

## **BAB II**

### **STUDI LITERATUR**

#### **2.1 Definisi Tanah**

Tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di dalam partikel-partikel padat tersebut (Das 1998).

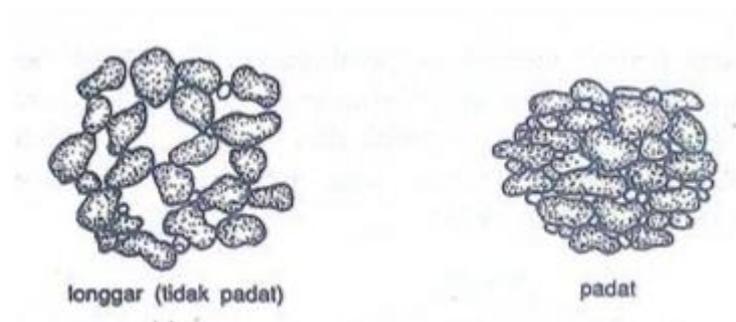
Tanah merupakan suatu benda alam yang tersusun dari padatan (bahan mineral dan bahan organik), cairan dan gas, yang menempati permukaan daratan, menempati ruang, dan dicirikan oleh salah satu atau kedua berikut: horison-horison, atau lapisan-lapisan, yang dapat dibedakan dari bahan asalnya sebagai hasil dari suatu proses penambahan, kehilangan, pemindahan dan transformasi energi dan materi, atau berkemampuan mendukung tanaman berakar di dalam suatu lingkungan alam. (Staff 2010)

#### **2.2 Karakteristik Tanah**

##### **2.2.1 Tanah Granular**

Tanah granular adalah tanah yang baik untuk mendukung jalan dan bangunan. sebab tanah granular memiliki daya dukung yang tinggi dan penurunan kapasitas dukung kecil. Penurunan yang besar terjadi apabila tanah yang tidak padat dan terdapat getaran dengan frekuensi tinggi. Tanah granular adalah tanah yang baik

untuk dijadikan tanah urug pada dinding penahan tanah karena menghasilkan tekanan lateral yang kecil, material untuk drainase yang baik karena lolos air, dan baik untuk timbunan karena mempunyai kuat geser yang tinggi. Tanah granular sangat mudah untuk dipadatkan.



**Gambar 2. 1 Partikel tanah granular**

### **2.2.2 Tanah Kohesif**

Tanah Kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya. Jenis tanah yang termasuk tanah kohesif yaitu lempung, lempung berlanau, lempung berpasir atau berkerikil yang sebagian besar butiran tanahnya terdiri dari butiran halus.

### **2.2.3 Tanah Organik**

Tanah organik adalah jenis tanah yang tersusun dari bahan organik dan mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah. Bahan organik yang terkandung terdiri dari sisa tumbuhan dan binatang. Jumlah bahan organik dalam tanah organik dinyatakan dengan kadar organik. Kadar organik adalah nilai banding antara berat bahan organik terhadap contoh tanah yang kering oven. Berat bahan organik dapat ditentukan dengan memanaskan contoh tanah untuk membakar bahan organiknya.

## 2.3 Parameter Tanah

Parameter tanah adalah ukuran atau acuan untuk mengetahui atau menilai hasil suatu proses perubahan yang terjadi dalam tanah baik dari sifat fisik dan jenis tanah.

### 2.3.1 Berat Jenis Tanah

Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir tanah dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu.

#### 2.3.1.1 Nilai Berat Volume

Suatu elemen tanah dengan volume  $V$  dan berat  $W$  memiliki hubungan volume-berat agregat tanah yang dibagi menjadi tiga fase yaitu : butiran padat, air, dan udara. Jadi volume total contoh tanah yang diselidiki dapat dinyatakan sebagai:

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a \quad (2.1)$$

di mana:

$V_s$  = volume butiran padat

$V_v$  = volume pori

$V_w$  = volume air di dalam pori

$V_a$  = volume udara di dalam pori.

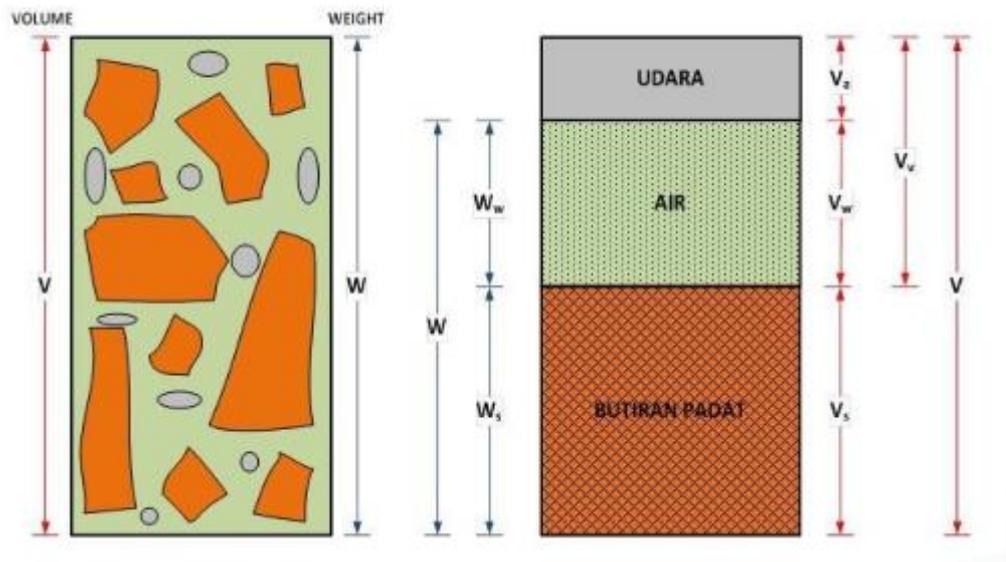
Apabila udara dianggap tidak mempunyai berat, maka berat total dari contoh tanah dapat dinyatakan sebagai:

$$W = W_s + W_w \quad (2.2)$$

di mana:

$W_s$  = berat butiran padat

$W_w$  = berat air.



Gambar 2. 2 Elemen tanah dalam tiga fase

### 2.3.1.2 Angka Pori

(*void ratio*), porositas (*porosity*), dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

Angka porididefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat. Jadi :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.3)$$

di mana:

$e$  = angka pori (*void ratio*).

### 2.3.1.3 Porositas

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume tanah total,

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (2.4)$$

di mana:

$n$  = porositas (*porosity*)

Derajat kejenuhan didefinisikan sebagai perbandingan antara volume air dengan volume pori, atau

$$S = \frac{V_w}{V_v} \quad (2.5)$$

di mana:

$S$  = derajat kejenuhan. Umumnya, derajat kejenuhan dinyatakan dalam persen.

Hubungan antara angka pori dan porositas dapat diturunkan dari Persamaan (2. 1), (2.2), dan (2 .4), sebagai berikut:

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{1 - n} \quad (2.6)$$

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad (2.7)$$

#### **2.3.1.4 Kadar Air**

Kadar air( $w$ ) yang juga disebut sebagai water content didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki.

$$\omega = \frac{W_\omega}{W_s} \quad (2.8)$$

### 2.3.1.5 Berat Volume

Berat volume( $\gamma$ ) adalah berat tanah per satuan volume. Jadi,

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (2.9)$$

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s(1 + \omega)}{V} \quad (2.10)$$

Para ahli tanah kadang-kadang menyebut berat volume (*unit weight*) yang didefinisikan dengan Persamaan sebagai berat volume basah (*moist unit weight*).

### 2.3.1.6 Bobot Isi Tanah

Nilai bobot isi tanah dapat menentukan besarnya beban yang diterima pada permukaan bidang longsor, dinyatakan dalam satuan berat per volume. Bobot isi tanah juga dapat dipengaruhi oleh jumlah kandungan air dalam tanah tersebut. Semakin besar bobot isi pada suatu lereng maka gaya geser penyebab kelongsoran akan semakin besar. Bobot isi diketahui dari pengujian laboratorium. Nilai bobot isi batuan untuk analisa kestabilan lereng terdiri dari 3 parameter yaitu nilai Bobot isi batuan pada kondisi asli ( $\gamma_n$ ), kondisi kering ( $\gamma_d$ ) dan Bobot isi pada kondisi basah ( $\gamma_w$ ).

### 2.3.2 Kuat Geser Tanah

Menurut (Hardiyatmo 2006 : 302) bahwa kuat geser tanah adalah sebuah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butiran tanah terhadap desakan atau tarikan. Dan apabila tanah mengalami pembebanan maka akan ditahan oleh sebagai berikut.

