

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Tanah**

Berdasarkan Das (1998) didefinisikan sebagai 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 diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah pada umumnya dapat berupa kerikil, pasir, lanau, atau lempung tergantung dari partikel tanah yang paling mendominasi.

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

### 3.1.1 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah dibuat pada dasarnya untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisis tanah. Karena variasi sifat dan perilaku tanah yang begitu beragam, sistem klasifikasi secara umum mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang umum dimana tanah memiliki kesamaan sifat fisis. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi dan sebagainya (*Bowles, 1989*).

Tanah dapat diklasifikasikan secara umum sebagai tanah tidak kohesif dan tanah kohesif atau sebagai tanah berbutir kasar atau tanah berbutir halus. Istilah ini terlalu umum, sehingga memungkinkan terjadinya identifikasi yang sama untuk tanah-tanah yang hampir sama sifatnya.

Berdasarkan sifat dan karakteristik tanah, tanah dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis golongan tanah. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas sifat-sifat ukuran partikel atau butiran dan plastisitas. Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *USCS (Unified Soil Classification System)* dan *AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)*.

#### 1. Sistem Tanah Klasifikasi menurut USCS

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh Casagrande (1942) untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineers* dalam perang dunia II, kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*United State Bureau of Reclamation*) dan sistem ini disempurnakan oleh (*Das, 1995*). Klasifikasi berdasarkan *Unified System*, tanah dikelompokkan sebagai berikut.

- a. Tanah berbutir kasar (*coarse grained soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Symbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G, adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil dan S, adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
- b. Tanah berbutir halus (*fine grained soil*), yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai

dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik dan O untuk lanau-organik dan lempung-organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), muck dan tanah-tanah lain dengan kadar organik tinggi. Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS, adalah :

W = tanah dengan gradasi baik (*well graded*)

P = tanah dengan gradasi buruk (*poorly graded*)

L = tanah dengan plastisitas rendah (*low plasticity*),  $LL < 50$

H = tanah dengan plastisitas tinggi (*high plasticity*),  $LL > 50$

Dalam hal ini Cassagrande membagi tanah atas 3 (tiga) kelompok (*Sukirman, 1992*) yaitu :

1. Tanah berbutir kasar,  $< 50\%$  lolos saringan No. 200.
2. Tanah berbutir halus,  $> 50\%$  lolos saringan No. 200.
3. Tanah organik yang dapat dikenal dari warna, bau dan sisa-sisa tumbuh-tumbuhan yang terkandung di dalamnya.

Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub-kelompok yang dapat dilihat dalam Tabel 3.1, Tabel 3.2 dan Gambar 3.1 sebagai berikut.

**Tabel 3. 1 Klasifikasi Tanah Berbutir Kasar menurut USCS**

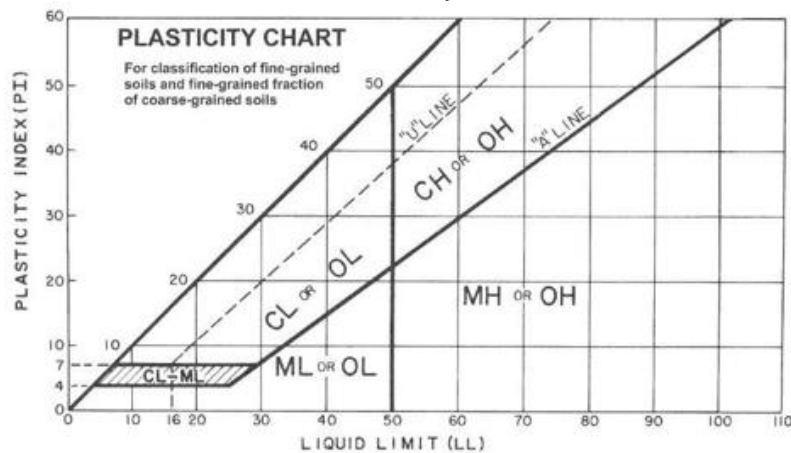
Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis
Tanah berbutir kasar 50% butiran berbatan saringan No. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar berbatan saringan No. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GP Kerikil bergradasi buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	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

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

**Tabel 3. 2 Klasifikasi Tanah Bebutir Halus menurut USCS**

Divisi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan No. 200 (0,075 mm)	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" ( <i>lean clays</i> )
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau dengan plastisitas rendah
Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis	
	CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" ( <i>fat clays</i> )	
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)



**Gambar 3. 1 Grafik Klasifikasi Tanah menurut USCS**

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

## 2. Klasifikasi menurut AASHTO

Klasifikasi sistem *AASHTO* (*American Association Of State Highway and Transporting Official*) pengklasifikasian sistem ini berdasarkan kriteria ukuran butir dan plastisitas. Kegunaan dalam klasifikasi ini adalah untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*). Kemudian dalam sistem ini, tanah diklasifikasikan ke dalam 7 (tujuh) kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah-tanah yang diklasifikasikan dalam kelompok A-1, A-2 dan A-3 merupakan tanah-tanah berbutir kasar dimana 35 % atau kurang butir-butir tersebut melalui ayakan No. 200. Tanah-tanah dimana 35 % atau lebih yang melalui ayakan No. 200 diklasifikasikan dalam kelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7. Pada umumnya tanah-tanah ini adalah lumpur dan lempung. Klasifikasi sistem ini didasarkan atas kriteria-kriteria sebagai berikut :

a. Ukuran butir.

Kerikil : butiran melalui ayakan dengan lubang 75 mm dan tertinggal di atas ayakan No. 10 dengan lubang 2 mm.

