

## BAB III

### LANDASAN TEORI

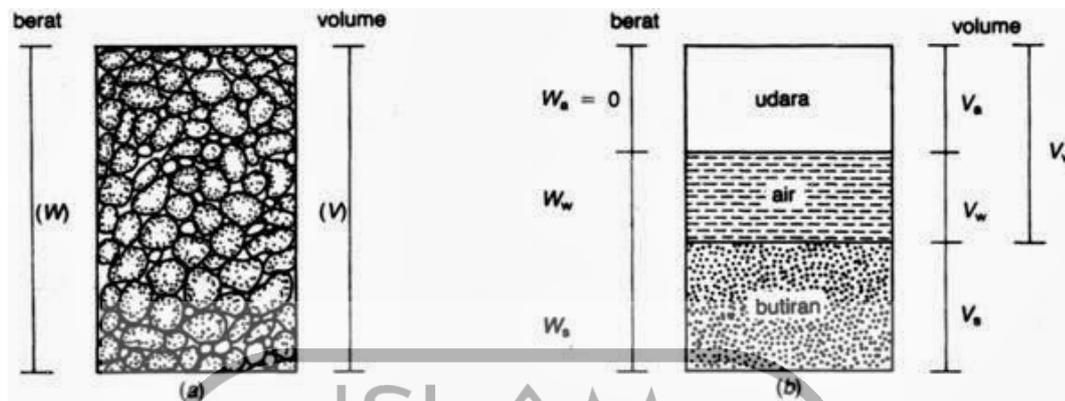
#### 3.1 Tanah

Tanah merupakan suatu himpunan mineral dari bahan organik (tumbuhan) atau anorganik (vulkanik) dan merupakan endapan-endapan yang relatif lepas, yang terletak diatas batuan dasar. (Hardiyatmo,2002).

Proses pembentukan tanah berasal dari batuan induk yang mengalami proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik terjadi akibat beberapa hal seperti, pengikisan akibat erosi, angin, air, manusia ataupun akibat perubahan suhu atau cuaca, membuat batuan berubah menjadi partikel-partikel yang memiliki ukuran lebih kecil. Partikel-partikel tersebut dapat berbentuk bulat, runcing atau berbagai macam bentuk lainnya. Sedangkan proses pelapukan secara kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida ataupun proses kimia lainnya. Apabila hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, maka tanah ini disebut tanah residual dan apabila tanah mengalami perpindahan tempat disebut tanah terangkut.

##### 3.1.1 Propertis Tanah

Pada dasarnya segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian, yaitu butiran tanah, air dan udara. Tanah dalam keadaan kering hanya terdapat dua bagian tanah, yaitu butiran tanah dan pori-pori udara. Pada tanah dalam keadaan jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu butiran tanah dan air pori. Sedangkan dalam keadaan tidak jenuh tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu butiran tanah, pori-pori udara, dan air pori. Hubungan antara bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



**Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah**

(sumber : Hardiyatmo, 2002)

Gambar 3.1a memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume  $V$  dan berat total  $W$ , sedangkan Gambar 3.1b memperlihatkan hubungan berat dengan volumenya. Dari gambar tersebut didapatkan persamaan – persamaan yang dinyatakan dalam Persamaan 3.1 – 3.3.

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

dan

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

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

Dengan :

$W$  = berat total

$W_s$  = berat butiran padat

$W_w$  = berat air

$V$  = volume total

$V_s$  = volume butiran padat

$V_w$  = volume air

$V_a$  = volume udara

$V_v$  = volume rongga

1. Berat Volume Basah ( $\gamma_b$ )

Berat tanah basah dalam satu satuan volume tanah atau perbandingan antara berat tanah basah ( $W$ ) dengan volume tanah ( $V$ ) dan dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.4.

$$\gamma_b = \frac{W}{V} = \frac{G_s \gamma_w (1+w)}{1+e} \quad (3.4)$$

2. Berat Volume Kering ( $\gamma_d$ )

Berat tanah kering dalam satu satuan volume tanah atau perbandingan antara berat tanah kering ( $W_s$ ) dengan volume tanah ( $V$ ) dan dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.5.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} \quad (3.5)$$

3. Berat Volume Butiran Padat ( $\gamma_s$ )

Berat tanah butiran tanah kering dalam satu satuan volume butiran tanah atau perbandingan antara berat butiran padat ( $W_s$ ) dengan volume butiran padat ( $V_s$ ) dan dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.6.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (3.6)$$

## 4. Berat volume tanah dalam keadaan jenuh air (S=1)

Berat volume tanah dalam keadaan jenuh air dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.7

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w(G_s + e)}{1 + e} \quad (3.7)$$

