah bisa disebutkan oleh beberapa hal antara lain sebagai berikut :

- a. Penurunan muka tanah alami (*natural subsidence*) yang disebabkan oleh proses – proses geologi seperti aktivitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, adanya rongga dibawah tanah di permukaan tanah dan sebagainya
- b. penurunan muka tanah yang disebabkan oleh beban berat yang berada di atasnya seperti struktur bangunan sehingga lapisan tanah dibawahnya mengalami konsolidasi . Penurunan muka tanah ini sering juga disebut dengan *settlement*.



Gambar 2.5 Hubungan antara tekanan dengan angka pori

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

### 3. Koefisien Konsolidasi (CV)

Kecepatan penurunan konsolidasi dapat dihitung menggunakan koefisien konsolidasi. Kecepatan penurunan perlu diperhitungkan bila penurunan konsolidasi yang terjadi pada struktur diperkirakan besar. Bila penurunan sangat kecil. Kecepatan penurunan sejalan dengan waktunya tidak menghasilkan perbedaan yang berarti. Derajat konsolidasi untuk sembarang waktu ditentukan dengan menggambarkan grafik penurunan vs. waktu untuk satu beban tertentu yang diterapkan pada alat konsolidasi. Caranya, yaitu dengan mengukur penurunan total pada akhir fase konsolidasi. Kemudian, dari data penurunan dan waktu sembarang waktu yang dihubungkan dengan derajat konsolidasi rata-rata tertentu (misalnya  $U = 50\%$ ) ditentukan. Walaupun fase konsolidasi telah selesai, yaitu ketika tekanan air pori telah nol, benda uji di dalam alat konsolidasi masih terus mengalami penurunan akibat konsolidasi sekunder. Oleh karena itu, tekanan air pori mungkin perlu diukur selama proses pembebanan atau suatu interpretasi data penurunan dan waktu harus di buat untuk menentukan kapan konsolidasi telah selesai. Kecuali, jika sejumlah kecil udara terhisap masuk ke dalam air pori akibat penurunan tekanan pori dari lokasi aslinya di lapangan, kemungkinan terdapat juga penurunan yang

berlangsung dengan cepat, yang bukan bagian dari proses konsolidasi. Oleh karena itu, tinggi awal atau saat kondisi sebelum adanya penurunan saat permulaan proses konsolidasi juga harus diinterpretasikan

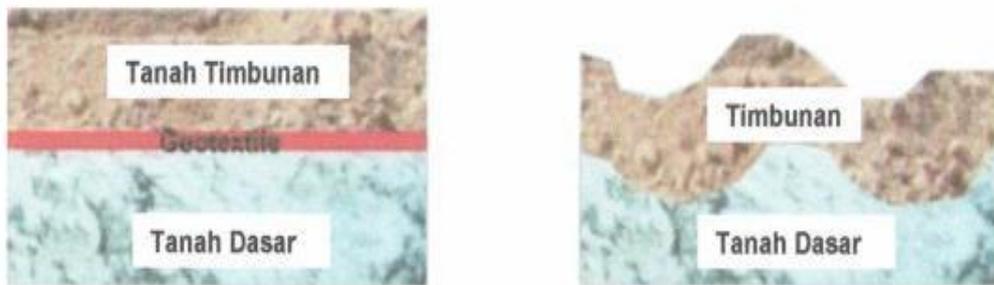
### 2.2.8 Geotextile

#### 1. Pengertian Umum

Budiasto (2018) menyatakan bahwa geotekstil merupakan produk *geosintetik sintetik* atau *polimer* buatan yang dapat meningkatkan kinerja tanah. Fungsi perkuatan pada geotekstil dapat diartikan sebagai fungsi perkuatan, mirip dengan istilah beton bertulang. Demikian pula, tanah hanya mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan kompresi tetapi tidak mampu menahan tegangan.