- a. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya
- b. Gesekan antara butiran tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Nilai kuat geser tanah yang dikemukakan oleh Coulomb yang dikutip dari (Hardiyatmo 2010 : 317)

dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

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

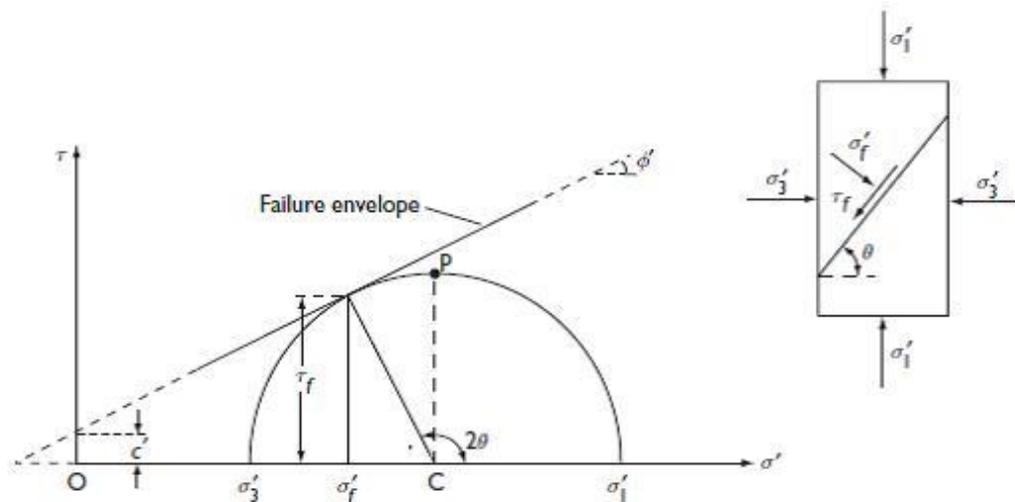
Dimana :

$\tau$  = Kuat geser tanah ( kg/cm<sup>2</sup> )

$c$  = Kohesi tanah ( kg/cm<sup>2</sup> )

$\sigma$  = Tegangan normal pada bidang runtuh ( kg/cm<sup>2</sup> )

$\theta$  = Sudut geser dalam tanah (°)



Gambar 2. 3 Gambar lingkaran Mohr

### 2.3.2.1 Kohesi

Kohesi adalah sebuah gaya tarik menarik antar partikel dalam batuan, dan dinyatakan dalam berat per luas. Secara teori kohesi tanah akan semakin besar jika kekuatan gesernya makin besar. Nilai kohesi (c) dapat diperoleh dari hasil tes

laboratorium yaitu pengujian pengujian triaxial (*triaxial test*) dan kuat geser langsung (*direct shear strength test*).

### 2.3.2.2 Sudut Geser Dalam ( $\theta$ )

Sudut geser dalam adalah sudut yang dibentuk dari suatu hubungan antara tegangan geser dan tegangan normal dalam material tanah. Sudut geser dalam bisa disebut sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material diberi tegangan atau gaya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapatkan dari pengukuran *engineering properties* tanah dengan uji geser langsung (*Direct Shear Test*) dan uji triaksial (*Test Triaxial*). Hubungan antara sudut geser dalam dan jenis tanah ditunjukkan pada **Tabel 2.1**.

**Tabel 2. 1 Hubungan antara sudut geser dalam dengan jenis tanah**

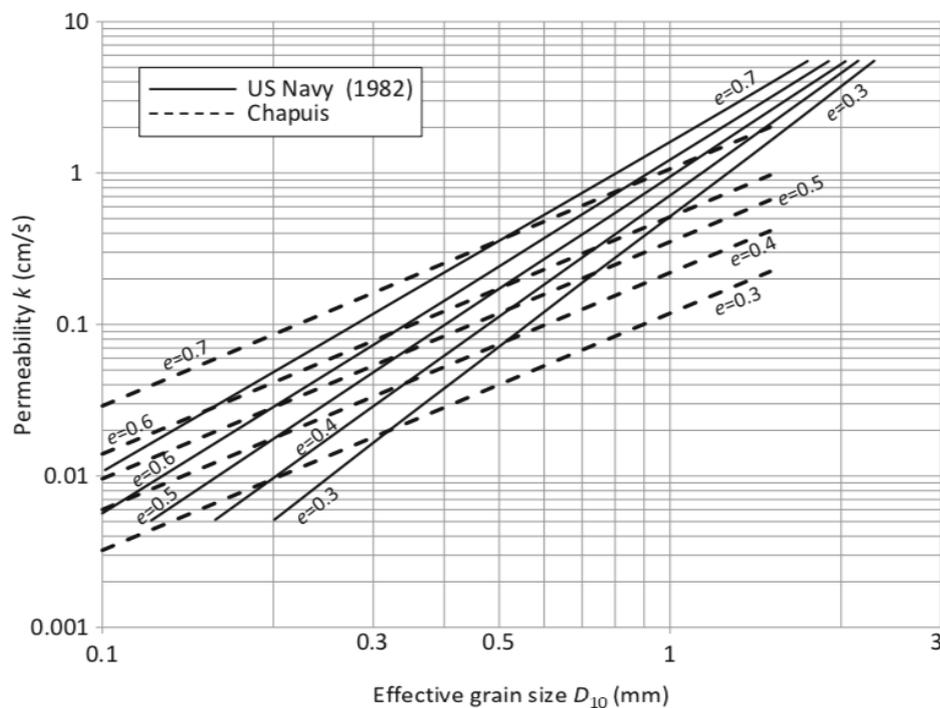
Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam ( $\theta$ )
Kerikil Kepasiran	35°-40°
Kerikil Kerakal	35°-40°
Pasir Padat	35°-40°
Pasir Lepas	30°
Lempung Kelanauan	25°-30°
Lempung	20°-25°

## 2.4 Korelasi Parameter Uji Lab

### 2.4.1 Permeabilitas

#### 2.4.1.1 Tanah Granular

Tanah granular adalah tanah yang memiliki permeabilitas lebih tinggi dibandingkan tanah kohesif. Gambar 3.1 berikut merupakan grafik hubungan antara permeabilitas ( $k$ )-void ratio ( $e$ ) – ukuran butir efektif  $D_{10}$  pada tanah berbutir kasar.



Gambar 2. 4 Grafik hubungan antara permeabilitas ( $k$ )-void ratio ( $e$ ) – ukuran butir efektif  $D_{10}$  pada tanah berbutir kasar (Chapuis et all 2004)

#### 2.4.1.2 Tanah Kohesif

Sedangkan pada tanah kohesif, hubungan koefisien permeabilitas dengan void ratio adalah :

$$\log k = \log k_0 - \frac{e_0 - e}{C_k} \quad (2.12)$$

Dimana :

$k_0$  = koefisien permeabilitas lapangan

$e_0$  = void ratio lapangan

$C_k$  = indeks perubahan permeabilitas ( $0.5 e_0$ )

## 2.4.2 Parameter Kekuatan geser $c'$ dan $\theta'$

### 2.4.2.1 Kohesi pada tegangan Efektif ( $c'$ )

Australian Standards for retaining walls (AS 4678) menyarankan nilai untuk  $c'$  and  $\theta'$  berdasarkan kelompok tanah seperti yang disajikan pada Tabel

**Tabel 2. 2 Nilai Tipikal  $c'$  and  $\theta'$  (AS 4678, 2002)**

Kelompok tanah	Tipikal tanah	Parameter Tanah	
		$c'$ (kPa)	$\phi'$ (degrees)
Buruk	Tanah lempung lunak dan teguh dengan plastisitas sedang ke tinggi; lempung berlanau; isian lempung bervariasi lepas; lanau berpasir lepas.	0-5	17-25
Sedang	Lempung berpasir kaku; lempung berkerikil; pasir berlempung padat; lanau berpasir; isian lempung padat.	0-10	26-32
Bagus	Pasir berkerikil; pasir padat; isian kerikil dan batu pasir pecah; pasir padat bergradasi baik	0-5	32-37
Sangat Bagus	Batu terlapukan lemah; isian lapis dasar jalan terkontrol; kerikil dan beton daur ulang	0-25	36-43

### 2.4.3 Kekuatan tanah dan Modulus Young

Modulus Young (E) adalah parameter yang paling umum untuk ukuran kekakuan.

Yang diperlukan untuk menentukan deformasi termasuk penurunan tanah.

(Army 1994) merekomendasikan nilai  $E_u$  untuk berbagai jenis tanah lempung disajikan pada Tabel 2.3. Tabel 2.4 merupakan kumpulan nilai Poisson's ratio untuk berbagai jenis material.