Pasir : butiran melalui ayakan No. 10 (2 mm) dan tertinggal di atas ayakan No. 200 dengan lubang 0,074 mm.

Lumpur dan lempung : butiran melalui ayakan No. 200.

b. Plastisitas.

Berlanau, jika butiran tanah mempunyai indeks plastisitas  $\leq 10$ . Berlempung, jika butiran tanah mempunyai indeks plastisitas  $\geq 11$ .

c. Batuan (*boulders*), yang ukurannya lebih besar dari 75 mm tidak digolongkan dalam klasifikasi ini.

Untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO, maka data yang didapat dari hasil uji laboratorium dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam Tabel 3.3 dan Tabel 3.4. Kelompok tanah dari sebelah kiri adalah kelompok tanah baik dalam menahan beban roda, juga baik untuk lapisan dasar tanah jalan. Sedangkan semakin ke kanan kualitasnya semakin berkurang.

**Tabel 3. 3 Klasifikasi Tanah untuk Tanah Dasar menurut AASHTO**

Klasifikasi Umum	Bahan-bahan berbutir (35% atau kurang lolos No.200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi Kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis Saringan Persen lolos :							
No. 10	$\leq 50$						
No. 40	$\leq 30$	$\leq 50$	$\leq 51$				
No. 200	$\leq 15$	$\leq 25$	$\leq 10$	$\leq 35$	$\leq 35$	$\leq 35$	$\leq 35$
Karakteristik fraksi Lolos No.40							
Batas Cair				$\leq 40$	$\leq 41$	$\leq 40$	$\leq 41$
Indeks Plastisitas	$\leq 50$		N.P	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 11$	$\leq 10$
Indeks Kelompok	0		0	0		$\leq 4$	
Jenis-jenis bahan Pendukung utama	Fragmen batu pasir dan kerikil		Pasir halus	Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung			
Tingkatan umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						

(Sumber : Mekanika 1, Hardiyatmo 1999)

**Tabel 3. 4 Klasifikasi Tanah Sistem menurut AASHTO**

Klasifikasi Umum	Tanah Granuler	Tanah mengandung Lanau-Lempung				
Kelompok	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-2-7				A-7-5 <sup>b</sup>	A-7-5 <sup>c</sup>
Persen Lolos Saringan						
No. 10						
No. 20						
No. 200	35 max	36	36	36 min	36	36 min
Batas Cair <sup>z</sup>	41 min	40	41	40 min	40	41 min
Indeks Plastisitas <sup>3</sup>	11 min	10 min	10	10 min	10	11 min
Fraksi Tanah	Kerikil, pasir		Lanau		Lempung	
Kondisi Kuat	Sangat Baik		Kurang baik hingga jelek			

(Sumber : Mekanika 1, Hardiyatmo 1999)

### 3.1.2 Tanah Lempung

Berdasarkan Terzaghi (1987) tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikrokonis sampai dengan *sub mikrokonis* yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung sangat rendah, bersifat plastis pada kadar air sedang. Sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak.

Tanah lempung terdiri sekumpulan partikel-partikel mineral lempung dan pada intinya adalah hidrat aluminium silikat yang mengandung ion-ion *Mg*, *K*, *Ca*, *Na* dan *Fe*. Mineral-mineral lempung digolongkan ke dalam empat golongan besar, yaitu *kaolinit*, *smectit (montmorillonit)*, *illit (mika hidrat)* dan *chlorite*. Mineral-mineral lempung ini merupakan produk pelapukan batuan yang terbentuk dari penguraian kimiawi mineral-mineral silikat lainnya dan selanjutnya terangkut ke lokasi pengendapan oleh berbagai kekuatan. Tanah lempung lunak mempunyai karakteristik yang khusus diantaranya kemampuan yang tinggi, indeks plastisitas yang tinggi, kadar air yang relatif tinggi, dan mempunyai gaya geser yang kecil. Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung adalah sebagai berikut (Hardiyatmo, 1999):

1. ukuran butir halus, kurang dari 0,002 mm,
2. permeabilitas rendah,
3. kenaikan air kapiler tinggi,
4. bersifat sangat kohesif, dan
5. kadar kembang susut yang tinggi.

### 3.1.3 Kuat Geser Tanah

Kekuatan geser tanah ditentukan untuk mengukur kemampuan tanah menahan tekanan tanpa terjadi keruntuhan. Seperti material teknik lainnya, tanah mengalami penyusutan volume jika menderita tekanan merata disekelilingnya. Apabila menerima tegangan geser, tanah akan mengalami distorsi dan apabila distorsi yang terjadi cukup besar, maka partikel-partikelnya akan terpeleket satu sama lain dan tanah akan dikatakan gagal dalam geser.' Dalam hampir semua jenis tanah daya dukungnya terhadap tegangan tarik sangat kecil atau bahkan tidak mampu sama sekali. Tanah tidak berkohesi, kekuatan gesernya hanya terletak pada gesekan antara butir tanah saja ( $c = 0$ ), sedangkan pada tanah berkohesi dalam kondisi jenuh, maka  $\phi = 0$  dan  $S = c$ . Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisa-analisa daya dukung tanah (*bearing capacity*), tegangan tanah terhadap dinding penahan (*earth pressure*) dan kestabilan lereng (*slope stability*). Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar seperti ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh :

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

Oleh karena itu kekuatan geser tanah dapat diukur dengan persamaan 3.1 :

$$\tau = c + (\sigma - u) \tan \phi \quad 3.1$$

Keterangan :

$\tau$  = Kekuatan geser tanah

$\sigma$  = Tegangan normal total

$u$  = Tegangan air pori

$c$  = Kohesi tanah efektif

$\phi$  = Sudut perlawanan geser efektif

Ada beberapa cara untuk menentukan kuat geser tanah, antara lain :

1. pengujian geser langsung (*Direct shear test*),
2. pengujian triaksial (*Triaxial test*),
3. pengujian tekan bebas (*Unconfined compression test*), dan
4. pengujian baling-baling (*Vane shear test*).

