

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Tanah**

##### **3.1.1 Pengertian Tanah**

Ketergantungan manusia terhadap tanah lebih ditegaskan Allah Swt. Dalam firman-firman-nya baik dalam taurat dan injil maupun dalam Alquran yang diturunkan pada 1.400 tahun yang lalu sebagai berikut;

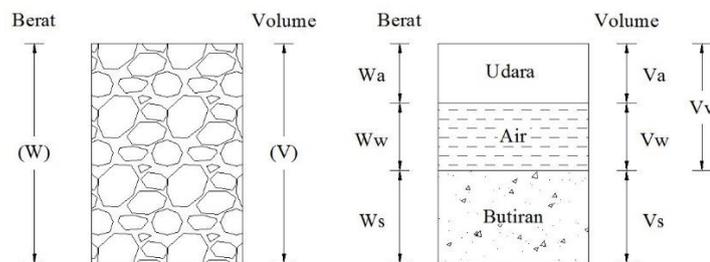
Allah berfirman: *“Di bumi itu kamu hidup dan di bumi itu kamu mati, dan dari bumi itu (pula) kamu akan dibangkitkan (QS Al-A’raaf;25). Dari bumi (tanah) itulah kami menjadikan kamu dan kepadanya kami akan mengembalikan kamu dan daripadanya kami akan mengeluarkan kamu pada kali yang lain (QS Thaha;55).*

Dalam pandangan Teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antar butiran yang relatif melemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca.

Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan akan tetapi, istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedang pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis.

### 3.1.2 Parameter Tanah

Berdasarkan Hardiyatmo (2002) mengatakan bahwa 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 digambarkan dalam bentuk diagram fase memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume  $V$  dan berat total  $W$  yang ditunjukkan dalam Gambar 3.1 berikut.



**Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah**

Dari memperhatikan gambar tersebut dapat dibentuk Persamaan 3.1, Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3 berikut :

$$W = W_s + W_w \quad (3.1)$$

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (3.2)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (3.3)$$

dengan:

$W_s$  = berat butiran padat

$W_w$  = berat air

$V_s$  = volume butiran padat

$V_w$  = volume air

$V_a$  = volume udara

Berat udara ( $W_a$ ) dianggap sama dengan nol. Hubungan-hubungan volume yang sering digunakan dalam mekanika tanah adalah kadar air ( $w$ ), angka pori ( $e$ ), porositas ( $n$ ), dan derajat kejenuhan ( $S$ ).

1. Kadar air ( $w$ ), adalah perbandingan anatar berat air ( $W_w$ ) dengan berat butiran padat ( $W_s$ ) dalam tanah tersebut, dinyatakan dalam persen dinyatakan dalam persamaan 3.4 berikut ini.

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (3.4)$$

2. Berat volume lembab atau basah ( $\gamma_b$ )

Berat volume lembab atau basah ( $\gamma_b$ ), adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara ( $W$ ) dengan volume total tanah ( $V$ ), dapat dituliskan dengan Persamaan 3.5 berikut ini.

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (3.5)$$

3. Berat volume jenuh air ( $\gamma_{sat}$ )

Untuk berat volume jenuh air ( $S = 100\%$ ), maka dapat diperoleh Persamaan 3.6 berikut ini.

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1 + e} \quad (3.6)$$

4. Modulus Young

Nilai modulus young menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *triaxial test* pada kondisi *undrained*. Nilai modulus elastisitas ( $E_s$ ) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada Tabel 3.3 berikut.

**Tabel 3.1 Nilai Perkiraan Modulus Elastis Tanah**

Macam Tanah	E (kN/m <sup>2</sup> )
<i>Lempung :</i>	
Sangat lunak	300 – 3000
Lunak	2000 – 4000
Sedang	4500 – 9000
Keras	7000 – 20000
Berpasir	30000 – 42500

Sumber: Bowles (1977)

**Lanjutan Tabel 3.1 Nilai Perkiraan Modulus Elastis Tanah**

<i>Pasir :</i>	
Berlanau	5000 – 20000
Tidak padat	10000 – 25000
Padat	50000 – 100000
<i>Pasir dan kerikil :</i>	
Padat	80000 – 200000
Tidak padat	50000 – 140000
<i>Lanau</i>	2000 – 20000
<i>Loess</i>	15000 – 60000

Sumber: Bowles (1977)

Ada beberapa usulan nilai  $E$  yang diberikan oleh peneliti yang lain. Bowles (1977) mengusulkan 2 persamaan yang dihasilkan dari pengumpulan data saat dilakuka pengujian kerucut statis (sondir) yang mana dapat dituliskan dalam Persamaan 3.7 dan Persamaan 3.8 berikut ini.

$$E = 3 q_c \quad (\text{untuk pasir}) \quad (3.7)$$

$$E = 2 \text{ sampai } 8 q_c \quad (\text{untuk lempung}) \quad (3.8)$$

Nilai  $q_c$  dalam  $\text{kg/cm}^2$ . Nilai perkiraan modulus elastis juga dapat diperoleh dari uji SPT (*Standart Penetration Test*). Mitchell dan Gardner (1975) mengusulkan bebrapa persamaan nilai modulus elastis yang dihubungkan dengan nilai SPT (*Standart Penetration Test*) dapat dilihat pada Persamaan 3.9 dan Persamaan 3.10 berikut ini.

$$E = 10 (N + 15) \text{ k/ft}^2 \quad (\text{untuk pasir}) \quad (3.9)$$

$$E = 6 (N + 5) \text{ k/ft}^2 \quad (\text{untuk pasir berlempung}) \quad (3.10)$$

### 3.1.3 Parameter Kuat Geser Tanah

Kekuatan geser suatu massa merupakan perlawanan internal tanah tersebut per satuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah yang dimaksud. Untuk menganalisis masalah stabilitas tanah seperti daya dukung, stabilitas talud (lereng), dan tekanan tanah ke samping pada turap maupun

tembok penahan tanah, mula-mula kita harus mengetahui sifat-sifat ketahanan penggesernya tanah tersebut.

Pada penelitian ini parameter kuat geser diperlukan untuk analisis-analisis kapasitas dukung tanah, stabilitas lereng, dan gaya dorong pada dinding penahan tanah.