5. Bila tanah terendam air, maka berat volume efektif dinyatakan dengan  $\gamma'$ 

Berat volume efektif dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.8

$$\gamma' = \frac{G}{(G_s - 1)\gamma_w} \frac{1}{1 + e} = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (3.8)$$

## 6. Derajat Kejenuhan (S)

Perbandingan antara volume air ( $V_w$ ) dengan volume rongga ( $V_s$ ) dan dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.9.

$$S = \frac{V_w}{V_s} \quad (3.9)$$

Besaran nilai derajat kejenuhan berdasarkan keadaan tanah dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Derajat Kejenuhan

No	Keadaan Tanah	Derajat Kejenuhan (S)
1	Tanah kering	0
2	Tanah agak lembab	> 0 – 0,25
3	Tanah lembab	0,26 – 0,50
4	Tanah sangat lembab	0,51 – 0,75
5	Tanah basah	0,76 – 0,99
6	Tanah jenuh air	1

(sumber : Hardiyatmo, 2012)

7. Berat Jenis ( $G_s$ )

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat volume butiran padat ( $\gamma_s$ ) dengan berat volume air ( $\gamma_w$ ) dalam volume yang sama pada suhu 4°C dan dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.10.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (3.10)$$

Besaran nilai berat jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Berat Jenis Tanah**

No	Jenis Tanah	Berat Jenis $G_s$
1	Kerikil	2,65 – 2,68
2	Pasir	2,65 – 2,68

**Lanjutan Tabel 3.2 Berat Jenis Tanah**

No	Jenis Tanah	Berat Jenis $G_s$
3	Lanau tak organik	2,62 – 2,68
4	Lempung organik	2,58 – 2,65
5	Lempung tak organik	2,68 – 2,75
6	Humus	1,37
7	Gambut	1,25 – 1,80

(sumber : Hardiyatmo,2012)

8. Hubungan antara derajat kejenuhan, angka pori, kadar air dan berat jenis  
 Hubungan antara derajat kejenuhan, angka pori, kadar air dan berat jenis dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.11.

$$S_e = w G_s \quad (3.11)$$

Korelasi untuk menentukan berat jenis tanah ( $\gamma$ ) dan berat jenis tanah jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) dapat dilihat pada Tabel 3.3

**Tabel 3.3 Nilai Berat Volume Tanah**

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

(sumber : John Wiley & Sons,2000)

## 9. Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan terjadinya aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir melewati rongga pori. Pori – pori pada tanah saling terhubung, sehingga air dapat mengalir dari tekanan tinggi menuju tekanan yang lebih rendah. Pada tanah, permeabilitas artikan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga rongga pori tanah. Menurut Das (1983) pada buku Mekanika Tanah 1 Edisi Ke Enam untuk kisaran nilai permeabilitas pada jenis – jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

**Tabel 3.4 Kisaran Nilai Permeabilitas Tanah**

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

(sumber : Hardiyatmo, 2012)

## 10. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan nilai yang menunjukkan besarnya angka elastisitas tanah dari perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Perkiraan nilai ini dapat ditentukan dari jenis tanah seperti pada Tabel 3.5.

**Tabel 3.5 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah**

No	Jenis Tanah	E (kN/m <sup>2</sup> )
1	Lempung :	
	Sangat lunak	300 - 3000
	Lunak	2000 - 4000
	Sedang	4500 - 9000
	Keras	7000 - 20000
2	Berpasir	30000 - 42500
	Pasir :	
	Berlanau	5000 - 20000
	Tidak padat	10000 - 25000

	Padat	50000 – 100000
3	Pasir dan kerikil : Padat Tidak padat	80000 - 200000 50000 – 140000
4	Lanau	2000 – 20000
5	Loses	15000 – 60000
6	Cadas	140000 - 1400000

(Sumber : Bowles,1977)



### 11. *Poisson Ratio*

Nilai *poisson ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai ini dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti pada Tabel 3.6.

**Tabel 3.6 Hubungan Jenis Tanah dan *Poisson Ratio***

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

(Sumber : Hardiyatmo,2003 )

#### 3.1.2 Klasifikasi Tanah

Pada umumnya klasifikasi tanah bertujuan untuk membagi tanah menjadi beberapa golongan tanah. Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sederhana unntuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasi tanah. Pada umumnya klasifikasi tanah diperoleh dari analisis saringan atau uji sedimentasi dan plastisitas.

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *Unified Soil Classification System* dan AASHTO (*American Association Of State Highway Transportation Officials*). Sistem – sistem ini menggunakan indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas.