Dalam penelitian ini yang digunakan untuk menentukan kuat geser tanah adalah pengujian baling-baling atau pengujian geser kipas (*Vane shear test*) di lapangan dan Pengujian geser langsung (*Direct shear test*) sebagai uji kuat geser pembanding di laboratorium. Pengujian kuat geser ini dilakukan untuk mendapatkan parameter kuat geser, tegangan normal dan kohesi tanah.

#### 3.1.4 Uji Sondir Tanah

Metode sounding/sondir terdiri dari penekanan suatu tiang pancang untuk meneliti penetrasi atau tahanan gesernya. Metoda ini berfungsi untuk eksplorasi dan pengujian di lapangan. Uji ini dilakukan untuk mengetahui elevasi lapisan keras (*Hard Layer*) yang nantinya hasil dari *CPT (Cone Penetration Test)* disajikan dalam bentuk diagram sondir yang mencatat nilai tahanan konus (tahanan ujung) dan tahanan friksi (gesekan pada selimut silinder).

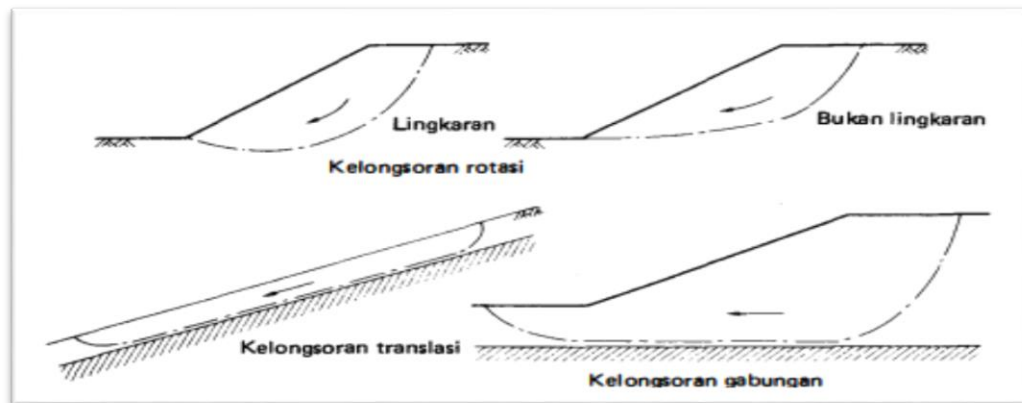
Di Indonesia alat sondir sebagai alat tes di lapangan yang sangat terkenal karena di negara ini banyak dijumpai tanah lembek (misalnya lempung) hingga kedalaman yang cukup besar sehingga mudah ditembus dengan alat sondir. Di dunia penggunaan Sondir ini semakin populer terutama dalam menggantikan SPT untuk test yang dilakukan pada jenis tanah liat yang lunak dan untuk tanah pasir halus sampai tanah pasir sedang/kasar. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengetahui perlawanan penetrasi konus ( $q_c$ ), hambatan lekat ( $f_s$ ) tanah dan friction ratio ( $r_f$ ) untuk memperkirakan jenis tanah yang diselidiki.

Uji daya dukung tanah menggunakan sondir dilakukan dengan mengambil data pada setiap kedalaman 20 cm, dengan kedalaman maksimal pada 20 meter. Pada penelitian ini dilakukan uji sondir pada titik 3+650 yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran 2.



### 3.2 Stabilitas Lereng

Gaya-gaya gravitasi dan rembesan (*seepage*) cenderung menyebabkan ketidakstabilan (*instability*) pada lereng alami (*natural slope*), pada lereng yang dibentuk dengan cara penggalian, dan pada lereng tanggul serta bendungan tanah (*earth dams*). Tipe keruntuhan lereng yang paling penting digambarkan pada Gambar 3.2. Dalam kelongsoran rotasi (*rotasional slip*) bentuk permukaan runtuh pada potongannya dapat berupa busur lingkaran (*circular arc*) atau kurva bukan lingkaran. Pada umumnya, kelongsoran lingkaran berhubungan dengan kondisi tanah yang homogen dan kelongsoran bukan lingkaran berhubungan dengan kondisi tidak homogen. Kelongsoran translasi (*translational slip*) dan kelongsoran gabungan (*compound slip*) terjadi bila bentuk permukaan runtuh dipengaruhi oleh adanya kekuatan geser yang berbeda pada lapisan tanah yang berbatasan. Kelongsoran translasi cenderung terjadi bila lapisan tanah yang berbatasan berada pada kedalaman yang relatif dangkal di bawah permukaan lereng, di mana permukaan runtuhnya akan berbentuk bidang dan hampir sejajar dengan lereng. Kelongsoran gabungan biasanya terjadi bila lapisan tanah yang berbatasan berada pada kedalaman yang lebih besar, dan permukaan runtuhnya terdiri dari bagian-bagian lengkung dan bidang.