Kelemahan kekuatan tarik ini dapat dipengaruhi oleh *geotextile*. *Geotextile* banyak digunakan untuk memperkuat timbunan jalan dan juga sebagai *stabilisator* pada struktur jalan rel. *Geotextile* juga biasa digunakan untuk menstabilkan timbunan yang terletak di tanah lunak. Pengaruh penting yang menguntungkan dari macam-macam pemakaian *geotextile* untuk perkuatan timbunan adalah berfungsi utama sebagai seeparameter atau pemisah tercampurnya material yang satu dengan yang lainnya. Dalam proses pembuatan *geotextile*, komponen-komponen seperti serat atau fiber digabungkan sehingga membentuk struktur anyaman seperti lembaran.

Jenis *Geotextile* dibagi menjadi 2 yaitu *Geotextile* teranyam (*Geotextile Woven*) dan *Geotextile* tidak teranyam (*Geotextile Non Woven*). *Woven* dihasilkan dari interlaying antara benang-benang melalui proses tenun, sedangkan *non woven* dihasilkan dari beberapa proses seperti : *heat bonded* (dengan panas), *needle punched* (dengan jarum), dan *chemical bonded* (menggunakan bahan kimia). Baik *woven* maupun *non woven* dihasilkan dari benang dan serat polimer terutama : *polypropelene*, *poliester*, *polyethilene* dan *polyamide* Jenis *Geotextile* kemudian dibagi berdasarkan metode yang digunakan untuk mengkombinasikan filamen menjadi struktur lembaran. Perbandingan timbunan dengan *geotextile* dan tanpa *geotextile* dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut :



Gambar 2.6 Perbandingan Penggunaan *Geotextile* dan Tanpa *Geotextile*

(Sumber: Internet )

a. *Geotextile* teranyam ( *Woven* )

*Geotextile woven* merupakan salah satu turunan produk *geosynthetic* yang berbentuk anyaman, biasanya dua arah atas dan bawah. *Geotextile woven* merupakan material berbentuk lembaran yang terbuat dari serat atau benang polymer yang berbahan dasar *polypropylene* atau *polyester* yang dianyam menggunakan mesin modern yang berteknologi tinggi. *Geotextile woven* bersifat permeabel dan memiliki kuat tarik yang tinggi. *Geotextile woven* mempunyai kuat tarik yang tinggi lebih tinggi jika dibandingkan dengan geotextile jenis *non woven*. Fungsi dari material ini sendiri yaitu diaplikasikan sebagai material stabilisasi untuk tanah dasar, khususnya pada tanah lunak. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.7 *Geotextile Woven*

(Sumber: <https://geotextilewoven.com>)

b. *Geotextile* tidak terayam (*Geotextile Non Woven*)

*Geotextile Non Woven* adalah salah satu jenis geotextile yang terbuat dari bahan polypropylene dan polyester. Bentuk dari *Geotextile non woven* tidak teranyam seperti karpet kain. Ketahanan mekanik dan hidrolis yang sangat baik menjadikan *Geotextile Non Woven* ini sebagai pilihan yang tepat untuk lapisan pemisah dan penyaring, karena memiliki kekuatan jebol (*puncture resistance*) yang tinggi untuk menjamin material tidak rusak pada saat pelaksanaan. Produk yang dikeluarkan telah sesuai dengan peruntukkan/aplikasi lapangan di bidang mekanika tanah dalam standar uji ASTM D / ISO. Selain itu, *Geotextile Non Woven* memiliki bukaan pori yang relatif kecil namun memiliki permeabilitas yang tinggi. Hal ini berfungsi sebagai penahan butiran tanah yang baik, namun tetap memungkinkan aliran air tidak terganggu. *Geotextile non woven* memiliki beberapa fungsi sebagai berikut :

- 1) sebagai pemisah dan lapisan perkuatan di bagian tanah dasar
- 2) sebagai separator untuk mencegah pencampuran antara lapisan tanah yang berbeda.
- 3) sebagai filter pada saluran drainase.