Kuat geser tanah menurut (Hardiyatmo, 2010), adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butiran tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pengertian ini, bila pembebanan akan ditahan oleh :

1. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya

Coulomb (1776, dalam Hardiyatmo, 2010) mendefinisikan  $f(\sigma)$  seperti pada Persamaan 1.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (3.11)$$

dengan :

$\tau$  = Kekuatan geser tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$c$  = Kohesi (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Tegangan normal (kN/m<sup>2</sup>)

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

Berdasarkan konsep Terzaghi (1925, dalam Hardiyatmo, 2010) mengubah persamaan Coulomb dalam bentuk tegangan efektif seperti pada Persamaan 2a dan Persamaan 2b.

$$\tau = c' + (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi' \quad (3.12a)$$

Karena,  $\sigma' = (\sigma - u)$ , maka

$$\tau = c' + \sigma' \operatorname{tg} \varphi' \quad (3.12b)$$

dengan :

$c'$  = Kohesi tanah efektif (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma'$  = Tegangan normal efektif (kN/m<sup>2</sup>)

$u$  = Tekanan air pori (kN/m<sup>2</sup>)

$\varphi'$  = Sudut geser dalam tanah efektif (°)

## 3.2 Defnisi Klasifikasi Jalan

### 3.2.1 Definisi Jalan

Berdasarkan UU RI No. 38 Tahun 2004 tentang jalan mendefinisikan jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel.

### 3.2.2 Klasifikasi Kelas Jalan

Berdasarkan TPGJAK (1997), klasifikasi jalan terbagi menjadi:

1. Klasifikasi menurut fungsi jalan yaitu terbagi atas:

a. Jalan Arteri

Jalan arteri adalah jalan yang melayani angkutan utama mempunyai ciri seperti perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara efisien.

b. Jalan kolektor

Jalan kolektor merupakan jalan yang melayani angkutan pengumpul/pembagi dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi.

c. Jalan Lokal

Jalan loka adalah jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat kecepatan rata-rata rendah dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

2. Klasifikasi menurut kelas jalan

Pada SNI tentang Teknik Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota 1997, kelas jalan dijelaskan sebagai berikut:

- a. Klasifikasi menurut kelas jalan berkaitan dengan kemampuan jalan untuk menerima beban lalu lintas, dinyatakan dalam muatan sumbu terberat (MST) dalam satuan ton.
- b. Klasifikasi menurut kelas jalan dan ketentuannya serta kaitannya dengan klasifikasi menurut fungsi jalan dapat dilihat dalam Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Klasifikasi Menurut Kelas Jalan**

Klasifikasi Fungsi	Kelas	Muatan Sumbu Terberat MST (ton)
Arteri	I	>10
	II	10
	IIIA	8
Kolektor	IIIA	8
	IIIB	

(Sumber: Teknik Perencanaan Geosintetik Jalan Antar Kota 1997; 4)

c. Klasifikasi menurut medan jalan

- 1) Medan jalan diklasifikasikan berdasarkan kondisi sebarang kemiringan medan yang diukur tegak lurus kontur.
- 2) Klasifikasi menurut medan jalan untuk perencanaan geometrik dapat dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3 Golongan Medan**

Golongan Medan	Notasi	Kemiringan Medan (%)
Datar	D	<3
Perbukitan	B	3 – 25
Pegunungan	G	>25

d. Kalsifikasi menurut pengawasannya

Klasifikasi jalan menurut wewenang pembinaannya sesuai PP. No. 34/2006 pasal 25 jalan nasional, jalan provinsi, jalan kabupaten kota dan jalan desa.

### 3.3 Perhitungan Penurunan

Tanah yang bekerja memiliki tebal H. Akibat adanya beban yang bekerja, lapisan tanah menerima tambahan tegangan geser sebesar  $\Delta p$ . Dianggap regangan arah lateral nol. Terdapat tambahan tegangan efektif vertikal sebesar ( $\Delta p$ ). Sebagai akibat penambahan tegangan dari  $p_o'$  ke  $p_1'$  (dengan  $p_1' = p_o' + \Delta p$ ) terjadi pengurangan angka pori dari  $e_0$  ke  $e_1$ . Pengurangan volume persatuan volume lempung dinyatakan oleh persamaan angka pori pada Persamaan 3.13.

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta H}{H} = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \quad (3.13)$$

dengan :

$\Delta V$  = perubahan volume

$\Delta H$  = perubahan tebal

V = volume awal

H = tebal lapisan tanah awal

$e_0$  = angka pori awal

$e_1$  = angka pori pada perubahan volume tertentu

$\Delta e$  = perubahan angka pori

Besarnya penurunan lapisan tanah setebal  $dh$  dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.14 di bawah ini.

$$\begin{aligned} dS_c &= \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} dh & (3.14) \\ &= \frac{e_0 - e_1}{p'_1 - p_{0'}} \frac{p'_1 - p_{0'}}{1 + e_0} dh \\ &= m_v \Delta p dh \end{aligned}$$

dengan  $S_c$  adalah penurunan primer total atau ultimit. Untuk penurunan lapisan tanah dengan tebal  $H$ , maka persamaan menjadi seperti Persamaan 3.15.

$$S_c = \int_0^H m_v \Delta p dh \quad (3.15)$$

Jika  $m_v$  dan  $\Delta p$  dianggap sama pada sembarang kedalaman tanah, maka diperoleh persamaan penurunan konsolidasi primer total seperti Persamaan 3.16.

$$S_c = m_v \Delta p H \quad (3.16)$$

Nilai tambahan regangan  $\Delta p$  dapat ditentukan dengan memperhatikan distribusi tegangan akibat beban fondasi pada setiap lapisan yang ditinjau. Penurunan konsolidasi primer total adalah jumlah dari penurunan tiap lapisannya, yaitu pada Persamaan 3.17.

$$S_c = \sum m_{vi} \Delta p_i \Delta H \quad (3.17)$$

Persamaan konsolidasi dengan menggunakan grafik  $e$ - $\log p'$  adalah sebagai berikut ini. bila  $\Delta H = S_c$ , maka dapat dibuat persamaan umum menjadi seperti Persamaan 3.18.

$$Sc = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} H = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H \quad (3.18)$$

Untuk lempung tertentu, penurunan konsolidasi primer total dinyatakan oleh persamaan-persamaan berikut ini.