Tabel 2. 3 Nilai tipikal  $E_u$  untuk tanah lempung (Army et all 1994)

Clay	$E_u$ (MPa)
Lempung sangat lunak	0.5-5
Lempung lunak	5-20
Lempung sedang	20-50
Lempung kaku; lempung berlanau	50-100
Lempung berpasir	25-200
Lempung serpihan	100-200

Tabel 2. 4 Nilai Tipikal Poisson's ratio (Mayne et all 1990)

Material	Poisson's ratio
Lempung jenuh ( <i>undrained</i> )	0.5
Lempung jenuh ( <i>drained</i> )	0.2-0.4
Pasir rapat	0.3-0.4
Pasir lepas	0.1-0.3
Loess	0.1-0.3
Es	0.36
Alumunium	0.35
Baja	0.29
Beton	0.15

Data Modulus Young didapat dengan menggunakan data sondir, boring dan grafik triaksial. Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah menurut (Bowles 1997) terdapat pada tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Tabel modulus elastisitas (Bowles,1997)

Macam tanah	E (kN/m <sup>2</sup> )
Lempung :	
Sangat lunak	300 – 3.000
Lunak	2.000 – 4.000
Sedang	4.500 – 9.000
Keras	7.000 – 20.000
Berpasir	30.000 – 42.500
Pasir "	
Berlanau	5.000 – 20.000
Tidak padat	10.000 – 25.000
Padat	50.000 – 100.000
Pasir dan kerikil :	
Padat	80.000 – 200.000
Tidak padat	50.000 – 140.000
Lanau	2.000 – 20.000
Loess	15.000 – 60.000
Cadas	140.000 – 1.400.000

## 2.5 Korelasi Nspt

Selain melalui pengujian laboratorium mekanika tanah, parameter tanah juga dapat ditentukan dengan menggunakan nilai korelasi dari data pengujian di lapangan.

### 2.5.1 Korelasi Nspt dengan Modulus Elastisitas (E) untuk tanah berpasir

Korelasi antara modulus elastisitas (E) sangat bervariasi, dikarenakan nilai N bergantung pada faktor yang belum teruji pada studi khusus. Karena ketidakpastian dalam mengestimasi nilai E, (Mayne 1990) mengusulkan pendekatan awal sebagai berikut.

$$\frac{E}{P_a} = 5N_{60} \quad (\text{untuk pasir bertanah halus}) \quad (2.13)$$

$$\frac{E}{P_a} = 10N_{60} \quad (\text{untuk clean normally consolidated sand}) \quad (2.14)$$

$$\frac{E}{P_a} = 15N_{60} \quad (\text{untuk clean overconsolidated sand}) \quad (2.15)$$

### 2.5.2 Korelasi Nspt dengan kohesi undrained ( $C_u$ ) untuk tanah lempung

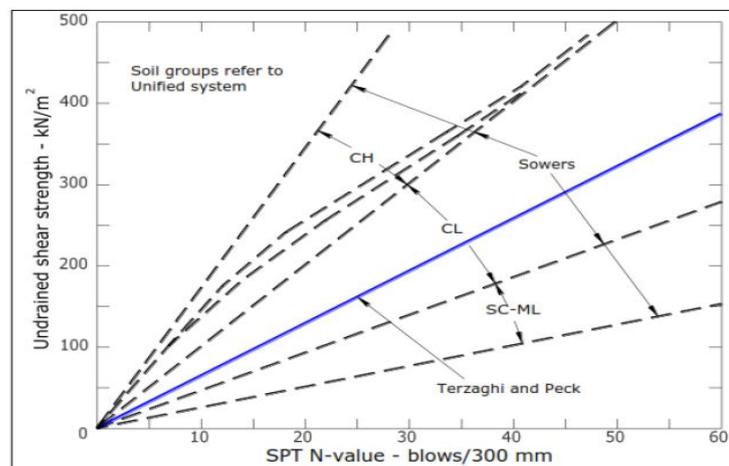
(Terzaghi et al 1967) memberikan hubungan variasi nilai N-SPT dengan nilai kohesi tak terdrainase ( $c_u$ ) pada Tabel 2.6.

**Tabel 2. 6 Variasi korelasi N-SPT dengan  $c_u$  tanah lempung (Terzaghi et al 1967)**

Konsistensi	$N$	$c_u$ ( $kN/m^2$ )
Sangat lunak	0-2	<12
Lunak	2-4	12-25
Sedang	4-8	25-50
Kaku	8-15	50-100
Sangat kaku	15-30	100-200
Keras	>30	>200

### 2.5.3 Korelasi Nspt dengan kuat geser atau *undrained shear strength*

Melalui Gambar 2.6, dapat diketahui hubungan antara N-SPT atau jumlah pukulan dalam Soil Penetration Test dengan kuat geser atau *undrained shear strength*, pada tanah sesuai dengan hasil percobaan empiris yang dikembangkan oleh Terzaghi. Sedangkan hubungan sudut geser tanah dengan jumlah pukulan Nspt dapat dikorelasikan dengan percobaan yang dilakukan oleh (Hatanaka et all 1996) pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 5 Grafik Hubungan Undrained Shear Strength dengan jumlah pukulan SPT (Terzaghi et all 1967)

### 2.5.4 Korelasi Nspt atau data tanah dengan Poisson ratio

Diperlukan adanya nilai poissons ratio untuk menentukan rasio kompresi poros terhadap regangan pemuai lateral. Nilai poissons ratio dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah menurut (Bowles 1977).

Tabel 2. 7 Poissons ratio (Bowles 1977)

Macam tanah	$\mu$
Lempung jenuh	0,4 - 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 - 0,3
Lempung berpasir	0,2 - 0,3
Lanau	0,3 - 0,35
Pasir padat	0,2 - 0,4
Pasir kasar (angka pori, $e = 0,4 - 0,7$ )	0,15
Pasir halus (angka pori, $e = 0,4 - 0,7$ )	0,25
Batu (agak tergantung dari macamnya)	0,1 - 0,4
<i>Loess</i>	0,1 - 0,3

## 2.6 Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami maupun buatan manusia. Lereng yang terbentuk secara alami misalnya: lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain: galian dan timbunan untuk membuat bendungan, tanggul dan kanal sungai serta dinding tambang terbuka (Arief 2007).

### 2.6.1 Klasifikasi Lereng

Bentuk lereng merupakan wujud visual lereng. Kemiringan lereng biasanya terdiri dari bagian puncak (*crest*), cembung (*convex*), cekung (*concave*), dan kaki lereng (*lower slope*). Daerah puncak merupakan daerah gerusan erosi yang paling tinggi dibanding daerah bawahnya, demikian pula lereng tengah yang kadang cekung atau cembung mendapat gerusan aliran permukaan relief lebih besar dari puncaknya sendiri, sedangkan kaki lereng merupakan daerah endapan. (Salim et al 2014).

Kemiringan lereng dapat disebabkan oleh gaya-gaya endogen dan eksogen bumi sehingga menyebabkan perbedaan titik ketinggian di bumi. Kemiringan lereng merupakan ukuran kemiringan lahan terhadap bidang datar yang biasa

dinyatakan dalam satuan persen atau derajat. Adanya perbedaan kemiringan pada setiap lereng menyebabkan lereng diklasifikasikan tertentu. Menurut (Zuidam 1985) klasifikasi lereng berdasarkan ciri dan kondisi lapangan adalah seperti pada Gambar 2.7 berikut:

Kelas lereng	Sifat-sifat proses dan kondisi alamiah	warna
$0^{\circ}$ - $2^{\circ}$ ( 0 – 2% )	Datar hingga hampir datar, tidak ada proses denudasi yang berarti	Hijau
$2^{\circ}$ - $4^{\circ}$ ( 2 – 7% )	Agak miring, gerakan tanah kecepatan rendah , erosi lembar dan erosi alur( sheet and rill erosion),rawan erosi.	Hijau muda
$4^{\circ}$ - $8^{\circ}$ ( 7 – 5% )	Miring, sama dengan diatas, tetapi dengan besaran yang lebih tinggi, sangat rawan erosi	Kuning
$8^{\circ}$ - $16^{\circ}$ ( 15 - 30 % )	Agak curam ,banyak terjadi gerakan tanah, dan erosi terutama longsor yang bersifat mendatar	Jingga
$16^{\circ}$ - $35^{\circ}$ ( 30 – 70% )	Curam , prose denudasional intensif, erosi dan gerakan tanah sering terjadi.	Merah muda
$35^{\circ}$ - $55^{\circ}$ (70 – 140%)	Sangat curam, batuan umumnya mulai tersingkap proses denudasional sangat intensif, sudah mulai menghasilkan endapan rombakan (kolovial).	Merah
$>55^{\circ}$ ( > 140 % )	Curam sekali, batuan tersingkap, proses denudasional sangat kuat, rawan jatuhnya batuan, tanaman jarang tumbuh ( terbatas ).	Ungu.