Adapun untuk gambar *geotextile non woven* lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.7 berikut :

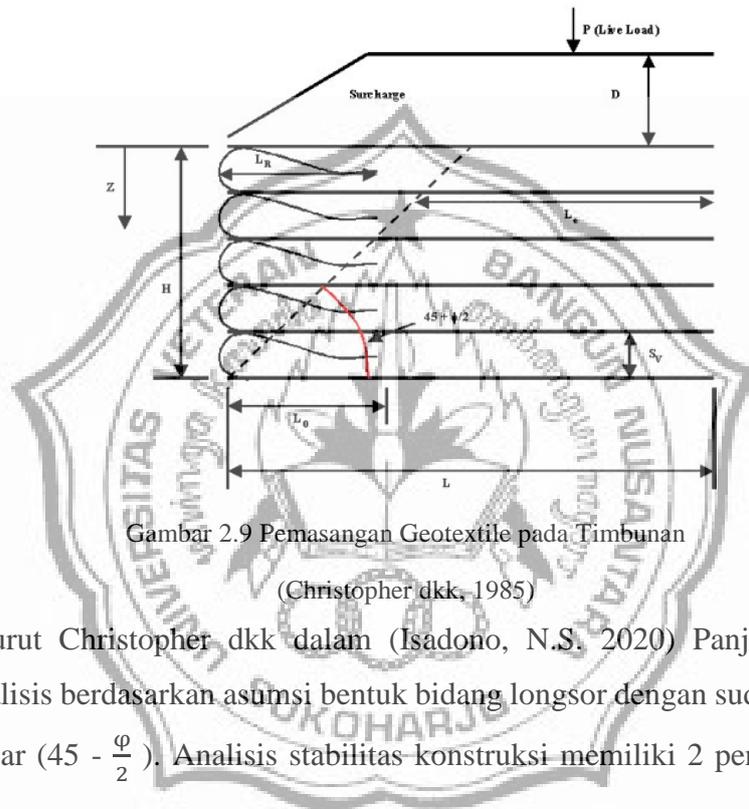


Gambar 2.8 *Geotextile Non Woven*

(Sumber: <https://pandu-equator.com>)

## 2. Analisis Stabilitas Timbunan Menggunakan *Geotextile*

Analisis gaya-gaya yang bekerja untuk stabilitas terhadap gaya-gaya internal digunakan analisis tegangan seperti pada dinding penahan tanah dengan menggunakan Coulomb. Metode yang digunakan ada dua macam dengan anggapan bentuk longsor tanah adalah segitiga dan trapesium yang masih dalam taraf penelitian lanjutan.



Gambar 2.9 Pemasangan Geotextile pada Timbunan  
(Christopher dkk, 1985)

Menurut Christopher dkk dalam (Isadono, N.S. 2020) Panjang *geotextile* dianalisis berdasarkan asumsi bentuk bidang longsor dengan sudut kemiringan sebesar  $(45 - \frac{\phi}{2})$ . Analisis stabilitas konstruksi memiliki 2 pendapat sebagai berikut :

- a. Menggunakan koefisien tekanan tanah diam, dengan Persamaan 2.9 berikut.

$$K_0 = 1 - \sin \phi \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

$K_0$  = koefisien tekanan tanah diam

$\Phi$  = sudut geser dalam ( $^{\circ}$ )

- b. Menggunakan koefisien tanah aktif , dengan menggunakan persamaan 2.10 berikut

$$K_a = \tan^2(45 - \frac{\phi}{2}) \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

$K_a$  = koefisien tekanan tanah aktif

$\Phi$  = sudut geser dalam ( ° )