Bila didefinisikan seperti Persamaan 3.19.

$$p'_1 = p'_0 + \Delta p \quad (3.19)$$

1. Penurunan untuk lempung *normally consolidated* ( $p_c' = p_0'$ ) dengan tegangan efektif sebesar  $p_1'$  seperti pada Persamaan 3.20

$$Sc = Cc \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p'_0 + \Delta p}{p_0'} \quad (3.20)$$

2. Penurunan lempung *overconsolidated* ( $p_c' > p_0'$ ) penurunan konsolidasi primer total dinyatakan oleh persamaan yang bergantung nilai  $p_1'$  seperti pada Persamaan 3.21 dan Persamaan 3.22.

- a. Bila,  $p_1' < p_c'$

$$Sc = Cr \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_0'} \quad (3.21)$$

- b. Bila,  $p_1' > p_c'$

$$Sc = Cr \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_0'} + Cc \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_c'} \quad (3.22)$$

$$Cc = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'}; \text{ pada kurva penambahan beban atau pada } p' > p_c'.$$

$$Cr = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'}; \text{ pada kurva pelepasan beban atau pada } p' < p_c'.$$

dengan :

$Cr$  = indeks pemampatan kembali

- $C_c$  = indeks pemampatan  
 $H$  = tebal lapisan tanah  
 $P_c'$  = tekanan prakonsolidasi  
 $e_0$  = angka pori awal  
 $\Delta p$  = tambahan tegangan akibat beban fondasi  
 $P_0'$  = tekanan *overburden* efektif mula-mula sebelum dibebani

Tipe Tanah	k (cm/detik)	E (kN/m <sup>2</sup> )	S (m)
Pasir lepas	$10 - 10^{-3}$	10000 - 25000	0,2 - 0,4
Pasir medium padat	$10 - 10^{-3}$	25000 - 40000	0,25 - 0,4
Pasir padat	$10 - 10^{-3}$	34500 - 69000	0,3 - 0,45
Pasir kelanauan	$10^{-3} - 10^{-7}$	5000 - 20000	0,2 - 0,4
Lempung lunak	$10^{-7} - 10^{-9}$	1380 - 3450	0,15 - 0,25
Lempung medium	$10^{-7} - 10^{-9}$	15000 - 50000	0,2 - 0,5
Lempung keras	$10^{-7} - 10^{-9}$	50000 - 100000	0,1 - 0,3
Lempung kelanauan	0,001 - 0,00001	25000 - 35000	0,2 - 0,3

**Gambar 3.2 Menentukan parameter tanah [Berdasarkan Bowles (1988)]**  
dengan :

$k$  = koefisien permeabilitas

$E$  = modulus elastisitas

$S$  = penurunan ijin

Perhitungan waktu konsolidasi yang terjadi, dapat digunakan rumus pada Persamaan 3.23.

$$T = \frac{T_v \times H^2}{C_v} \quad (3.23)$$

dengan :

$T$  = waktu penurunan

$H$  = tebal lapisan

$C_v$  = koefisien konsolidasi

$T_v$  = faktor waktu (*time factor*)

Tabel faktor waktu dapat dilihat pada Gambar 3.3.

$U$ (%)	$T_v$	$U$ (%)	$T_v$	$U$ (%)	$T_v$	$U$ (%)	$T_v$
0	0	26	0.0531	52	0.212	78	0.529
1	0.00008	27	0.0572	53	0.221	79	0.547
2	0.0003	28	0.0615	54	0.230	80	0.567
3	0.00071	29	0.0660	55	0.239	81	0.588
4	0.00126	30	0.0707	56	0.248	82	0.610
5	0.00196	31	0.0754	57	0.257	83	0.633
6	0.00283	32	0.0803	58	0.267	84	0.658
7	0.00385	33	0.0855	59	0.276	85	0.684
8	0.00502	34	0.0907	60	0.286	86	0.712
9	0.00636	35	0.0962	61	0.297	87	0.742
10	0.00785	36	0.102	62	0.307	88	0.774
11	0.0095	37	0.107	63	0.318	89	0.809
12	0.0113	38	0.113	64	0.329	90	0.848
13	0.0133	39	0.119	65	0.304	91	0.891
14	0.0154	40	0.126	66	0.352	92	0.938
15	0.0177	41	0.132	67	0.364	93	0.993
16	0.0201	42	0.138	68	0.377	94	1.055
17	0.0227	43	0.145	69	0.390	95	1.129
18	0.0254	44	0.152	70	0.403	96	1.219
19	0.0283	45	0.159	71	0.417	97	1.336
20	0.0314	46	0.166	72	0.431	98	1.500
21	0.0346	47	0.173	73	0.446	99	1.781
22	0.0380	48	0.181	74	0.461	100	$\infty$
23	0.0415	49	0.188	75	0.477		
24	0.0452	50	0.197	76	0.493		
25	0.0491	51	0.204	77	0.511		

**Gambar 3.3 Tabel Hubungan  $T_v$  dengan  $U$  (Casagrande dan Taylor)**

### 3.5 Stabilitas Lereng

Suatu permukaan tanah yang miring dengan sudut tertentu terhadap bidang horizontal dan tidak dilindungi, kita namakan sebagai talud tak tertahan (*unrestrained sloper*). Talud ini dapat terjadi secara alamiah atau buatan. Bila permukaan tanah tidak datar, maka komponen berat tanah yang sejajar dengan kemiringan talud akan menyebabkan tanah bergerak ke arah bawah seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.2. Bila komponen berat tanah tersebut cukup besar, kelongsoran talud dapat terjadi, yaitu tanah dalam zona *a b c d e a* dapat menggelincir ke bawah. Dengan kata lain, gaya dorong (*driving force*) melampaui gaya berlawanan yang berasal dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor.