**Gambar 3. 2 Tipe-tipe keruntuhan lereng**

(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

Di dalam praktek metode keseimbangan batas (*limiting equilibrium method*) digunakan dalam menganalisis stabilitas lereng. Dianggap bahwa keruntuhan (*failure*) terjadi pada titik di sepanjang permukaan runtuh yang diasumsikan maupun yang diketahui. Kekuatan geser dengan dibutuhkan untuk

mempertahankan kondisi keseimbangan batas dibandingkan dengan kekuatan geser yang ada pada tanah, dan akan memberikan faktor keamanan rata-rata sepanjang permukaan runtuh. Masalah tersebut dianggap dua-dimensi, kondisi regangan bidang diasumsikan. Telah diperlihatkan bahwa analisis dua-dimensi memberikan hasil yang aman untuk suatu keruntuhan pada permukaan tiga-dimensi (*dishshaped*).

### 1. Metode Fellenius

Metode ini mengasumsikan bahwa, untuk setiap irisan gaya-gaya antar irisan adalah nol. Penyelesaian tersebut meliputi penyelesaian ulang untuk gaya-gaya pada setiap irisan yang tegak lurus terhadap dasar, yaitu dengan menggunakan persamaan 3.2 dan persamaan 3.3 berikut ini.

$$N' = (W \times \cos \alpha) - (u \times l) \quad 3.2$$

$$SF = \frac{c' \cdot L_a + \tan \varphi' \sum N'}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad 3.3$$

dengan:

$N'$  = gaya normal efektif

$W$  = berat total irisan

$\alpha$  = sudut geser singgung masing-masing irisan

$u$  = tekanan air pori pada pusat dasar

$l$  = panjang dasar

$L_a$  = panjang busur

$\varphi$  = sudut gesek dalam

$c'$  = kohesi tanah efektif

### 2. Metode Bishop

Bishop mengasumsikan bahwa resultan gaya pada sisi irisan adalah horizontal, yaitu  $X_1 - X_2 = 0$ . Dengan menyelesaikan kembali gaya-gaya ke arah vertikal, didapatkan persamaan 3.4 dan persamaan 3.5 berikut ini.

$$W = N' \cdot \cos \alpha + u \cdot \cos \alpha - \frac{c'}{SF} \cdot \sin \alpha - \frac{N'}{SF} \cdot \tan \varphi' \cdot \sin \alpha \quad 3.4$$

$$N' = \frac{(W \cdot \frac{c'}{SF} \cdot \sin \alpha - u \cdot l \cdot \cos \alpha)}{\cos \alpha + \frac{\tan \varphi' \cdot \sin \alpha}{SF}} \quad 3.5$$

Dengan substitusi nilai  $l = b \cdot \sec \alpha$ , maka didapat persamaan 3.6 untuk *safety factor* sebagai berikut.

$$SF = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \alpha} \sum \left[ (c' \cdot b + (W - u \cdot b) \cdot \tan \varphi') \cdot \frac{\sec \alpha}{1 - \frac{\tan \alpha \cdot \tan \varphi'}{SF}} \right] \quad 3.6$$

dengan:

$N'$  = gaya normal efektif

$W$  = berat total irisan

$\alpha$  = sudut geser singgung masing-masing irisan

$u$  = tekanan air pori pada pusat dasar

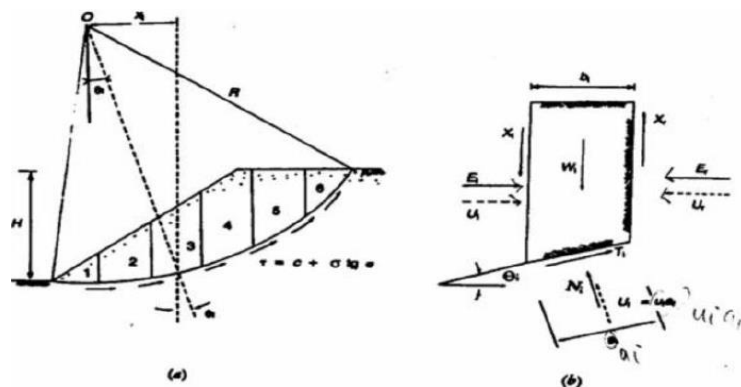
$l$  = panjang dasar

$\varphi$  = sudut gesek dalam

$c'$  = kohesi tanah efektif

### 3. Metode Irisan

Gaya norma yang bekerja pada suatu titik di lingkaran bidang longsor, terutama dipengaruhi oleh berat tanah di atas titik tersebut. Dalam metode irisan, massa tanah yang longsor dipecah-pecah menjadi beberapa irisan vertikal. Gaya-gaya yang bekerja pada setiap irisan dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



**Gambar 3.3 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan**

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Faktor keamanan merupakan rasio kekuatan geser yang ada ( $\tau$ ) terhadap kekuatan geser ( $\tau_m$ ) yang harus dikerahkan untuk mempertahankan syarat batas

keseimbangan. Untuk menghitung faktor aman dapat digunakan persamaan 3.7 berikut ini.

$$SF = \frac{\tau}{\tau_m} \quad 3.7$$

Dengan ‘meninjau momen terhadap titik O, jumlah momen akibat gaya-gaya geser pada busur keruntuhan AC harus sama dengan momen akibat massa tanah ABCD. Untuk setiap irisan, lengan momen’  $W = r \cdot \sin \alpha$  sehingga dapat dibentuk persamaan 3.8, persamaan 3.9 dan persamaan 3.10 berikut ini.

$$\sum Tr = \sum W \cdot r \cdot \sin \alpha \quad 3.8$$

$$T = \frac{\tau}{SF} \cdot l \quad 3.9$$

$$SF = \frac{\sum \tau \cdot l}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad 3.10$$

Untuk menganalisis yang menggunakan tegangan efektif dapat digunakan persamaan 3.11 berikut.

$$SF = \frac{c' \cdot La - \tan \phi' \sum N'}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad 3.11$$