Gambar 2. 6 Klasifikasi Lereng Menurut (Zuidam 1985)

## 2.6.2 Faktor Yang Mempengaruhi Stabilitas Lereng

### 2.6.2.1 Struktur Geologi

Struktur geologi adalah hal yang harus diperhatikan pada analisa kestabilan lereng.

Yaitu bidang-bidang yang ketidakselarasan (*discontinuity*).

Ada dua macam bidang ketidakselarasan yaitu :

1. *Major discontinuity*, seperti kekar dan patahan.
2. *Minor discontinuity*, seperti kekar dan bidang-bidang perlapisan.

Struktur geologi ini merupakan hal yang penting di dalam analisa kemantapan lereng karena struktur geologi merupakan bidang lemah di dalam suatu masa batuan dan dapat menurunkan atau memperkecil kestabilan lereng.

#### **2.6.2.2 Geometri Lereng**

Geometri lereng juga dapat mempengaruhi kestabilan lereng meliputi tinggi lereng, kemiringan lereng dan lebar berm (b), baik itu lereng tunggal (*Single slope*) maupun lereng keseluruhan (*overall slope*). Suatu lereng disebut lereng tunggal (*Single slope*) jika dibentuk oleh satu jenjang saja dan disebut keseluruhan (*overall slope*) jika dibentuk oleh beberapa jenjang.

Lereng yang terlalu tinggi akan cenderung untuk lebih mudah longsor dibanding dengan lereng yang tidak terlalu tinggi dan dengan jenis batuan penyusun yang sama atau homogen. Demikian pula dengan sudut lereng, semakin besar sudut kemiringan lereng, maka lereng tersebut akan semakin tidak stabil. Sedangkan semakin besar lebar berm maka lereng tersebut akan semakin stabil.

#### **2.6.2.3 Tinggi Muka Air Tanah**

Muka air tanah yang dangkal menjadikan lereng sebagian besar basah dan batumannya mempunyai kandungan air yang tinggi, kondisi ini menjadikan kekuatan batuan menjadi rendah dan batuan juga akan menerima tambahan beban air yang dikandung, sehingga menjadikan lereng lebih mudah longsor.

Keberadaan air dapat dikatakan sebagai faktor dominan penyebab terjadinya kelongsoran, karena hampir sebagian besar kasus kelongsoran melibatkan air di dalamnya.

- Tekanan air pori memiliki nilai besar sebagai tenaga pendorong terjadinya kelongsoran, semakin besar tekanan air semakin tenaga pendorong.
- Penyerapan maupun konsentrasi air dalam lapisan tanah kohesif dapat melunakkan lapisan tanah tersebut yang pada akhirnya mereduksi nilai kohesi dan sudut geser dalam sehingga kekuatan gesernya berkurang.
- Aliran air dapat menyebabkan erosi yaitu pengikisan lapisan oleh aliran air, sehingga keseimbangan lereng menjadi terganggu.

## 2.7 Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk menentukan faktor keamanan potensial pada bidang longsor. Faktor keamanan (Fs) adalah nilai yang menyatakan perbandingan gaya yang menahan terhadap gaya yang menggerakkan, dinyatakan dengan persamaan:

$$FS = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (2.16)$$

Dengan :

$\tau$  = Tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah

$\tau_d$  = Tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor

FS = Faktor aman

Ada dua cara dalam menganalisis kestabilan lereng: analisis total stress dan analisis *effective stress*. Analisis total stress didasarkan pada *undrained shear*

*strength*. Sedang untuk analisis *effective stress* berdasarkan *drained shear strength*. *Undrained shear strength* biasa digunakan untuk menentukan kestabilan jangka pendek pada saat konstruksi atau diakhir konstruksi, sedangkan *drained shear strength* untuk kestabilan dalam jangka panjang.

Jika tanah yang mengalami pembebanan undrained (*undrained loading*) jenuh, dapat diasumsikan  $\phi = 0$ , Pada analisis  $\tau_u$ , tekanan pori (*pore pressure*) harus diambil sama dengan nol sepanjang permukaan bidang longsor dimana *undrained strength* digunakan. Perbedaan besar antara analisis *total stress* dengan analisis *effective stress* ialah bahwa analisis *effective stress* membutuhkan pengetahuan tentang tekanan pori sedangkan analisis *total stress* tidak.

### **2.7.1 Metode LEM**

Adalah metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan gaya dengan mengasumsikan bidang longsor yang dapat terjadi. Analisis metode LEM dapat dilakukan dengan metode Fellenius, Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, Spencer dan Sarma. Dan dapat dianalisis dengan program Slope/W dan Geoslope dari Geostudio. Faktor keamanan dari metode LEM adalah dihitung dari perbandingan antara kuat geser tanah dengan gaya dorong.

#### **2.7.1.1 Metode Bishop**

Metode Bishop disederhanakan (Bishop 1955) menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi-sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal. Metode Bishop dipakai untuk menganalisis permukaan gelincir (*slip surface*) yang berbentuk lingkaran.

Pada metode ini ada beberapa asumsi, diantaranya:

1. Pada metode ini keruntuhan diasumsikan akibat gerakan rotasi dari tanah tersebut yang mana keruntuhan tersebut berbentuk lingkaran. Metode ini tidak bisa digunakan untuk menghitung faktor keamanan dari sebuah keruntuhan yang tidak memiliki bidang keruntuhan berbentuk lingkaran.
2. Nilai dari gaya horizontal pada kedua sisi dapat diabaikan karena tidak diketahui nilainya dan sulit untuk dihitung.
3. Gaya normal yang bekerja diasumsikan bekerja di tengah bidang irisan dan diperoleh dengan menjumlahkan gaya-gaya dalam arah vertikal.

Metode Bishop memenuhi asumsi sebagai berikut :

- Memenuhi keseimbangan momen
- Memenuhi keseimbangan gaya normal
- Menganggap gaya antar irisan adalah gaya normal
- Lebih umum
- Berlaku untuk semua bentuk permukaan bidang longsor

Persamaan yang digunakan pada metoda Bishop sebagai berikut :

$$SF = \frac{1}{W \sin \alpha} [c'l + (w - uB) \cdot \operatorname{tg} \phi'] \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \phi'}{SF}} \quad (2.17)$$

Dimana :

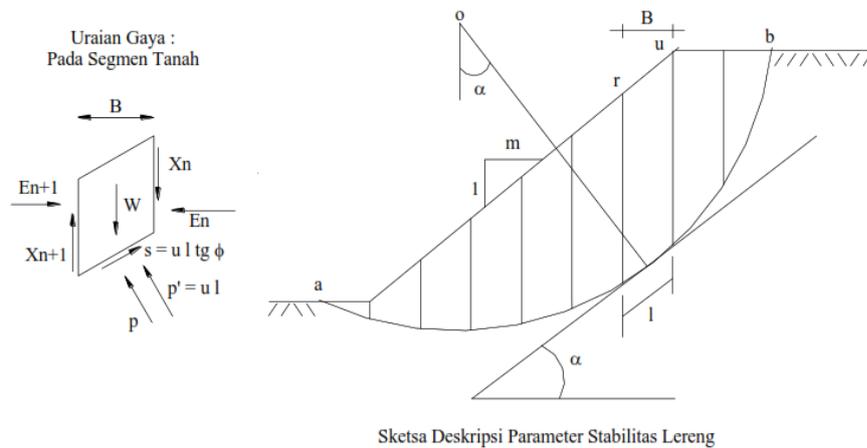
SF = factor keamanan

W = berat *slice*

$c'$  = kohesi efektif

$\phi'$  = sudut geser dalam efektif

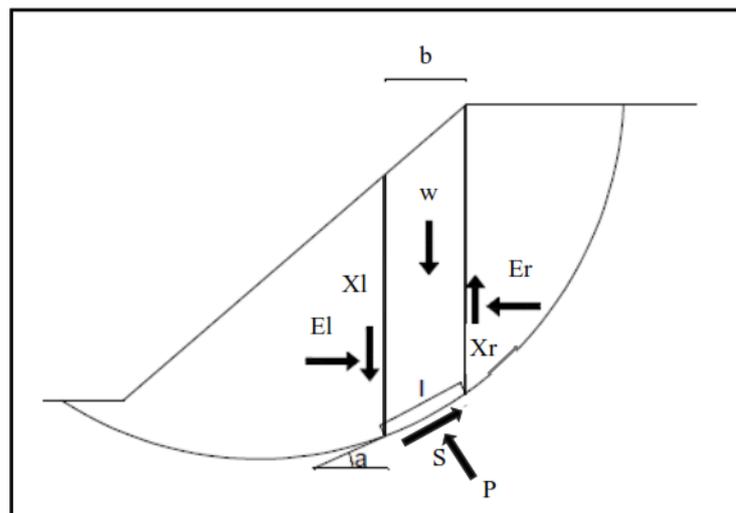
B = lebar *slice*



**Gambar 2. 7 Skema deskripsi parameter stabilitas lereng metode (Bishop 1955)**

### 2.7.1.2 Metode Janbu

Metode Janbu merumuskan persamaan umum kesetimbangan dengan secara vertikal dan horizontal pada dasar tiap irisan. Metode Janbu mengasumsikan bahwa gaya normal antar irisan diperhitungkan tetapi gaya geser antar irisan diabaikan. Bishop menurunkan angka faktor keamanan dari kesetimbangan horizontal.