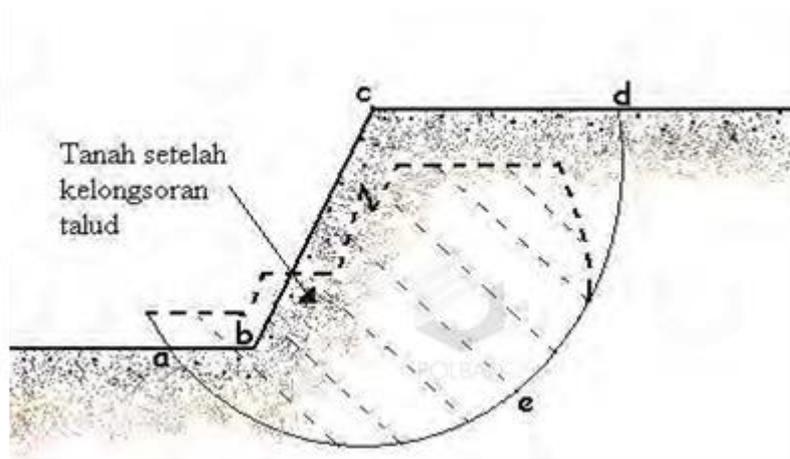
Dalam banyak kasus, para insinyur sipil diharapkan mampu membuat perhitungan stabilitas talud guna memeriksa keamanan talud alamiah, talud galian, dan talud timbunan yang didapatkan. Factor yang perlu dilakukan dalam pemeriksaan tersebut adalah menghitung dan membandingkan tegang geser yang

terbentuk sepanjang permukaan retak yang paling mungkin dengan kekuatan geser dari tanah yang bersangkutan. Proses ini dinamakan analisis stabilitas talud (*slope stability analysis*)

Analisis stabilitas suatu talud bukanlah merupakan suatu pekerjaan yang ringan. Bahkan untuk mengevaluasi variable-variable seperti lapisan-lapisan tanah dan parameter-parameter kekuatan geser tanah mungkin merupakan pekerjaan yang membosankan. Rembesan dalam talud dan pemilikan kemungkinan bidak longsor/gelincir menambah rumitnya masalah yang akan ditangani.

### 3.3.1 Angka Keamanan

Tugas para insinyur yang menganalisis stabilitas talud adalah menentukan angka keamanan, umumnya, angka keamanan didefinisikan sebagai



**Gambar 3.4 Kelongsoran Talud**

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (3.13)$$

Dengan:

$F_s$  = angka kermanan terhadap kekuatan tanah

$\tau_f$  = kekuatan geser rata-rata dari tanah

$\tau_d$  = tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor

Pada umumnya, prosedur analisa stabilitas dapat dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu analisa stabilitas dengan cara prosedur massa (*mass procedure*) dan analisa stabilitas dengan cara metode irisan (*method of slices*). Namun pada perancangan ini, penulis menggunakan metoda elemen hingga program *Plaxis 2D* versi 8.2 yang akan dibahas pada bab selanjutnya Faktor keamanan suatu lereng dapat dilihat dari Tabel 3.4 yang dibuat sesuai dengan besar kestabilan suatu lereng sebagai berikut.

**Tabel 3.4 Pengaruh Jenis Lereng Terhadap Besarnya Safety Factor**

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

Sumber: Sosrodarsono (2003)

Pada penelitian kali ini lereng pada timbunan untuk jalan tol akan digunakan nilai *safety factor*  $> 1,3$  dengan keadaan lereng dalam kondisi memuaskan.

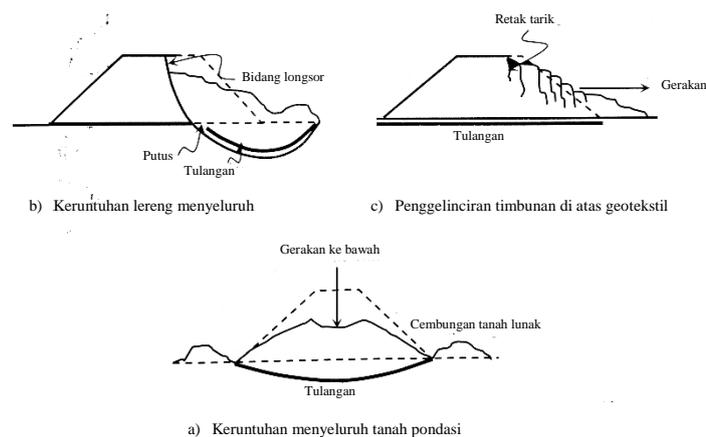
### 3.3.2 Model-Model Keruntuhan Lereng

Terdapat beberapa model keruntuhan yang telah dipakai sebagai dasar analisis stabilitas timbunan bertulang geosintetik. Beberapa kemungkinan keruntuhan timbunan bertulang geosintetik di atas tanah lunak, seperti yang ditunjukkan Gambar 3.3.

1. Kelongsoran timbunan memotong tulangan pada dasar timbunan dan bidang longsor melalui tanah pondasi yang lunak (Gambar 3.3a). kasus ini terjadi bila tulangan putus atau tercabut. Factor aman terhadap tipe keruntuhan seperti ini, dapat dievaluasi dengan menggunakan metoda stabilitas lereng

dengan bidang longsor lingkaran, baji atau lengkung sembarang, dengan memperhitungkan pengaruh tulangan.

2. Gambar 3.3b menunjukkan model keruntuhan akibat penggelinciran pada dasar timbunan (model keruntuhan sebaran lateral). Model tanah timbunan dan geosintetik rendah (seperti pada geotekstil). Analisis baja dapat digunakan untuk menghitung factor aman terhadap penggelinciran atau sebaran lateral.
3. Gambar 3.3c menunjukkan timbunan mengalami penurunan berlebihan akibat dari tulangan geosintetik mulur berlebihan. Model keruntuhan seperti ini terjadi jika regangan di dalam tulangan yang dibutuhkan untuk memobilisasi tahanan tarik geosintetik terlalu tinggi.



**Gambar 3.5 Model Keruntuhan pada Timbunan Bertulangan geosintetik pada Tanah Lunak**

### 3.3.3 Metode Irisan (Fellenius)

Metode Fellenius (*Ordinary Method of Slice*) diperkenalkan pertama oleh Fellenius pada tahun 1927 berdasarkan bahwa gaya memiliki sudut kemiringan paralel dengan dasar irisan faktor keamanan dihitung dengan keseimbangan momen. Fellenius mengemukakan metodenya dengan menyatakan bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu balok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi metode ini juga menganggap bahwa gaya normal  $P$  bekerja ditengah-tengah *slice*. Diasumsikan

juga bahwa resultan gaya-gaya antara irisan pada tiap irisan adalah sama dengan nol, atau dengan kata lain bahwa resultan gaya-gata anantara irisan diabaikan.