### 3.3 Perkuatan Tanah

Tanah dilapangan pada umumnya bersifat lepas, mudah tertekan, mempunyai permeabilitas yang tinggi dan sifat-sifat lain yang tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah tersebut perlu diberi perkuatan. Teknik perkuatan tanah yang berkembang hingga saat ini yaitu menggunakan material yang mempunyai sifat fleksibilitas relatif tinggi (Purwanto,2012). Kemudian perkuatan tanah merupakan usaha yang dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas karakteristik tanah, utamanya parameter kuat geser tanah yang akan mendukung sebuah struktur sehingga mampu menahan beban struktur yang akan dibangun dengan deformasi yangizinkan. Secara garis besar perbaikan dan perkuatan tanah dimaksudkan untuk yaitu dapat menaikkan daya dukung & kuat geser, menaikkan modulus, mengurangi *kompresibilitas*, mengontrol stabilitas volume (*shrinkning & swelling*), mengurangi kerentanan terhadap *liquifaksi*, memperbaiki kualitas material untuk bahan konstruksi, memperkecil pengaruh lingkungan.

### 3.4.1 Dasar Perkuatan Tanah

Pada perkuatan tanah mempunyai konsep tegangan-regangan, dimana fungsi dari konsep ini adalah memperkirakan mengenai besarnya nilai terhadap tegangan akibat suatu beban atau pembebanan yang dapat menghasilkan deformasi yang berlebihan disebut dengan Tegangan Runtuh. Kemudian massa tanah merupakan material berbutir yang tidak saling terikat atau terlepas satu sama lainnya. Butiran tanah mengandung mineral Organik dan Non-Organik. Keruntuhan pada masa tanah akibat beban atau gaya, terutama disebabkan oleh tergelincir dan tergulingnya butiran-butiran (soils movement) dan bukan oleh karena tarikan atau tekanan butiran-butiran tanah. Oleh karena itu sifat keruntuhan:

1. Tegangan yang ditinjau adalah Tegangan Geser, sedangkan kekuatannya yang ditinjau adalah Kuat Geser.
2. Keruntuhan merupakan suatu perubahan keadaan pada struktur tanah yang disertai dengan deformasi pada zona tegangan sampai deformasi itu berhenti. Deformasi total yang dihasilkan dari deformasi akibat tegangan-tegangan sampai tanah tersebut menjadi runtuh dan deformasi yang terjadi setelah keruntuhan. Kekuatan tanah setelah runtuh disebut Kekuatan Sisa (Residual Strength).

### 3.4.2 Perkuatan Dengan Geotekstil

Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan terdiri dari analisis stabilitas eksternal dan stabilitas internal. Stabilitas eksternal terdiri dari stabilitas terhadap geser, guling, eksentrisitas, dan kapasitas dukung tanah. Stabilitas dihitung berdasarkan nilai *safety factor* yang ada pada setiap gaya stabilitas yang bekerja. Dalam buku *Hand-Out* Mata Kuliah Perkuatan Tanah yang ditulis oleh Edy Purwanto (2016) dijelaskan tentang perhitungan stabilitas dalam perhitungan kebutuhan pemasangan geotekstil dilapangan. Dalam tekanan lateral yang terjadi pada tanah terdapat koefisien tanah aktif, untuk mencari nilai koefisien tanah aktif yang terjadi pada lereng dapat digunakan persamaan 3.12 berikut.

$$K_a = \tan\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)^2 \quad 3.12$$

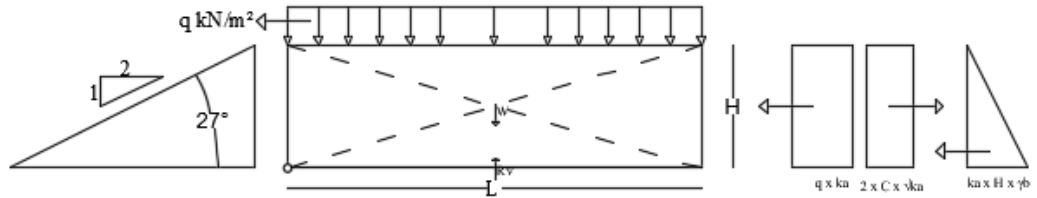
dengan:

$K_a$  = koefisien tanah aktif

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

1. Stabilitas eksternal.

Gaya yang bekerja pada tanah digambarkan dalam distribusi tekanan lateral seperti pada Gambar 3.4 berikut.



**Gambar 3.4 Distribusi Tekanan Tanah Lateral**

Dari Gambar 3.4 diatas dapat diperoleh persamaan yang terjadi pada tekanan tanah lateral sebagai 3.13 berikut.

$$\sigma_{hc} = (q \times K_a) + (K_a \times H \times \gamma_b) - (2 \times c \times \sqrt{K_a}) \quad 3.13$$

dengan:

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

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

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

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

$H$  = tinggi lapisan tanah (m)

Selanjutnya dari persamaan sebelumnya dapat untuk menentukan jarak arah vertikal antar lapis geotekstil (SV) menggunakan persamaan 3.14 berikut.

$$SV = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \times SF} \quad 3.14$$

dengan:

$SV$  = jarak vertikal antar lapis geotekstil

$SF$  = nilai faktor aman

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

Kemudian untuk menentukan panjang total minimum dari geotekstil maka harus dilakukan perhitungan gaya-gaya stabilitas yang terjadi pada lereng. Stabilitas yang diperhitungkan yaitu stabilitas terhadap guling, stabilitas terhadap geser, stabilitas terhadap daya dukung tanah, dan stabilitas terhadap eksentrisitas.

a. Stabilitas terhadap geser.