Karena Penelitian ini digunakan koefisien tanah aktif dengan menggunakan persamaan 2.10 diatas. Selanjutnya perhitungan akan ditinjau dari stabilitas internal dan eksternal antara lain sebagai berikut :

a. Stabilitas Internal

Tegangan horizontal tanah yaitu tegangan tanah yang diakibatkan oleh adanya pergerakan tanah kearah horizontal. Pada penelitian ini tegangan horizontal dipengaruhi oleh adanya tegangan akibat tanah itu sendiri dan tegangan akibat beban yang bekerja di atas timbunan. Berikut Persamaan 2.11 untuk menghitung tekanan tanah horizontal.

$$\sigma_{hc} = q \cdot K_a + K_a \cdot H \cdot \gamma \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan :

$\sigma_{hc}$  = tekanan tanah horizontal (kN/m<sup>2</sup>)

$q$  = beban merata (kN/m)

$K_a$  = Koefisien tanah aktif

$H$  = tinggi tanah yang ditinjau dari permukaan tanah (m)

$\gamma$  = berat volume tanah (kN/m<sup>3</sup>)

Selanjutnya menghitung jarak vertikal antar lapisan *geotextile* ( $S_v$ ) dapat dihitung dari persamaan 2.12

$$S_v = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \cdot SF} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan =

$S_v$  = Jarak vertikal antar *geotextile* (m)

$T_{all}$  = kuat tarik izin *geotextile* (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma_{hc}$  = tekanan tanah horizontal (kN/m<sup>2</sup>)

$SF$  = Faktor keamanan ( dipakai 1,5)

Panjang *geotextile* dianalisis berdasarkan asumsi bentuk bidang longsor dengan sudut kemiringan sebesar  $(45 - \frac{\phi}{2})^\circ$ . Perhitungan panjang *geotextile* (L) sesuai hasil perhitungan jarak vertikal *geotextile* (Sv) diatas, sehingga digunakan panjang terbesar *geotextile*. Berikut ini persamaan 2.13 untuk menghitung tekanan tanah vertikal.

$$\sigma_v = \gamma \cdot Z_i \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan ;

- $\sigma_v$  = tekanan tanah vertikal (kN/m<sup>2</sup>)
- $\gamma$  = berat volume tanah (kN/m<sup>3</sup>)
- $Z_i$  = Tinggi tanah yang ditinjau dari permukaan tanah (m)

Berikut ini persamaan 2.14 untuk menghitung panjang *geotextile* di daerah longoran aktif.

$$L_R = \frac{H - Z_i}{(45 + \frac{\phi}{2})} \dots\dots\dots = (2.14)$$

Keterangan :

- $L_R$  = Panjang *geotextile* di daerah longoran aktif (m)
- H = Tinggi tanah timbunan (m)
- $Z_i$  = Tinggi tanah yang ditinjau dari permukaan tanah (m)
- $\phi$  = Sudut geser dalam (°)

Berikut ini persamaan 2.15 Untuk menghitung panjang *geotextile* yang bekerja sebagai angker.

$$L_C = \frac{1}{\beta} \frac{T_{all}}{2(c + \sigma_v \cdot \tan \phi)} \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

- $L_C$  = Panjang *geotextile* yang bekerja sebagai angker (m)
- $\beta$  = koefisien *interface* tanah terhadap *geotextile* (dipakai 0,67)
- $T_{all}$  = kuat tarik izin *geotextile* (kN/m<sup>2</sup>)
- C = kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>)
- $\sigma_v$  = tekanan tanah vertikal (kN/m<sup>2</sup>)
- $\phi$  = sudut geser dalam (°)

Perhitungan  $L_R$  dan  $L_C$  diatas selanjutnya akan dijumlahkan dan menjadi panjang *geotextile* total, seperti pada persamaan 2.16. berikut

$$L_{tot} = L_R + L_C \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

$L_R$  = panjang geotextile didaerah longsoran aktif (m)