**Gambar 2. 8 Gaya yang bekerja pada metode Janbu**

$$FS = \frac{\sum(c \cdot b + (w - ub) \tan \phi) \frac{\sec \alpha^2}{1 + \tan \alpha \tan \phi / F}}{\sum W \tan \alpha} \times f_0 \quad (2.18)$$

Dimana :

- c : kohesi efektif
- b : lebar irisan
- w : berat irisan
- u : tekanan air pori
- $\phi$  : sudut geser dalam efektif
- F : faktor keamanan

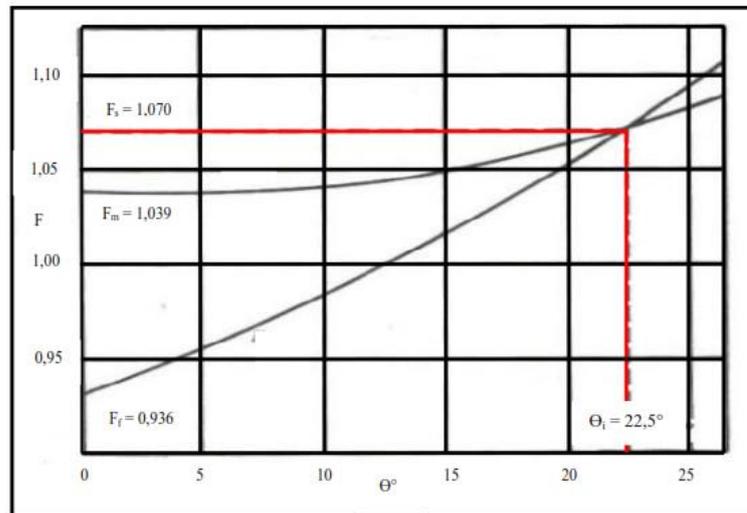
### 2.7.1.3 Metode Spencer

Metode spencer adalah metode yang digunakan untuk bidang longsor yang sembarang dengan memenuhi kesetimbangan gaya dan momen pada setiap irisan. Spencer berasumsi bahwa gaya yang bekerja di bidang irisan adalah parallel sehingga memiliki sudut kemiringan yang sama.

$$FS = \frac{\sum(c \cdot b + (w - ub) \tan \phi) \left( \frac{1}{\cos \alpha \frac{1 + \tan \alpha \tan \phi}{F}} \right)}{\sum W \sin \alpha} \quad (2.19)$$

Dimana :

- S : kekuatan geser efektif
- c : kohesi efektif
- b : lebar irisan
- w : berat irisan
- u : tekanan air pori
- $\phi$  : sudut geser dalam efektif
- F : faktor keamanan
- L : panjang dasar irisan



Gambar 2. 9 Hubungan nilai  $\Theta$  terhadap faktor keamanan (Spencer 1967)

### 2.7.2 Metode FEM

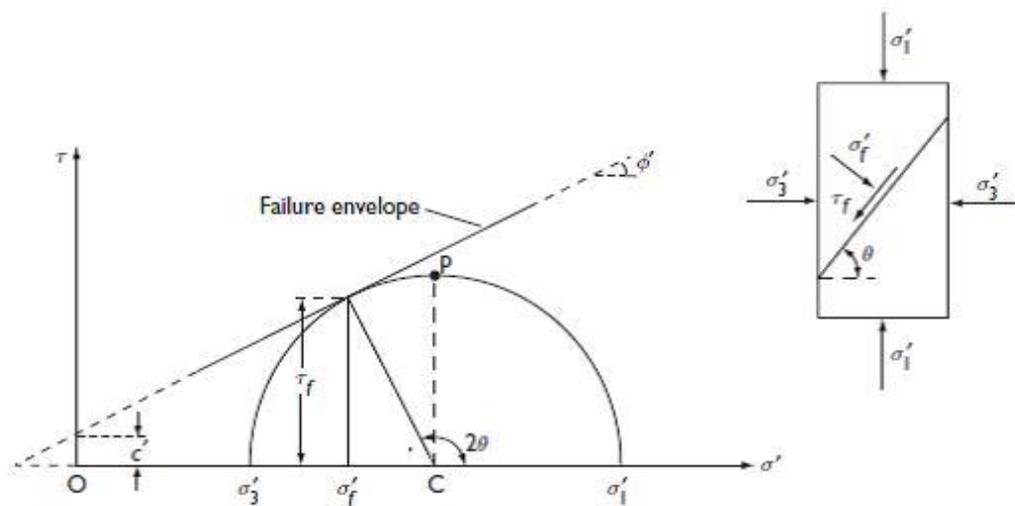
Adalah metode elemen hingga dengan tidak melakukan asumsi bidang longsor, tetapi dengan mencari bidang lemah pada struktur lapisan tanah. Faktor keamanan dengan metode FEM didapat dengan cara mengurangi nilai kohesi(c) dan sudut geser tanah secara bertahap hingga tanah mengalami keruntuhan. Dapat dilakukan analisis dengan aplikasi Plaxis. Karena dalam plaxis merupakan *software* yang menggunakan metode elemen hingga, serta mempunyai model plane strain yang dipilih mewakili kondisi di lapangan. Model plane strain digunakan untuk pemodelan dengan penampang melintang seragam dengan kondisi tegangan dan pembebanan dalam arah tegak lurus terhadap penampang.

Dalam pemodelan menggunakan Finite Element Method (FEM) untuk analisis stabilitas lereng menurut (Meiwa, 2015) “pemodelan yang paling cocok adalah Model *Axisymmetric* merupakan model yang mendekati kondisi di lapangan namun pemodelan yang dilakukan hanya satu titik *vertical drain (single drain)*,

menggunakan parameter tanah asli yang diperoleh di lapangan berdasarkan hasil penganmtan di labolatorium.”

### 2.7.3 Soil Model Mohr-Coulomb

Pengetahuan mengenai perilaku tanah untuk melakukan analisis dan desain yang akurat dalam geoteknik sangat penting. Perilaku tanah yang kompleks perlu diformulasikan dalam bentuk model tanah yang merepresentasikan hubungan tegangan-tegangan tanah yang ada pada gambar berikut.



Gambar 2. 10 Kurva kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb

Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb ditunjukkan oleh garis lurus yang dikenal dengan *Mohr-Coulomb failure envelope*. Garis ini menunjukkan batas kondisi stabil dari keruntuhan. Regangan yang berada di bawah garis adalah keadaan stabil. Sedangkan keruntuhan terjadi ketika tegangan menyentuh atau melewati garis keruntuhan Mohr-Coulomb.

$$\tau = c + \sigma_n \tan \theta \quad (2.20)$$

Dimana :

$\tau$  = Kuat geser tanah ( kg/cm<sup>2</sup> )

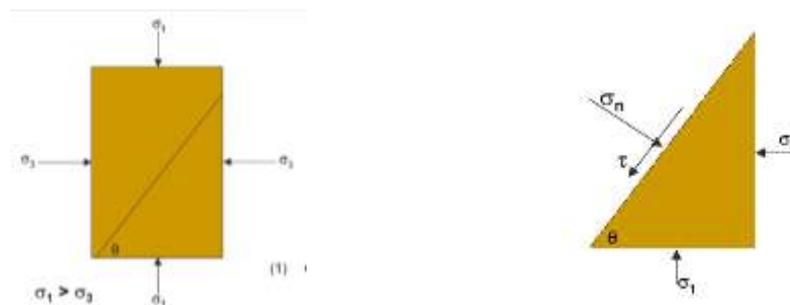
$c$  = Kohesi tanah ( kg/cm<sup>2</sup> )

$\sigma$  = Tegangan normal pada bidang runtuh ( kg/cm<sup>2</sup> )

$\theta$  = Sudut geser dalam tanah (°)

Tan  $\theta$  = Koefisien gesek antar partikel tanah

Untuk menentukan kemiringan bidang keruntuhandengan bidang utama besar (major principal plane),lihat gambar dibawah ini