Lebar dasar struktur geotekstil harus diperhitungkan terhadap gaya-gaya stabilitas yang terjadi dan harus sedemikian hingga struktur terhindar dari resiko penggeseran pada dasarnya. Umumnya faktor keamanan diambil sama dengan 1,5. Untuk menghitung nilai faktor aman stabilitas terhadap geser digunakan persamaan 3.15 dan persamaan 3.16 berikut.

$$SF = \frac{\sum PR}{\sum PD} = \frac{\text{Gaya yang menahan}}{\text{Gaya yang mendorong}} \quad 3.15$$

$$SF = \frac{(q \times \tan \varphi \times L) + (H \times \gamma b \times \tan \varphi \times L)}{(q \times Ka \times H) + (0,5 \times Ka \times \gamma b \times H^2) - (2 \times c \times \sqrt{Ka \times H})} \quad 3.16$$

dengan:

$\varphi$  = sudut gesek antara tanah dan geotekstil ( $^{\circ}$ )

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

$K_a$  = koefisien tanah aktif

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

$L$  = panjang geotekstil (m)

$H$  = tinggi lapisan tanah (m)

b. Stabilitas terhadap guling.

Faktor aman terhadap penggulingan dinyatakan oleh persamaan 3.17 dan persamaan 3.18 berikut.

$$SF = \frac{\left(\frac{1}{2} \times q \times L^2\right) + \left(\frac{1}{2} \times \gamma b \times H \times L^2\right)}{\left(q \times Ka \times \frac{1}{2} \times H^2\right) + \left(\frac{1}{2} \times Ka \times \gamma b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H\right) - \left(2 \times c \times \sqrt{Ka} \times \frac{1}{2} \times H^2\right)} \quad 3.17$$

$$SF = \frac{\sum MR}{\sum MD} = \frac{\text{Momen menahan}}{\text{Momen menggulingkan}} \quad 3.18$$

dengan:

$L$  = panjang geotekstil (m)

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

$H$  = tinggi lapisan tanah (m)

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

$K_a$  = koefisien tanah aktif

c. Stabilitas terhadap daya dukung tanah.

Kapasitas dukung tanah di bawah struktur geotekstil harus cukup sehingga tidak akan terjadi keruntuhan akibat terlampauinya kapasitas dukung tanah diambil minimum sama dengan 1,5, karena sifat struktur yang fleksible dan kemampuan struktur untuk menyesuaikan diri bila terjadi penurunan tak seragam seperti pada persamaan 3.19 berikut.

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{(c \times Nc) + (0,5 \times L \times \gamma_b \times N\gamma)} \quad 3.19$$

dengan:

$\sigma_{ult}$  = tegangan ultimit (kN/m<sup>2</sup>)

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

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

L = panjang geotekstil (m)

Syarat untuk nilai panjang geotekstil adalah kurang dari atau sama dengan tegangan ultimit berbanding dengan nilai berat volume tanah dikali dengan berat volume tanah ditambah beban merata. Dapat dituliskan sebagai persamaan 3.20 berikut.

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{(H \times \gamma_b) + q} \quad 3.20$$

dengan:

$\sigma_{ult}$  = tegangan ultimit (kN/m<sup>2</sup>)

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

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

L = panjang geotekstil (m)

d. Stabilitas terhadap eksentrisitas.

Nilai 1/6 L harus lebih besar dibandingkan dengan nilai eksentrisitas tanahnya. Dapat dituliskan dalam persamaan 3.21 dan persamaan 3.22 berikut.

$$\frac{1}{6} \times L \geq e \quad 3.21$$

Nilai untuk eksentrisitas tanah dapat digunakan Persamaan 3.17 berikut.

$$e = \frac{\sum MD}{Rv} = \frac{\left( q \times Ka \times \frac{1}{2} \times H^2 \right) + \left( \frac{1}{2} \times Ka \times \gamma_b \times H^2 \times \frac{1}{3} \times H \right) - \left( 2 \times c \times \sqrt{Ka} \times \frac{1}{2} \times H^2 \right)}{(H \times \gamma_b \times L) + (q \times L)} \quad 3.22$$



dengan:

$e$  = nilai eksentrisitas tanah (m)

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

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

$L$  = panjang geotekstil (m)

$R_v$  = Gaya reaksi vertikal ( $\text{kN/m}^2$ )

$K_a$  = koefisien tanah aktif

$H$  = tinggi lapisan tanah (m)

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

## 2. Stabilitas internal.

### a. Panjang overlapping

Panjang overlap atau panjang lipatan ( $L_o$ ) pada bagian menggunakan geotekstil dapat dihitung dengan persamaan 3.23 berikut.

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} \times SV \times SF}{2 \times \gamma_b \times Z_i \times \tan \varphi} \geq 1m \quad 3.23$$

dengan:

$L_o$  = panjang overlapping (m)

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

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

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

$SV$  = jarak tulalangan arah vertikal (m)

### b. Panjang efektif

Panjang tulangan dibelakang bidang longsor ( $L_e$ ) pada ujung geotekstil dapat dihitung dengan persamaan 3.24 berikut.

$$L_e = \frac{SF \times SV \times K_a \times \gamma_b \times Z_i}{2 \times \gamma_b \times Z_i \times \tan \varphi} \geq 0,5m \quad 3.24$$

dengan:

$L_o$  = panjang overlapping (m)

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

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

$SV$  = jarak tulalangan arah vertikal (m)

$K_a$  = koefisien tanah aktif

### 3.4 Geotekstil

Geotekstil adalah kain permeabel bila digunakan didalam tanah akan memiliki kemampuan untuk memisahkan, menyaring, memperkuat, melindungi dan menguras. Geotextile terbuat dari benang plastik memungkinkan air bisa mengalir. Geotekstil memisahkan tanah mendasari permukaan. Hal ini memungkinkan tumpahan air terorganisir lalu bisa mencegah tanah di sekitarnya oleh longsor.