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i$$

Atau

$$\begin{aligned} N_i &= W_i \cos \theta_i - U_i \\ &= W_i \cos \theta_i - u_i a_i \end{aligned} \quad (3.24)$$

Angka Keamanan didefinisikan sebagai,

$$\begin{aligned} F &= \frac{\text{Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}} \\ &= \frac{\sum Mr}{\sum Md} \end{aligned}$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah  $R \sin \theta$ , maka akan seperti Persamaan 25 berikut ini.

$$\sum Md = R \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i \quad (3.25)$$

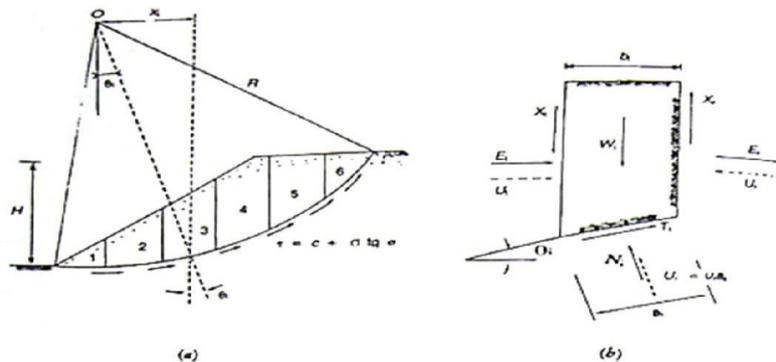
Dengan,

$R$  = jari-jari lingkaran bidang longsor

$n$  = jumlah irisan

$W_i$  = berat massa tanah irisan ke- $i$

$\theta_i$  = sudut yang didefinisikan seperti pada Gambar 3.4



**Gambar 3.6 Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Irisan**

Dengan cara yang sama, momen yang menahan tahanan longsor, adalah seperti Persamaan berikut ini.

$$\sum Md = R \sum_{i=1}^{i=n} (c a_i + H_i t g \varphi) \quad (3.26)$$

Sehingga persamaan untuk faktor aman menjadi seperti Persamaan 27.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c_{ai} + N_i \operatorname{tg} \varphi)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.27)$$

Apabilaila terdapat air pada lereng, maka tekanan air pori pada bidang longsor tersebut tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor (Md), karena gaya resultan akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Substitusi Persamaan 3.26 ke Persamaan 3.27, diperoleh Persamaan 3.28 berikut ini.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{ai} + (W_i \cos \theta_i - U_{iai}) \operatorname{tg} \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.28)$$

Dengan,

$F$	= angka keamanan
$C$	= kohesi Tanah (kN/m <sup>2</sup> )
$\varphi$	= sudut gesek dalam tanah (°)
$a_i$	= panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-I (m)
$W_i$	= berat irisan tanah ke-I (kN)
$U_i$	= tekanan air pori pada irisan ke-I (kN/m <sup>2</sup> )
$\theta_i$	= sudut yang didefinisikan dalam Gambar 3.14 (°)

Dengan mempergunakan metode ini kita dapat meneumkan hasil dimana faktor aman yang lebih rendah besarnya nilai kesalahan tergantung dari faktor aman, sudut pusat lingkaran yang dipilih, dan besarnya tekanan air pori. Analisis ditinjau dalam tinjauan tegangan total, kesalahan terletak pada fungsi dari faktor aman dan sudut pusat lingkaran. Metode ini yang di pergunakan pada insinyur sipil karena perhitungan sederhana dan kesalah hitungan yang dihasilkan masih pada sisi yang sama.

### 3.6 Geostekstil

Salah satu bahan geosintetik yang banyak digunakan adalah geotekstil. Geotekstil merupakan material lolos air atau material tekstil buatan pabrik yang dibuat dari bahan-bahan sintetis, seperti: polypropylene, polyester, polyethylene. Nylon, polyvinyl chloride dan campuran dari bahan-bahan tersebut. Seluruh material ini adalah *thermoplastic*.

Polymer yang digunakan di pabrik geotekstil, umumnya fiber-fiber geotekstil yang dibuat dari material polymeric (Koerner, 2005). Polyethylene dan polypropylene adalah polyolefins yang di antaranya mempunyai kerapatan kurang dari  $1000 \text{ kg/m}^3$

Berbagai macam bentuk geotekstil ditunjukkan dalam gambar 3.7.

1. Geotekstil anyam (*woven*), yang dibuat dari serat-serat (*fibers*) seperti kawat memanjang tunggal dan terbuat dari serat-serat pipih yang tipis memanjang
2. Geotekstil nir-anyam (*non woven*), yang terbuat dari serat-serat serabut memanjang tersusun daengan pola tidak teratur, dan kemudian secara mekanis disusun seperti benang kusut (seperti bakmi), sehingga terbentuk matrial berbulu yang relative tebal dan ada pula serat-serat yang dibuat dengan pola acak dan kemudia digabung-gabungkan pada satu titik seberangnya melalui proses pemasan atau ikatan kimia dan diletakan dengan penggilas sampai tebalnya relative tipis.



**Gambar 3.7 Geotekstil Anyam dan Nir-Anyam**

Geotekstil, umumnya tidak tahan atau mengalami degradasi bila terkena sinar ultra violet dari matahari. Karena banyak aplikasi rekayasa geoteknik, yang tidak dapat dihindarkan dari cahaya matahari, maka telah banyak produk-produk geotekstil yang diolah dari polymer dengan ramuan khusus guna memberikan ketahanan yang optimum terhadap ultra violet. Dengan berbagai macamnya jenis material dan cara pemerosesannya, maka diperlukan pemilihan tipe geotekstil yang tepat dalam aplikasi proyek di lapangan.

Suatu hal yang amat penting terkait dengan geotekstil adalah kuat tariknya. Tipe geotekstil menentukan tipe penggunaan tertentu yang cocok, misalnya fungsi geotekstil untuk tulangan atau pemisah, filtrasi atau drainase.