**Gambar 2. 11 Kemiringan bidang keruntuhan**

Bila bidang keruntuhan membentuk sudut  $\theta$  dengan bidang utama akan diperoleh harga tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada bidang tersebut dan dinyatakan dalam persamaan :

$$\sigma = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\theta \quad (2.21)$$

Dan

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\theta \quad (2.22)$$

Dengan mensubstitusikan kedua persamaan di atas kedalam persamaan (2.19) akan diperoleh :

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \frac{\sigma_3 \tan \phi + c}{\frac{1}{2} \sin 2\theta - \cos^2 \theta \tan \phi} \quad (2.23)$$

Untuk harga  $\sigma_3$  dan  $c$  tertentu, kondisi runtuh akan ditentukan oleh harga minimum dari tegangan utama besar  $\sigma_1$ . Bila harga  $\sigma_1$  adalah minimum, maka harga  $(\frac{1}{2} \sin 2\theta - \cos^2 \theta \tan \phi)$  pada persamaan (2.20) harus maksimum jadi

$$\cos^2 \theta - \sin^2 \theta \cos \theta \tan \phi = 0 \quad (2.24)$$

Persamaan (2.21) memberikan hubungan baru :

$$\theta = 45^\circ + \frac{\phi}{2} \quad (2.25)$$

Bila persamaan (2.21) dimasukan kedalam persamaan (2.18) akan di peroleh :

$$\sigma_1 + \sigma_3 \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.26)$$

#### 2.7.4 Parameter Total dan Parameter efektif dalam analisis stabilitas lereng

Dalam analisis stabilitas lereng yaitu ketika terjadinya hujan (muka air tanah naik) sehingga menggunakan analisis *total stress* yang berdasar pada *undrained shear strength* dan dalam keadan di akhir konstruksi (*after construction*). Sedangkan pada saat kondisi eksisting bisa menyesuaikan , yaitu menggunakan analisis *total stress* yang berdasar pada *undrained shear strength* dan dihitung setelah konstruksi (*after construction*).

#### 2.8 Kriteria Faktor Keamanan

Faktor keamanan lereng yang disyaratkan untuk analisis kestabilan lereng tanah diperlihatkan pada Tabel 25 dengan didasarkan pada pertimbangan biaya dan

konsekuensi kegagalan lereng terhadap tingkat ketidakpastian kondisi analisis (SNI 8460:2017).

**Tabel 2. 8 Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng Tanah**

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.		

## 2.9 Longsoran

Longsoran adalah suatu proses perpindahan massa tanah ataupun massa batuan dengan arah miring dari kedudukan semula sehingga terjadi pemisahan dari massa yang mantap karena pengaruh gravitasi dan rembesan (*seepage*). Definisi longsoran (*landslide*) menurut Sharpe (1938, dalam Hansen, 1984), adalah luncuran atau gelinciran (*sliding*) atau jatuhnya (*falling*) dari massa batuan/tanah atau campuran keduanya.

## 2.10 Klasifikasi Longsoran

Para peneliti umumnya mengklasifikasikan jenis-jenis longsoran berdasarkan pada jenis gerakan materialnya. Klasifikasi yang diberikan oleh HWRBLC, (Highway Research Board Landslide Committee 1978), mengacu kepada (Varnes 1978) yang berdasarkan kepada:

1. material yang nampak
2. kecepatan perpindahan material yang bergerak
3. susunan massa yang berpindah

#### 4. jenis material dan gerakannya.

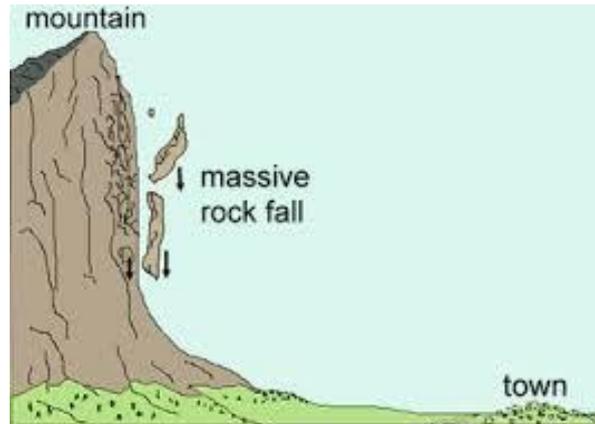
Menurut (Hansen et all 1984) longsoran (*landslide*) dapat diklasifikasikannya menjadi: jatuhan (*fall*), jungkiran (*topple*), luncuran (*slide*) dan merosot (*slump*), aliran (*flow*), gerak bentang lateral (*lateral spread*), dan gerakan majemuk (*complex movement*). Untuk lebih jelasnya klasifikasi tersebut dapat dilihat sebagai berikut :

Jenis gerakan <b>(type of movement)</b>			Jenis Material <b>(type of material)</b>		
			Batuan dasar (bedrock)	Tanah keteknikan (engineering soils)	
				Bebas, butir kasar (freedom, coarse)	Berbutir halus (predominantly fine)
Jatuhan (falls)			Jatuhan batu (rock fall)	Jatuhan bahan rombakan (debris fall)	Jatuhan tanah (earth fall)
Jungkiran (topple)			Jungkiran batu (rock topple)	Jungkiran bahan rombakan (debris topple)	Jungkiran tanah (earth topple)
Gelinciran (slides)	Rotasi	Satuan sedikit (few units)	Nendatan batu (rock slump)	Nendatan bahan rombakan (debris slump)	Nendatan tanah (earth slump)
	Translasi	Satuan banyak (many units)	Luncuran bongkah batu (rock block slide)	Luncuran bongkah bahan rombakan (debris block slide)	Luncuran bongkah tanah (earth block slide)
			Luncuran batu (rock slide)	Luncuran bahan rombakan (debris slide)	Luncuran tanah (earth slide)
Gerak horisontal / bentang lateral (lateral spreads)			Bentang lateral batu (rock spread)	Bentang lateral bahan rombakan (debris spread)	Bentang lateral tanah (earth spread)
Aliran (flow)			Aliran batu / rayapan dalam (rock flow / deep creep)	Aliran bahan rombakan (debris flow)	Aliran tanah (earth flow)
				Rayapan tanah (soil creep)	
Majemuk (complex)			Gabungan dua atau lebih gerakan (combination two or more movement)		

Gambar 2. 12 Klasifikasi Longsoran oleh (Hansen et all 1984)

#### 2.10.1 Longsoran Jatuhan (*Fall*)

Jatuhan (*Fall*) adalah jatuhan atau massa batuan bergerak melalui udara, termasuk gerak jatuh bebas, meloncat dan penggelindingan bongkah batu dan bahan rombakan tanpa banyak bersinggungan satu dengan yang lain. Termasuk jenis gerakan ini adalah runtuhan (urug, lawina, avalanche) batu, bahan rombakan mahupun tanah seperti pada Gambar 2.14.

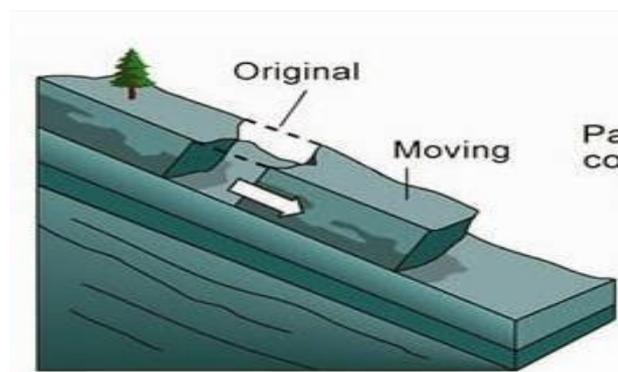


**Gambar 2. 13 Longsoran tipe jatuhan**

(<http://geoenviron.blogspot>)

### 2.10.2 Longsoran Gelinciran (*Slide*)

Longsoran gelinciran (*slides*) adalah gerakan yang disebabkan oleh keruntuhan melalui satu atau beberapa bidang yang dapat diamati ataupun diduga. Slides dibagi lagi menjadi dua jenis. Disebut luncuran (*slide*) bila dipengaruhi gerak translasional dan susunan materialnya yang banyak berubah. Bila longsoran gelinciran dengan susunan materialnya tidak banyak berubah dan umumnya dipengaruhi gerak rotasional, maka disebut nendatan (*slump*), Termasuk longsoran gelinciran adalah: luncuran bongkah tanah maupun bahan rombakan, dan nendatan tanah seperti pada Gambar 2.15.