$L_C$  = panjang geotextile yang bekerja sebagai anker (m)

b. Stabilitas Eksternal

Stabilitas eksternal pada tanah timbunan meninjau 3 bagian yaitu sebagai berikut :

1) Stabilitas terhadap guling

Stabilitas terhaap guling ditinjau terhadap terhadap titik A. berikut ini persamaan gaya aktif

a) Gaya Aktif

Persamaan gaya aktif akibat tanah ( $E_a$ ) dapat digunakan persamaan 2.17 dan 2.18 untuk lengan gaya aktif akibat tanah seperti berikut :

$$L_o = \frac{1}{K} \frac{T_{all}}{4(c + \sigma_v \cdot \tan \varphi)} > 1m \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan :

$E_a$  = gaya aktif akibat tanah (kN)

$K_a$  = koefisien tanah aktif

$H$  = tinggi tanah timbunan (m)

$\gamma$  = berat volume tanah (kN/m<sup>3</sup>)

Sehingga momen akibat tanah dapat dihitung menggunakan persamaan 2.17 berikut.

$$M_{Atanah} = E_a \cdot Lengan \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan :

$M_{Atanah}$  = momen akibat tanah terhadap titik A (kN.m)

$E_a$  = gaya aktif akibat tanah (kN)

Persamaan gaya aktif akibat beban ( $E_q$ ) dapat menggunakan persamaan 2.19 dan 2.20 untuk lengan aktif akibat beban seperti berikut ini :

$$E_q = q \cdot H \cdot K_a \dots\dots\dots (2.19)$$

dan

$$\text{Lengan} = \frac{H}{2} \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan :

$q$  = beban merata (kN/m)

$H$  = tinggi tanah timbunan (m)

$K_a$  = koefisien tanah aktif

Sehingga momen akibat beban dapat dihitung menggunakan persamaan 2.21 berikut :

$$M_{\text{akibat}} = E_q \cdot \text{Lengan} \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan :

$M_{\text{akibat}}$  = Momen akibat beban terhadap titik A (kN.m)

$E_q$  = gaya aktif akibat beban (kN)

b) Gaya pasif

Persamaan untuk menghitung gaya pasif dapat dilihat pada persamaan 2.22 dan 2.23 untuk menghitung lengan gaya pasif dapat dilihat seperti berikut :

$$W = L_i \cdot H_i \cdot \gamma \dots\dots\dots (2.22)$$

Dan

$$\text{Lengan} = \frac{L_i}{2} \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan :

$W$  = Gaya pasif (kN)

$L_i$  = panjang geotextile lapisan ke 1(m)

$H_i$  = tinggi tanah pada masing masing zona (m)

$\gamma$  = berat volume tanah (kN/m<sup>3</sup>)

Sehingga momen pasif terhadap titik A dapat dihitung menggunakan persamaan 2.24 berikut .

$$M_p = W_i \cdot Lengan \dots\dots\dots (2.24)$$

Keterangan :

$M_p$  = momen pasif (kN.m)

$W_i$  = gaya pasif pada zona ke-i(kN)

Sehingga stabilitas timbunan terhadap guling dapat dihitung menggunakan persamaan 2.25 berikut :

$$SF = \frac{\sum M_p}{\sum M_A} > 1,5 \dots\dots\dots (2.25)$$

Keterangan :

SF = faktor keamanan

$\sum M_p$  = Jumlah momen pasif (kN.m)

$\sum M_A$  = jumlah momen aktif (kN.m)

2) Stabilitas terhadap geser

a) Gaya yang melawan

Persamaan untuk menghitung gaya yang melawan dapat dilihat pada persamaan 2.26 berikut ini :

$$F = [ C_g + \frac{W_{total}}{l_g} \cdot \tan \delta ] \cdot l_g \dots\dots\dots (2.26)$$

Keterangan :

E = gaya yang melawan (kN)

$C_g$  = lekatan anatar *geotextile* dan tanah dasar pondasi

$W_{total}$  = total gaya pasif (kN)