Geotekstil telah digunakan untuk berbagai macam keperluan yang menurut fungsinya. Geotekstil dapat digunakan untuk bantalan atau pelindung bagai material lain, seperti geomembrane. Perlindungan oleh geotekstil sebagai bantalan dapat terlihat nyata, dan derajat perlindungannya dapat bervariasi yang bergantung pada tebal, kemudahampatan, dan kekuatan geotekstil.

Terdapat banyak aplikasi material geotekstil, baik yang anyam maupun nir-anyam, dalam rekayasa geoteknik. Aplikasi geotekstil tersebut, meliputi:

1. Perkuatan lereng, yaitu untuk menambah stabilitas lereng.
2. Struktur dinding tanah bertulang, yaitu geotekstil berfungsi sebagai tulangan/angker yang menjaga kesetabilan dinding yang terbentuk dari gabungan geotekstil dan tanah urug.
3. Struktur perkerasan jalan raya, yaitu geosintetik digunakan sebagai pemisah antara tanah-dasar dan lapis pondasi bawah dari struktur perkerasan.
4. Struktur jalan rel, yaitu fungsinya sama seperti pada struktur perkerasan. Dalam hal ini, geotekstil diletakkan pada pertemuan antara tanah-dasar dan *ballast*.
5. Struktur pengendali erosi atau gerusan, yaitu geotekstil diletakkan pada bagian belakang bangunan brongjong atau rip-rap.
6. Perlindungan terhadap rembasan air, yaitu untuk mencegah hilangnya butiran halus tanah oleh aliran rembesan.

Jika ditinjau menurut fungsinya, beberapa aplikasi geotekstil yang telah digunakan hingga saat ini adalah:

1. Pemisah antara material yang berbeda. Pada struktur perkerasan jalan dan bandara geotekstil diletakkan di antara tanah-dasar (*subgrade*) dan lapis pondasi agregat batuan atau diletakkan di antara lapisan aspal lama dan baru (*overlay*). Pada timbunan, geotekstil diletakkan pada dasar timbunan di atas

tanah lunak berfungsi sebagai perkuatan timbunan. Untuk aplikasi pada saluran drainase, geotekstil dipasang sebagai pemisah antara tanah dan lapisan filter bergradasi buruk, dan lain-lain.

- 2 Sebagai filter. Dalam aplikasinya sebagai filter, geotekstil sering dipasang melingkar agregat batuan atau pipa pengumpul pada saluran drainase bawah tanah. Kecuali itu, geotekstil jika dipasang dalam timbunan juga berfungsi sebagai penyaring agar butiran halus tidak terangkut aliran rembesan. Hal ini, juga sering digunakan dalam pembuatan inti bendungan urugran, dan lain-lain.
- 3 Perkuatan bangaunan pada tanah lunak. Dalam fungsinya sebagai perkuatan, terutama perkuatan lereng timbunan terjal maupun landau, geotekstil diletakkan di bagian lereng dengan jarak tertentu sehingga lereng terjaga kesetabilannya. Geotekstil yang diletakkan di dasar timbunan pada tanah lunak berfungsi sebagai perkuatan, sekaligus pemisah. Geotekstil juga dapat digunakan sebagai penutup material urugan yang jelek kualitasnya. Geotekstil yang di pasang antara tanah-dasar dan lapis pondasi bawah, berfungsi kecuali untuk pemisah juga menaikkan kapasitas dukung tanah dasar yang dapat mengurangi tebal komponen perkerasan jalan, dalam palikasi jalan raya geotekstil juga digunakan untuk mencegah retak reflktif.

### 3.6.1 Keuntungan Pemakaian Geotekstil

Pemasangan geotekstil untuk aplikasi perkerasan jalan pada lahan kering, mempunyai keuntungan sebagai berikut:

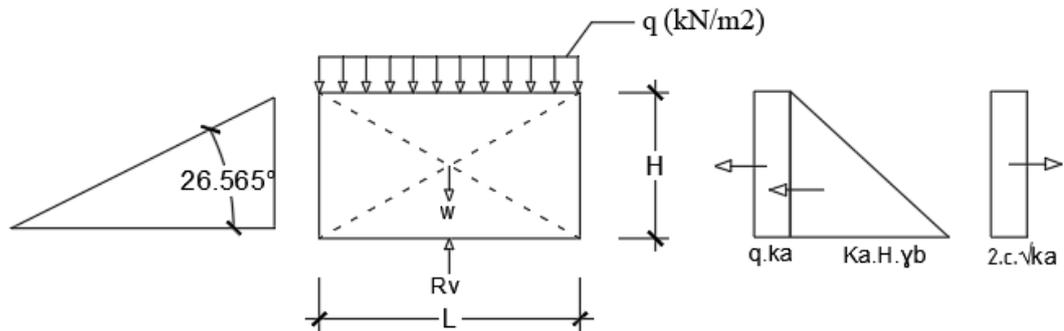
1. Geotekstil dapat digelar di atas tanah yang ada tumbuhan-tumbuhannya, karena itu mengurangi biaya untuk *stripping* dan persiapan tanah. Namun, tonggak pohon besar bekas ditebang dapat meconblos geotekstil hingga berlubang. Untuk itu, geoteksetil harus mempunyai tahanan terhadap tusukan atau sobek yang disebabkan oleh ujung-ujung butiran lancip atau kasar yang berada di bawahnya.
2. Tanpa geotekstil, agregat batuan dapat melesak ke bawah, sehingga mengurangi kekuatannya. melesaknya agregat batuan yang menembus tanah-dasar lempung dan bercampur dengan air bebas di permukaan mengurangi kekuatan lapis

pondasi. Dengan dihamparkan geotekstil lebih dulu pada tanah-dasr, masalah hilangnya batuan agregat lapis pondasi dapat dihindari. Hal ini memperkecil biaya dan kebutuhan material bahan timbunan yang terbuang akibat "tenggelam" ke tanah lunak. Kecuali itu, karena lapis pondasi tidak banyak terkontaminasi oleh butiran halus lempung, maka kekuatannya terjaga.