Geotekstil mempunyai dua jenis yaitu *woven* (teranyam) dan *non woven* (tidak teranyam). Teranyam (*woven*) di buat dari ‘interlaying’ pada benang-benang lewat system anyaman, sedangkan pada yang tidak teranyam (*non woven*) di buat dari beberapa system seperti : *heat bonded* (dengan panas), *needle punched* (dengan jarum), dan *chemical bonded* (menggunkan bahan kimia). Baik *woven* maupun *non woven* di buat dari benang dan serat polimer terutama dari *polypropelene*, *poliester*, *polyethylene* dan *polyamide*.

#### 3.4.1 Sifat-sifat Geotekstil

Kata kain (*fabric*) dan geotekstil (*geotextile*) dapat saling tertukar. Umumnya kain dari bahan *polymer* yang dipakai untuk aplikasi proyek pembangunan ini sering disebut geotekstil. Karena tipe geotekstil yang sangat banyak, maka aplikasi harus mempertimbangkan fungsi dari material ini terhadap macam struktur yang akan dirancang. Ada lima sifat *polymer* sebagai bahan dasar material geosintetik meliputi: sifat fisik, sifat mekanik, sifat hidrolis, dan sifat degradasi, gambaran geotekstil dapat dilihat pada Gambar 3.5 sebagai berikut.



**Gambar 3. 5 Geotekstil**

(Sumber : Google, 2018)

### 3.4.2 Geotekstil Teranyam (*Woven Geotextile*)

Geotekstil teranyam (*woven geotextile*) adalah lembaran geotekstil terbuat bahannya serat sintesis tenunan dengan menambahkan pelindung anti ultra violet yg mempunyai keahlian tarik yg cukup tinggi, yang berguna untuk mengatasi masalah perbaikan tanah terlebih yg terkait pada sisi teknik sipil dengan efisien dan efektif. Geotekstil ini tidak gampang koyak atau robek ketika dipasang di lapangan. Serta mempunyai susunan anyaman yang kekar (*double twist*) dari *Geotextile Woven* yang menanggung kemampuan desakan sampai 40 kN/m pada saat digunakan sebagai separator atau susunan pemisah. Karena bila material pemisah ini telah koyak pada saat pemasangan, maka manfaat dari separator akan terganggu.

Bahan baku utama material ini adalah *Polypropylene polymer* (PP) yang didukung oleh hasil test dan hasil uji di laboratorium. Untuk keunggulan dari geotekstil berjenis *woven* yaitu sebagai bahan stabilisasi tanah dasar (terlebih pada tanah lunak), karena geotekstil tipe ini memiliki *tensile strength* (kuat tarik) yang lebih tinggi dibanding dengan geotekstil *Non Woven*.

Fungsi dari material ini sendiri yaitu diaplikasikan sebagai material stabilisasi (*stabiliator*) untuk tanah dasar, khususnya pada tanah lunak. Selain itu dapat juga diaplikasikan pada jalur rel kereta api, kemudian untuk mengatasi atau menanggulangi masalah pembuatan jalan dan timbunan pada basic tanah lunak, tanah rawa. Adapun geotekstil teranyam (*woven*) dapat dilihat pada Gambar 3.6 sebagai berikut.



**Gambar 3. 6 Geotekstil Teranyam (*Woven Geotextile*)**

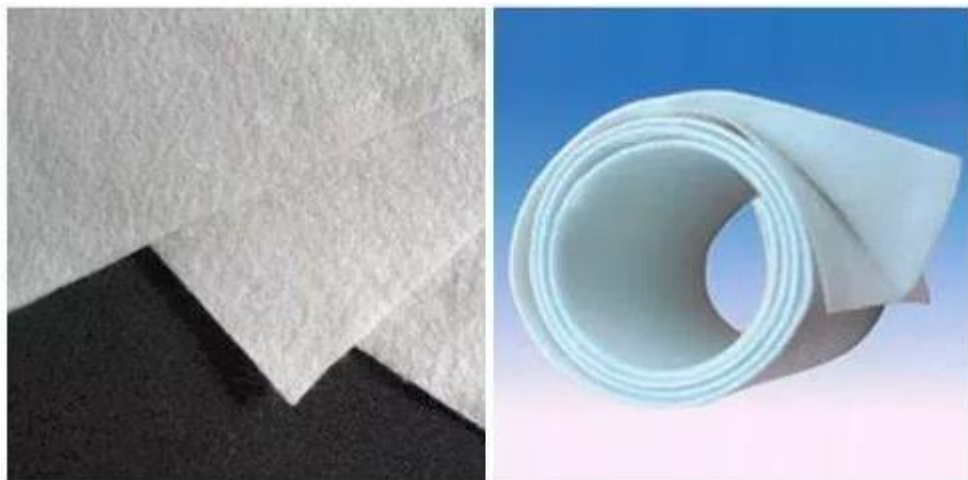
(Sumber : Google, 2018)

### 3.4.3 Geotekstil Tak Teranyam (*Non Woven Geotextile*)

Geotekstil tak teranyam (*geotextile Non Woven*) yaitu geotekstil yang terbuat berbahan *polypropylene* serta *polyester*. Bentuk dari geotekstil tak teranyam (*non*

*woven*) seperti karpet kain. Geotekstil tak teranyam didesain untuk memberi kemampuan yang maksimal per unit berat. Ketahanan mekanik serta hidrolis yang begitu baik jadikan geotekstil tak teranyam (*non woven*) ini sebagai pilihan yang sesuai untuk susunan pemisah serta penyaring, dikarenakan mempunyai kemampuan tidak mudah jebol (*puncture resistance*) yang tinggi untuk menjamin material tidak rusak ketika proses.