$\delta$  =  $\frac{2}{3} \phi$  ( $\phi$  sudut geser dalam dari tanah dasar pondasi )

$L_g$  = panjang geotextile paling bawah (m)

b) Gaya yang mendorong

Persamaan untuk menghitung gaya mendorong dapat dilihat dari persamaan 2.27 berikut :

$$E = E_a + E_q \dots\dots\dots(2.27)$$

Keterangan :

- E = gaya yang mendorong
- E<sub>a</sub> = gaya yang melawan (kN)
- E<sub>q</sub> = gaya yang mendorong (kN)

Sehingga stabilitas timbunan terhadap geser dapat dihitung dengan persamaan 2.28 berikut .

$$SF = \frac{F}{E} > 1,5 \dots\dots\dots (2.28)$$

Keterangan :

- SF = Faktor keamanan
- F = gaya yang melawan (kN)
- E = gaya yang mendorong (kN)

3) Stabilitas terhadap kuat dukung yang terjadi

Tanah harus mampu mendukung dan menopang beban dari setiap konstruksi yang direncanakan diatas tanah tersebut tanpa suatu kegagalan geser dan dengan lendutan pampat yang dihasilkan dapat ditolelir untuk konstruksi tersebut. Ada beberapa persamaan-persamaan yang diusulkan oleh para peneliti pendahulu untuk menganalisis kapasitas daya dukung tanah. Beberapa diantaranya yaitu persamaan kapasitas dukung yang diusulkan oleh Terzaghi (1943). Perhitungan stabilitas terhadap kuat dukung ini didasarkan pada beban yang bekerja diatasnya

a) Kuat dukung ijin

N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub>, N<sub>̄</sub> adalah faktor daya dukung tanah (*bearing capacity factors*) yang besarnya tergantung dari sudut geser tanah Nilai faktor daya dukung Terzaghi yang ditentukan oleh besar sudut geser dalam dapat kita lihat pada tabel 3.1

Gambar 2.10 Nilai faktor daya dukung tanah terzaghi

$\phi$	Keruntuhan Geser Umum			Keruntuhan Geser Lokal		
	Nc	Nq	N $\gamma$	N'c	N'q	N'y
0	5,7	1	0	5,7	1	0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,5	5	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35	23,7	11,7	9
35	57,8	41,4	42,4	35,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,5	87,1

Berikut ini persamaan 2.29 untuk menghitung kuat dukung ijin yang terjadi tanah

$$\sigma_{ult} = c \cdot N_c \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot N_\gamma \dots\dots\dots(2.29)$$

Keterangan :

$\sigma_{ult}$  = kuat dukung ijin (kN/m<sup>2</sup>)

c = kohesi tanah

Nc , Nq , N $\gamma$  = faktor daya dukung tanah terzaghi

$\gamma$  = berat volume tanah (kN/m<sup>3</sup>)

#### b) Kuat dukung yang terjadi

Berikut ini persamaan 2.30 untuk menghitung kuat dukung yang terjadi

$$\sigma_{terjadi} = H \cdot \gamma + q \dots\dots\dots(2.30)$$

Keterangan

$\sigma_{terjadi}$  = kuat dukung yang terjadi (kN/m<sup>2</sup>)

- H = tinggi tanah timbunan (m)
- $\gamma$  = berat volume tanah (kN/m<sup>3</sup>)
- q = beban yang bekerja di atas timbunan (kN/m)

Sehingga stabilitas timbunan terhadap kuat dukung dapat dihitung menggunakan persamaan 2.31 Berikut :

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{\sigma_{terjadi}} > 1,5 \dots\dots\dots(2.31)$$

Keterangan :

- SF = faktor keamanan terhadap daya dukung
- $\sigma_{ult}$  = kuat dukung ijin (kN/m<sup>2</sup>)
- $\sigma_{terjadi}$  = kuat dukung yang terjadi (kN/m<sup>2</sup>)

### 2.2.9 Plaxis

#### 1. Pendahuluan

Plaxis adalah program analisis geoteknik yang dipilih karena dapat menganalisa stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen hingga yang mampu melakukan analisis yang dapat mendekati perilaku sebenarnya. Plaxis menyediakan berbagai analisis tentang *displacement*, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, faktor keamanan lereng dan lain-lain.