3. Dengan dihamparkan geotekstil, material lapis pondasi dapat lebih mudah didapatkan, karena tanah-dasar sebagai landasan lapis pondasi saat pemadatan menjadi lebih kuat. Perlu diingat bahwa material yang didapatkan pada landasan yang lunak, sangat sulit atau bahkan tidak bisa dipadatkan dengan baik.
4. Oleh pengaruh membrane dari material geotekstil, nilai CBR atau kekuatan tanah-dasar menjadi naik. Kenaikan kapasitas dukung tanah oleh geotekstil ini bergantung pada tipe geotekstil yang digunakan.
5. Bila digunakan geotekstil nir-anyaman, kecuali meningkatkan kapasitas dukung, memungkinkan juga adanya drainase air searah bidang geotekstil dari tanah-dasar. Drainase ini akan membuat kadar air tanah-dasr berkurang, sehingga kapasitas dukung tanah-dasar naik seiring dengan berjalannya waktu. Untuk maksud ini, geotekstil harus mempunyai permeabilitas yang cukup untuk mencegah berkembangnya tekanan air pori.

### 3.6.2 Perkuatan Dengan Geotekstil

Perencanaan untuk analisi stabilitas lereng menggunakan geotekstil memiliki gaya-gaya stabilitas yang perlu diperhitungkan. Terdiri dari analisi stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Stabilitas untuk pemasangan geotekstil digunakan sebagai perhitungan kebutuhan dalam perencanaan. Perhitungan stabilitas terdiri dari stabilitas internal dan stabilitas eksternal. Stabilitas internal berupa stabilitas yang ditinjau terhadap gaya-gaya internal yang diperhitungkan terhadap panjang geotekstil (*overlapping*) dan panjang efektif geotekstil. Stabilitas eksternal terdiri dari stabilitas terhadap gaya geser, guling, eksentrisitas, dan kapasitas daya dukung tanah. Gaya yang bekerja pada tanah digambarkan dalam distribusi tekanan lateral seperti pada Gambar 3.6 berikut.



**Gambar 3.8 Distribusi Tekanan Tanah Lateral**

Dari Gambar 3.8 diatas dapat diperoleh Persamaan 3.28 dan Persamaan 3.29 yang terjadi pada tekanan tanah lateral sebagai berikut.

$$K_a = \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)^2 \quad (3.28)$$

$$\sigma_{hc} = (q \times K_a) + (K_a \times H \times \gamma_b) - (2 \times c \times \sqrt{K_a}) \quad (3.29)$$

dengan:

$K_a$  = koefisien tanah aktif

$\Phi$  = sudut geser dalam tanah ( $^\circ$ )

$\sigma_{hc}$  = tekanan tanah lateral ( $\text{kN/m}^2$ )

$q$  = beban merata ( $\text{kN/m}^2$ )

$H$  = tinggi lapisan tanah (m)

$\gamma_b$  = berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ )

$c$  = kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )

dari Persamaan 3.29 diatas untuk menentukan jarak arah vertikal antar lapis geotekstil (SV) menggunakan Persamaan 3.30 berikut.

$$SV = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \quad (3.30)$$

dengan:

$SV$  = jarak vertikal antar lapis geotekstil

$T_{all}$  = kuat tarik *allowable* geotekstil ( $\text{kN/m}$ )

$SF$  = nilai faktor aman

Untuk menentukan panjang total minimum dari geotekstil pada penelitian ini maka harus dilakukan perhitungan gaya-gaya stabilitas yang terjadi pada lereng.

Maka stabilitas yang akan ditinjau adalah stabilitas terhadap geser, stabilitas terhadap guling, stabilitas terhadap daya dukung tanah, dan stabilitas terhadap eksentrisitas.

### 1. Stabilitas Eksternal

#### a. Stabilitas terhadap geser.

Untuk mendapatkan Lebar dasar struktur geotekstil dapat dilakukan perhitungannya terhadap gaya-gaya stabilitas yang terjadi sedemikian hingga struktur terhindar dari resiko penggeseran pada dasarnya. Pada penelitian ini faktor keamanan digunakan nilai sama dengan 1,5. Dapat dilihat pada persamaan 3.31 mencari angka kemaanan tersaji sebagai berikut ini.

$$SF = \frac{\text{Gaya yang menahan}}{\text{Gaya yang mendorong}} \quad (3.31)$$

$$SF = \frac{(q \times \tan \delta \times L) + (H \times \gamma b \times \tan \delta \times L)}{(q \times Ka \times H) + (0,5 \times Ka \times \gamma b \times H^2) - (2 \times c \times \sqrt{Ka \times H})}$$

dengan:

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

$K_a$  = koefisien tanah aktif

$\delta$  = sudut gesek antara tanah dan geotekstil (°)

$L$  = panjang geotekstil (m)

$H$  = tinggi lapisan tanah (m)

$c$  = kohesi (kN/m<sup>2</sup>)

#### b. Stabilitas terhadap guling.

Faktor aman terhadap penggulingan dinyatakan Persamaan 3.32 berikut ini.

$$SF = \frac{\left(\frac{1}{2} \times q \times L^2\right) + \left(\frac{1}{2} \times \gamma b \times H \times L^2\right)}{\left(q \times Ka \times \frac{1}{2} \times H^2\right) + \left(\frac{1}{2} \times Ka \times \gamma b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H\right) - \left(2 \times c \times \sqrt{Ka} \times \frac{1}{2} \times H^2\right)} \quad (3.32)$$

dengan:

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

$K_a$  = koefisien tanah aktif

$L$  = panjang geotekstil (m)

$H$  = tinggi lapisan tanah (m)

$c$  = kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )

c. Stabilitas terhadap daya dukung tanah.

Dikarena sifat struktur yang fleksible dan kemampuan struktur untuk menyesuaikan diri bila terjadi penurunan tak seragam maka dapat dilihat pada Persamaan 3.33 berikut ini.

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{(c \times Nc) + (0,5 \times L \times \gamma b \times N\gamma)} \quad (3.33)$$

dengan:

$\sigma_{ult}$  = tegangan ultimit ( $\text{kN/m}^2$ )

$c$  = kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )

$L$  = panjang geotekstil (m)

$\gamma_b$  = berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ )

Terdapat syarat yang mana nilai panjang geotekstil. Dapat dituliskan sebagai Persamaan 3.34 berikut.

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{(H \times \gamma_b) + q} \quad (3.34)$$

dengan:

$\sigma_{ult}$  = tegangan ultimit ( $\text{kN/m}^2$ )

$c$  = kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )

$L$  = panjang geotekstil (m)

$\gamma_b$  = berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ )

d. Stabilitas terhadap eksentrisitas.