Geotekstil tak teranyam berupa seperti karpet kain. Umumnya bahan dasarnya terbuat berbahan *Polimer Polyesther (PET)* atau *Polypropylene (PP)*. untuk fungsi daripada geotekstil tak teranyam yaitu sebagai lapisan yang memproteksi geomembrane, sebagai pemisah atau separator yang berguna untuk mencegah tercampurnya material yang satu dengan yang lainnya, kemudian sebagai *filter* (penyaring) yang berguna untuk mencegah terbawanya partikel-partikel tanah pada aliran air karena sifat geotekstil tak teranyam yaitu tembus air (*permeable*) maka air dapat melewati geotekstil akan tetapi tanah akan tertahan biasanya digunakan pada pekerjaan *subdrain* (drainase bawah tanah), untuk gambar geotekstil *no woven* dapat dilihat pada Gambar 3.7 sebagai berikut.



**Gambar 3. 7 Geotekstil Tak Teranyam (*Geotextile Non-Woven*)**

(Sumber : Google, 2018)

### **3.5 PLAXIS**

#### **3.5.1 Pendahuluan**

*Plaxis* adalah salah satu program aplikasi komputer berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang digunakan secara khusus untuk menganalisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik, seperti daya dukung tanah. Kondisi sesungguhnya dapat dimodelkan dalam regangan

bidang (*plane-strain*) maupun secara *axisymmetric*. Program ini menerapkan model antarmuka grafis yang mudah digunakan sehingga pengguna dapat dengan cepat membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis. Program ini terdiri dari empat buah sub-program yaitu masukan, perhitungan, keluaran, dan kurva.

*Plane-strane* digunakan untuk menganalisis struktur yang memiliki potongan melintang dengan pembebanan dan kondisi tegangan yang seragam dan perpindahan/deformasi pada arah ini dianggap nol. Sedangkan *axisymmetric* digunakan untuk analisis struktur lingkaran (*circular structures*) yang memiliki potongan radial dan pembebanan seragam terhadap pusat, dengan deformasi dan tegangan yang dianggap sama pada arah radialnya.

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 didekati sedekat mungkin pada program, sehingga respon yang dihasilkan dari program dapat diasumsikan sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya terjadi di lapangan.

Untuk pemodelan pada program *Plaxis* yang digunakan untuk melakukan perhitungan deformasi selama melakukan analisis program mempunyai tiga tahapan yaitu tahap pertama melakukan input data, setelah melakukan penginputan data maka tahap kedua adalah *calculation* (perhitungan), kemudian tahap ketiga yaitu *output* (keluaran) hasil dari analisis program pada timbunan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada penjelasan dibawah ini.

#### 1. Input data

Dalam tahapan input data ini yang dilakukan adalah sebagai berikut ini.

- a. Memodelkan geometri tanah
- b. Memberikan kondisi batas (*boundary condition*) terhadap lapisan tanah gunakan *standard fixities*. Maksud dari *standard fixities* adalah sebagai berikut.

- 1 Batas kiri dan kanan bersifat *horizontally fixed*, artinya pada bagian ini lapisan tanah tidak mengalami *displacement* arah horizontal tetapi dalam arah vertikal saja.
  - 2 Batas bawah bersifat *horizontally fixed* dan *vertically fixed*, artinya pada bagian ini tanah tidak mengalami deformasi vertikal maupun horizontal
  - 3 Batas atas bersifat *free*, artinya pada bagian ini dapat mengalami deformasi vertikal maupun horizontal
- c. Membentuk mesh lapisan tanah dan timbunan (*mesh generation*). *Mesh generated* merupakan pembagian struktur menjadi elemen-elemen *cluster* dan titik-titik nodal elemen (*nodes*). Kegunaan *mesh* ini adalah untuk melakukan perhitungan dalam metode elemen hingga
  - d. Menentukan kondisi air tanah (*groundwater condition*).
  - e. Menentukan konfigurasi awal dari *mesh* (*intial mesh generation*), karena konstruksi timbunan merupakan beban yang dilakukan bertahap maka konfigurasi awal dari mesh perlu dispesifikasikan dahulu atau mesh untuk timbunan tidak diaktifkan dahulu
  - f. Menghitung tegangan-tegangan awal (*initial stress*). Tegangan efektif dan tekanan air pori pada kondisi awal dihitung dahulu
  - g. Menspesifikasikan titik yang ditinjau. Hal ini dilakukan untuk mengetahui besarnya deformasi dan tekanan air pori yang terjadi.

## 2. *Calculation*

Pada tahapan ini melakukan analisis sesuai dengan pemodelan pada tahapan input data, kemudian terdapat beberapa *type calculation* yang diberikan pada program *Plaxis* yaitu *type plastic*, *consolidation*, *phi/c reduction*, dan *dynamic anlysis*.

## 3. *Output*

Kemudian setelah selesai analisis pada tahap *calculation*, maka dapat dilihat pada tahap *output*. Dimana pada tahap ini adalah tahap hasil dari analisis yang ditampilkan dalam bentuk angka, gambar, dan kurva. Untuk hasil yang dikeluarkan serta yang akan ditinjau dalam analisis pada penelitian ini yaitu *total displacement*, potensi kelongsoran, *safety factor*, dan *total stresses*.