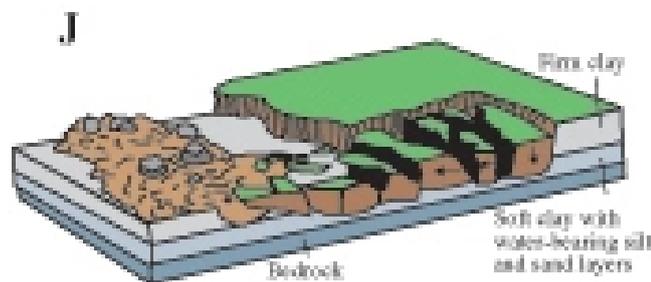


**Gambar 2. 14 Longsoran Tipe Gelinciran**

(<http://geoenviron.blogspot>)

### 2.10.3 Gerak Horizontal (*Lateral Spread*)

Gerak horizontal / bentangan lateral (*lateral spread*), merupakan jenis longsoran yang dipengaruhi oleh pergerakan bentangan material batuan secara horizontal. Biasanya berasosiasi dengan jungkiran, jatuhnya batuan, nendatan dan luncuran lumpur sehingga biasa dimasukkan dalam kategori complex landslide - longsoran majemuk (Pastuto et al 1997). Prosesnya berupa rayapan bongkah-bongkah di atas batuan lunak. Pada bentangan lateral tanah maupun bahan rombakan, biasanya berasosiasi dengan nendatan, luncuran atau aliran yang berkembang selama maupun setelah longsor terjadi. Material yang terlibat antara lain lempung (jenis *quick clay*) atau pasir yang mengalami luncuran akibat gempa (Van Asch et al 1997). Gerak horizontal dapat dilihat pada Gambar 2.16.



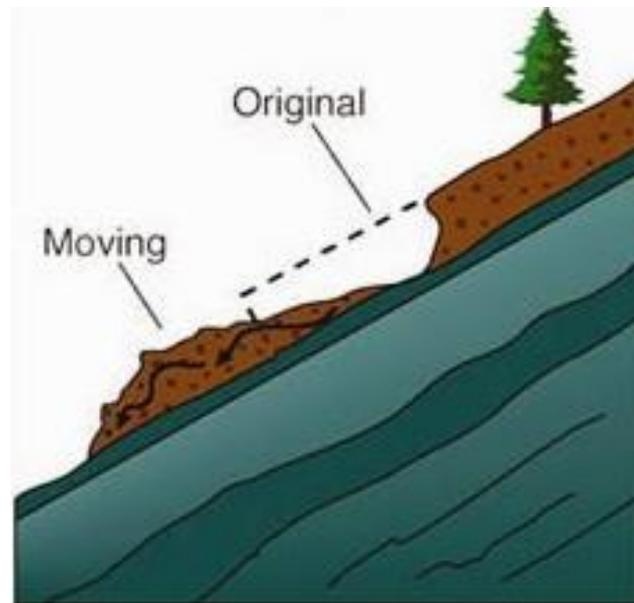
**Gambar 2. 15 Longsoran Tipe Gerakan Horizontal**

(<http://geoenviron.blogspot>)

### 2.10.4 Aliran (*Flow*)

Aliran (*flow*) adalah gerakan yang dipengaruhi oleh jumlah kandungan atau kadar air tanah, terjadi pada material tak terkonsolidasi. Bidang longsor antara material yang bergerak umumnya tidak dapat dikenali. Termasuk dalam jenis gerakan aliran kering adalah sandrun (larian pasir), aliran fragmen batu, aliran loess. Sedangkan

jenis gerakan aliran basah adalah aliran pasir-lanau, aliran tanah cepat, aliran tanah lambat, aliran lumpur, dan aliran bahan rombakan seperti pada Gambar 2.17.



**Gambar 2. 16 Longsoran Tipe Aliran**

(<http://geoenviron.blogspot>)

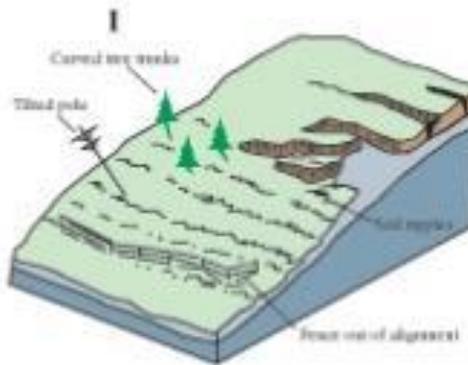
### **2.10.5 Longsoran Majemuk (*complex landslide*)**

Longsoran majemuk (*complex landslide*) adalah gabungan dari dua atau tiga jenis gerakan di atas. Pada umumnya longsoran majemuk terjadi di alam, tetapi biasanya ada salah satu jenis gerakan yang menonjol atau lebih dominan. Menurut (Soldati et all 1997), longsoran majemuk diantaranya adalah bentangan lateral batuan, tanah maupun bahan rombakan.

### **2.10.6 Rayapan (*Creep*)**

Rayapan (*creep*) adalah gerakan yang dapat dibedakan dalam hal kecepatan gerakannya yang secara alami biasanya lambat (Zaruba et all 1969). Untuk membedakan longsoran dan rayapan, maka kecepatan gerakan tanah perlu diketahui Tabel 2.9. Rayapan (*creep*) dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu: rayapan

musiman yang dipengaruhi iklim, rayapan berkesinambungan yang dipengaruhi kuat geser dari material, dan rayapan melaju yang berhubungan dengan keruntuhan lereng atau perpindahan massa lainnya (Hansen 1984).



**Gambar 2. 17 Longsoran Tipe Rayapan**

(<http://geoenviron.blogspot>)

**Tabel 2. 9 Tabel Laju Kecepatan Gerakan Tanah ( Hansen, 1984)**

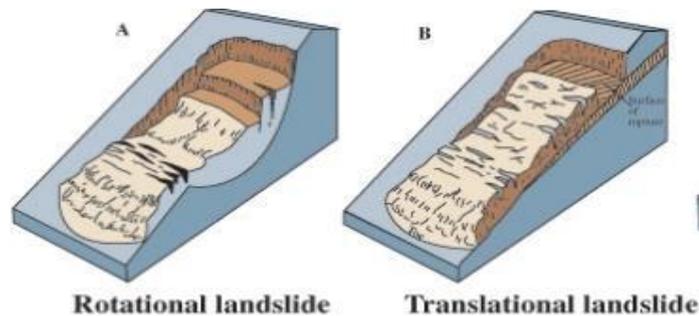
Kecepatan	Keterangan
>3 meter/detik	Ekstrim sangat cepat
3 meter/detik – 0,3 meter/menit	Sangat cepat
0,3 meter/menit – 1,5 meter/menit	Cepat
1,5 meter/menit – 1,5 meter/bulan	Sedang
1,5 meter/bulan – 1,5 meter/tahun	Lambat
1,5 meter/tahun – 0,06 meter/tahun	Sangat lambat
<0.06 meter/tahun	Ekstrim sangat lambat

### 2.10.7 Longsoran Translasional dan Rotasional

Longsoran tipe translasional maupun rotasional, ada batas antara massa yang bergerak dan yang diam (disebut bidang gelincir), kedalaman batas tersebut dari permukaan tanah sangat penting bagi deskripsi longsoran seperti pada Gambar 2.19. Terdapat 4 kelas kedalaman bidang gelincir (Fernandez et all 1987), yaitu:

a. Sangat dangkal (20 meter)

- b. Dangkal (1,5 s.d. 5 meter)
- c. Dalam (antara 5 sampai 20 meter)
- d. Sangat dalam (>20 meter).



**Gambar 2. 18 Longsoran Tipe Rotasi dan Translasi**

(<http://geoenviron.blogspot>)

### 2.11 *Software Plaxis 2D*

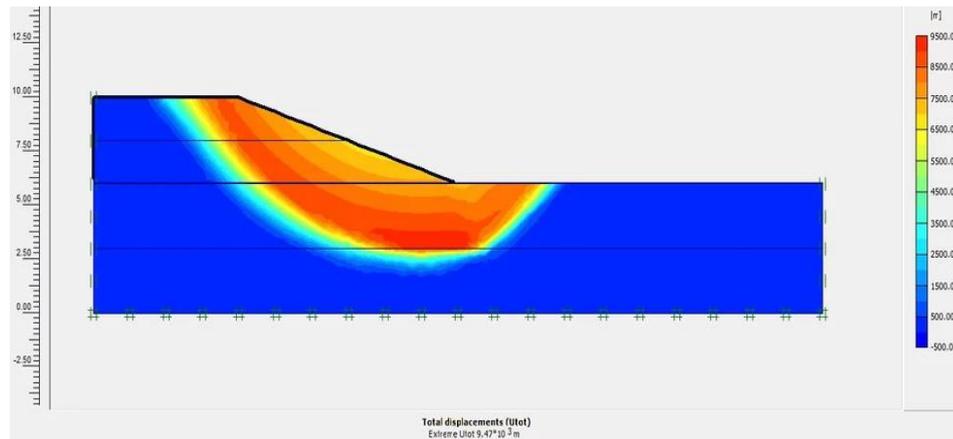
Program Plaxis merupakan salah satu software yang telah dikenal dunia teknik sipil, terutama dalam bidang geoteknik. PLAXIS 2D adalah program elemen hingga dua-dimensi, yang dikembangkan untuk analisis deformasi, stabilitas dan aliran air tanah dalam rekayasa geoteknik. Pengembangan PLAXIS dimulai pada tahun 1987 di Universitas Teknik Delft (*Technical University of Delft*) inisiatif Departemen Tenaga Kerja dan Pengelolaan Sumber Daya Air Belanda (*Dutch Department of Public Works and Water Management*).