Nilai eksentrisitas harus lebih dari  $1/6$   $L_{tanahnya}$ . Dapat dituliskan dalam Persamaan 3.35 berikut.

$$\frac{1}{6} \times L \geq e \quad (3.35)$$

Nilai untuk eksentrisitas tanah dapat digunakan Persamaan 3.36 berikut.

$$e = \frac{\sum MD}{Rv} = \frac{\left(q \times Ka \times \frac{1}{2} \times H^2\right) + \left(\frac{1}{2} \times Ka \times \gamma_b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H\right) - \left(2 \times c \times \sqrt{Ka} \times \frac{1}{2} \times H^2\right)}{(H \times \gamma_b \times L) + (q \times L)} \quad (3.36)$$

dengan:

- $\gamma_b$  = berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ )
- $e$  = nilai eksentrisitas tanah (m)
- $R_v$  = Gaya reaksi vertikal ( $\text{kN/m}^2$ )
- $q$  = beban merata ( $\text{kN/m}^2$ )
- $K_a$  = koefisien tanah aktif
- $H$  = tinggi lapisan tanah (m)
- $L$  = panjang geotekstil (m)
- $c$  = kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )

### 1. Stabilitas internal.

#### a. Panjang overlapping

Panjang overlap atau panjang lipatan ( $L_o$ ) geotekstil dapat dihitung dengan Persamaan 3.37 berikut.

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} \times SV \times SF}{2 \times \gamma_b \times Z_i \times \tan \varphi} \geq 1m \quad (3.37)$$

dengan:

- $L_o$  = panjang overlapping (m)
- $\sigma_{ult}$  = tegangan ultimit ( $\text{kN/m}^2$ )
- $SV$  = jarak tulalangan arah vertikal (m)
- $\gamma_b$  = berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ )
- $Z_i$  = kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m)

#### b. Panjang efektif

Panjang efektif atau tulangan dibelakang bidang longsor ( $L_e$ ) dapat dihitung dengan Persamaan 3.38 berikut.

$$L_e = \frac{SF \times SV \times K_a \times \gamma_b \times Z_i}{2 \times \gamma_b \times Z_i \times \tan \varphi} \geq 0,5m \quad (3.38)$$

dengan:

- $L_o$  = panjang overlapping (m)
- $K_a$  = koefisien tanah aktif

$SV$  = jarak tulanangan arah vertikal (m)

$Z_i$  = kedalaman tulanangan yang ditekuk masuk ketanah (m)

$\gamma_b$  = berat volume tanah ( $\text{kN/m}^3$ )

### 3.7 *Software Plaxis Versi 8.2*

*Plaxis* merupakan sebuah paket program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga yang telah dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas dalam bidang tekayasa geoteknik. Prosedur pembuatan moden secara grafis yang mudah memungkinkan pembuatan suatu model elmen hingga yang rumit daapt dilakukan dengan cepat. Pemodelan yang di gunakan yaitu Mohr-Coulomb, model Mohr-Coulomb adalah midel elastis-plastis yang terdrdu dari lima parameter yaitu  $E$  dan  $\nu$  untuk memodelkan elastis tanah;  $\nu$  dan  $c$  untuk memodelkan plastis plastisitas tanah dan sebagai sudut dilatasi (Brinkgreve, 2007).

Model Mohr-Coulomb disarankan untuk digunakan dalam analisis awal dari masalah uang dihadapi karena relative sederhana, cepat dan saat tidak diperloeh data tanah yang memadai. Titik-titik permodelan Mohr-Coulomb memiliki nilai yang berdekatan dengan titik-titik kritis tanah sebbenarnya di sepanjang bidak kelongsoran. Oleh karnea itu permodelan Mohr-Coulomb memiliki nilai yang berdekatan dengan titik-titik kritis tanah sebenarnya di sepanjang bidang kelongsoran. Oleh karena itu pemodelan Mohr-Coulomb sangat cocok kuntuk menganalisa stabilitas lereng.

#### 3.5.1 Parameter Input *Software Plaxis V 8.2*

*PLAXIS (Finite Element Code For Soild and Rock Analysis)* adalah program pemodelan dan postprocessing metode elemn hingga yang mampu melakukan Analisa masalah-masalah geoteknik dalam perencanaan sipil. *PLAXIS V.8.2* menyediakan berbagai analisis Teknik tentang displacement, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, dan lain-lain. Program ini dirancang untuk dapat melakukan pembuatan geomteri yang akan dianalisa. Parameter tanah yang digunakan dalam program *PLAXIS* diantranya sebagai berikut:

1. Berat volume tanah kering / *dry soil weight* ( $\gamma_{dry}$ )
2. Berat volume tanah basah / *Wet soil weight* ( $\gamma_{wet}$ )
3. Permeabilitas arah horizontal / *horizontal permeability* ( $k_x$ )
4. Permeabilitas arah vertikal / *vertical permeability* ( $k_y$ )
5. Modulus *young* / *youngs modulus* ( $E_{ref}$ )
6. *Poissons ratio* ( $\nu$ )
7. Kohesi / *cohesion* ( $c$ )
8. Sudut geser / *friction angle* ( $\phi$ )
9. Sudut dilatasi / *dilatancy angle* ( $\psi$ )

### 3.5.2 Output Analisa Yang Dihasilkan *Software PLAXIS V 8.2*

Program computer ini menggunakan elemen segitiga dengan pilihan 6 nodal atau 15 nodal. Pada analisa ini digunakan elemn segitiga dengan 15 nodal agar dapat dilakukan interpolasi dan peralihan nodal dengan menggunakan turunan berderajat dua. Dengan menggunakan elemen ini akurasi hasil analisa sudah cukup teliti dan dapat diandalkan. Sementara output yang dihasilkn oleh program *Plaxis*, yaitu sebagai berikut:

1. Dapat melihat pergerakan tanah actual dari geometri terhadap waktu.
2. Menampilkan percepatan total, kecepatan total, dan komponen horizontal-vertical.
3. Menghasilkan kurva-kurva percepatan ataupun perpindahan fungsi terhadap waktu.
4. Dapat dipergunakan melakukan transformasi suatu kurva menjadi sebuah spektrum frekuensi dengan cara menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*)