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

#### 2. Analisis stabilitas timbunan tanah menggunakan *software plaxis 8.6*

Dari data-data yang ada kemudian diolah dengan memasukkan data-data dari timbunan untuk dilakukan pengolahan data oleh program, maka akan diketahui perlu tidaknya timbunan diberi perkuatan. Dengan program ini juga dapat dilakukan pengontrolan angka faktor keamanan (SF) terhadap timbunan dengan perkuatan

menggunakan geotextile. Dalam pengoperasian program Plaxis 8.6 diperlukan langkah sebagai berikut:

- a. Tahap awal adalah membuka program PLAXIS 8.6, kemudian memberi nama project dan mengatur dimensi pada pengaturan global.
- b. Setelah itu adalah menggambar penampang timbunan yang akan dianalisis, kemudian menekan opsi Standart Fixities.
- c. Membuat jenis properties material yang akan dipakai pada timbunan seperti  $\gamma_d$ ,  $\gamma_b$ ,  $\phi$ , dan lain sebagainya, . Lalu mengaplikasikan material yang telah dibuat ke setiap lapisan tanah. Kemudian mengubah *mesh generating* setup sesuai dengan mesh dan lalu melakukan generate.
- d. Kemudian membuat lapisan muka air tanah pada penampang dengan menggunakan initial conditions.
- e. Kemudian melakukan calculating dan isi setiap phase yang akan dilakukan analisis.
- f. Kemudian membuat curve displacement, dan baru dapat dilakukan kalkulasi
- g. Setelah proses kalkulasi selesai maka didapatkan output sebagai berikut

Dari tahapan-tahapan yang telah dilakukan oleh program PLAXIS 8.6 didapatkan berupa curve displacement dan juga nilai SF. Output tersebut dapat dilihat apakah lereng aman mengalami kelongsoran atau sudah aman sehingga tidak diperlukan perkuatan tambahan. Apabila lereng belum aman terhadap longsor, maka akan dilakukan analisis kembali menggunakan perkuatan geotextile dan akan didapatkan Safety Factor yang baru setelah diberi perkuatan. Cara untuk menambahkan perkuatan geotextile pada Plaxis adalah sebagai berikut ini:

- a. Tahap awal adalah membuka program PLAXIS 8.6, kemudian memberi nama project dan mengatur dimensi pada pengaturan global.
- b. Setelah itu adalah menggambar penampang timbunan yang akan dianalisis, kemudian menekan opsi Standart Fixities.
- c. Membuat jenis properties material yang akan dipakai pada timbunan seperti  $\gamma_d$ ,  $\gamma_b$ ,  $\phi$ , dan lain sebagainya. Lalu mengaplikasikan material yang telah dibuat ke setiap lapisan tanah.
- d. Membuat profil *geotextile* sesuai spesifikasi yang diperlukan dengan klik

tombol geometri, kemudian memilih opsi geogrid.

- e. Kemudian mengubah mesh generating setup sesuai dengan mesh dan lalu melakukan generate.
- f. Kemudian membuat lapisan muka air tanah pada penampang dengan menggunakan initial conditions.
- g. Kemudian melakukan calculating dan isi setiap fase yang akan dilakukan analisis.
- h. Kemudian membuat curve displacement, dan baru dapat dilakukan proses kalkulasi
- i. Setelah proses kalkulasi selesai maka didapatkan keluaran berupa bentuk bidang longsor, nilai SF, angka penurunan tanah, dll.