Tujuan awal adalah untuk menciptakan sebuah program komputer berdasarkan metode elemen hingga 2D yang mudah digunakan untuk menganalisis tanggul-tanggul yang dibangun di atas tanah lunak di dataran rendah Holland. Pada tahun-tahun berikutnya, PLAXIS dikembangkan lebih lanjut hingga mencakup hampir seluruh aspek perencanaan geoteknik lainnya. Karena aktivitas yang terus

berkembang, maka sebuah perusahaan bernama PLAXIS b.v. kemudian didirikan pada tahun 1993. Pada tahun 1998, dirilis versi pertama PLAXIS untuk Windows. Selama rentang waktu itu dikembangkan pula perhitungan untuk 3D. Setelah pengembangan selama beberapa tahun maka PLAXIS 3D untuk Terowongan (PLAXIS 3D Tunnel) dirilis pada tahun 2001.

PLAXIS 2D adalah paket elemen hingga ditujukan untuk analisis dua dimensi deformasi dan stabilitas dalam rekayasa geoteknik. Hal ini dilengkapi dengan fitur untuk menangani berbagai aspek struktur geoteknik dan proses konstruksi menggunakan prosedur komputasi yang kuat dan secara teoritis suara.

Dengan PLAXIS 2D geometri model dapat dengan mudah didefinisikan dalam mode tanah dan struktur, setelah model padat independen secara otomatis dapat dipotong dan menyatu. Modus konstruksi dipentaskan memungkinkan untuk simulasi proses konstruksi dan penggalian dengan mengaktifkan dan menonaktifkan cluster tanah dan obyek struktural. Perhitungan kernel memungkinkan simulasi realistis dari linear, waktu perilaku non tergantung dan anisotropik tanah dan / atau rock. Karena tanah merupakan bahan multi-fase, prosedur khusus memungkinkan untuk perhitungan yang berhubungan dengan tekanan hidrostatik pori hidrostatik dan non dalam tanah. Output terdiri dari rangkaian lengkap dari alat visualisasi untuk memeriksa rincian model tanah-struktur 2D bawah tanah.

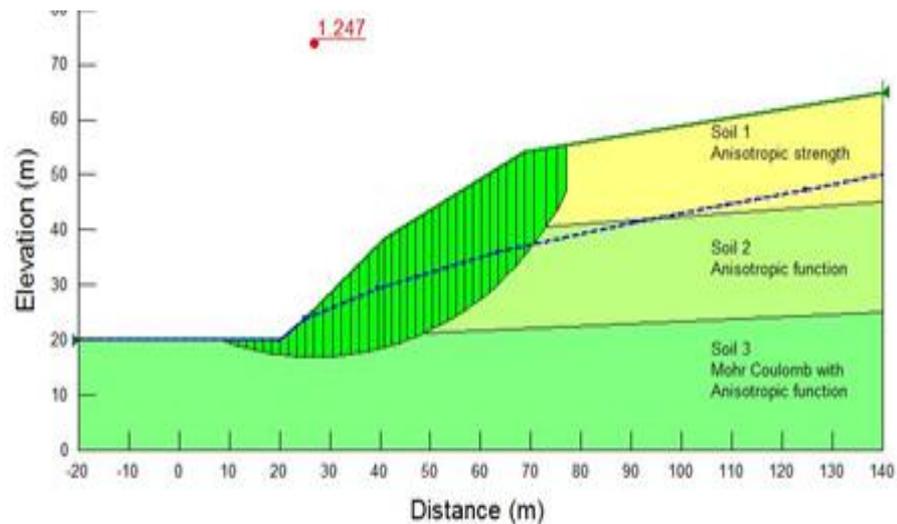


**Gambar 2. 19** contoh tampilan dari Plaxis 2D

## 2.12 Geostudio (Slope/W)

SLOPE / W, adalah software yang dipasarkan sejak tahun 1977. Awal dikembangkan oleh Profesor D.G. Fredlund di Universitas Saskatchewan. Versi komersial pertama diinstal pada komputer mainframe dan pengguna dapat mengakses perangkat lunak melalui biro perangkat lunak. Kemudian pada 1980-an ketika Personal Computers (PC) tersedia, kode ini sepenuhnya ditulis ulang untuk PC. Waktu pemrosesan sekarang tersedia dengan biaya tetap yang relatif rendah pada komputer, tetapi memori komputer sangat langka sehingga kode harus disusun ulang untuk lingkungan perangkat keras ini.

Produk berganti nama menjadi PC-SLOPE dan dirilis pada tahun 1983. Kemudian pada tahun 1980-an menjadi jelas bahwa interaksi grafis dengan perangkat lunak PC akan menjadi gelombang masa depan, dan akibatnya antarmuka pengguna seperti CAD dikembangkan. Perangkat lunak itu diganti lagi menjadi SLOPE / W, mencerminkan lingkungan Microsoft Windows dan sekarang memiliki antarmuka pengguna grafis. SLOPE / W tadinya produk perangkat lunak geoteknis pertama yang tersedia secara komersial untuk menganalisis stabilitas lereng.



Gambar 2. 20 bentuk tampilan dari Geostudio

### 2.13 Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian terdahulu yang digunakan untuk mempelajari lebih detail mengenai Stabilitas Lereng menggunakan metode *Limit Equilibrium Method* (LEM) dan *Finite Element Method* (FEM) adalah sebagai berikut :

1. Dalam penelitian yang berjudul “*Perbandingan Antara Metode Limit Equilibrium dan Metode Finite Element Dalam Analisa Stabilitas Lereng*”, (Simatupang et all 2006), diketahui bahwa analisis stabilitas lereng menggunakan metode *Limit Equilibrium Method* (LEM) dibandingkan dengan metode *Finite Element Method* (FEM) menggunakan aplikasi Plaxis dan Geoslope dengan studi kasus bendung kuala bekala dengan model urugan tanah (*earth fill dam*) dengan ketinggian 13 meter dan di hitung pada saat di bangun dengan hasil kesimpulan pemodelan permukaan longsor nn lingkaran, serta analisis metode FEM dengan hasil ( $fs=1.514$ ) dan metode LEM hasil ( $fs=1.766$ ). maka LEM didasarkan pada keseimbangan statis sedangkan metode FEM memanfaatkan hubungan tegangan regangan.

2. Dalam penelitian yang berjudul “*Analisa Stabilitas Lereng Limit Equilibrium vs Finite Element Method*” (Tjie Liong et all 2012), di ketahui bahwa analisis stabilitas lereng dengan menggunakan dua studi kasus yaitu proyek Malaysia dengan lereng timbunan (embankment) di tanah lempung lunak ketinggian 5,4 meter kemiringan 1V:2H dan proyek b jenis timbunan dengan kemiringan lereng 1V:3H tinggi 4 meter di analisis dengan menggunakan program plaxis dengan parameter undrained dan menggunakan geoslope dengan metode Fellenius,Bishop,Janbu, Spencer,Sarma dan Morgenstern-Price dengan hasil safety factor antar FEM dan LEM adalah selisih 5%. Faktor safety yang lebih besar adalah metode LEM.
3. Dalam penelitian yang berjudul “*Stability analysis of slopes using the finite element method and limiting equilibrium approach*” (Hammouri et all 2008). diketahui bahwa perbandingan analisis metode FEM dengan LEM dengan mempertimbangkan kondisi penarikan cepat , analisis dilakukan dengan program Plaxis 8.0 dan SAS-MCT 4.0. dengan kondisi lereng dalam keadaan *rapid drawdown, undrained clay soils*. faktor keamanan dari lokasi slip kritis permukaan dari dua metode di bandingkan dengan hasil kesimpulan metode FEM menghasilkan (fs=1.928) dan metode LEM menghasilkan (fs=1.714). jadi metode FEM menawarkan mekanisme otomatis untuk mencari batas kritis beban. Sedangkan LEM menggunakan metode grid atau permukaan slip acak dan perlu mengidentifikasi bentuk permukaan slip kritis.