##### 1. Sistem Klasifikasi USCS

Dalam sistem klasifikasi USCS tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama, yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus. Tanah berbutir kasar yaitu tanah yang kurang dari 50% lolos saringan nomer 200 seperti tanah jenis kerikil dan pasir. Simbol – simbol yang digunakan pada tanah berbutir kasar adalah G dan S. Untuk tanah jenis kerikil bersimbol G dan

tanah jenis pasir memiliki simbol. Sedangkan pada tanah berbutir halus, yaitu tanah yang lebih dari 50% lolos saringan nomer 200 seperti tanah jenis lempung (C), lanau (M), lanau atau berlempung organik (O) dan tanah gambut dan tanah organik tinggi (Pt). Selain itu, juga terdapat simbol – simbol yang digunakan dalam klasifikasi sistem USCS ini seperti pada gradasi tanah. Gradasi baik disimbolkan dengan W dan gradasi buruk disimbolkan dengan P. Sedangkan simbol untuk plastisitas disimbolkan H untuk plastisitas tinggi dan L untuk plastisitas rendah. Selanjutnya tanah dikelompokkan dalam sejumlah kelompok dan sub-kelompok yang dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.

Divisi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama Jenis	
Tanah berbutir kasar 50% butiran tertahan saringan no. 200 (0.075 mm)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ , $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_i < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $P_i > 7$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ , $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_i < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $P_i > 7$	
	GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus		
	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lempung		
	GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
	Pasir lebih dari 50% lolos saringan no. 4 (4.75 mm)	SW		Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		SP		Pasir gradasi buruk, pasir kerikil sedikit atau tidak mengandung butiran halus
SM		Pasir berlanau, campuran pasir-lanau		
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0.075 mm)	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	Klasifikasi berdasarkan probabilitas butiran halus, kurang dari 5% lolos saringan no. 200 (0.075 mm), SW SP, Lebih dari 12% lolos saringan no. 200 (0.075 mm), GC SM, SC, 5% - 12% lolos saringan no. 200 (0.075 mm). Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel. Diagram plastisitas: Untuk mengidentifikasi kadar butiran halus yang berlebihan dalam tanah berbutir kasar dan tanah berbutir kasar, batas Atterberg yang terpasang dalam daerah yang garis batas batasan klasifikasi menggunakan dua simbol. Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D 2483	
	CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clay")		
	OL	Lanau organik dan lempung berbutir organik dengan plastisitas rendah		
Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatom, lanau elastis		
	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clay")		
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi		
Tanah dengan kadar organik tinggi	Pt	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi		

Gambar 3.2 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

(sumber : Hardiyatmo, 2012)

2. Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 7 kelompok, A-1 sampai A-7 termasuk sub - sub kelompok. Tanah – tanah dalam setiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan menggunakan rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah pengujian analisis saringan dan batas – batas Atterberg. Tanah granuler di klasifikasikan

ke dalam A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah granuler bergradasi baik. Sedangkan A-3 adalah pasor bersih bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah granuler (kurang dari 35% lolos saringan no. 200), tetapi masih mengandung lanau dan lempung. Sedangkan tanah berbutir halus di klasifikasikan ke dalam A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung – lanau. Beda antar keduanya didasarkan pada batas – batas Atterberg. Secara detailnya sistem klasifikasi AASHTO dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.

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

Catatan : Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PI).  
Untuk  $PI > 30$ , klasifikasinya A-7-5;  
untuk  $PI < 30$ , klasifikasinya A-7-6.  
np = nonplastis

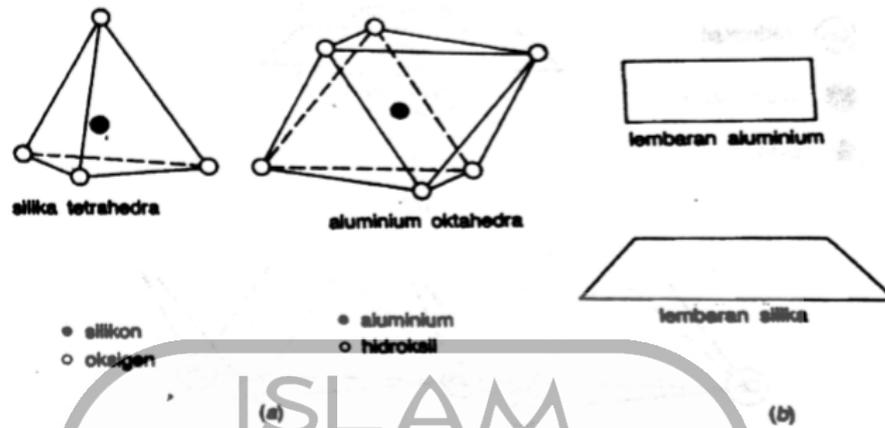
**Gambar 3.3 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO**

(sumber : Hardiyatmo, 2012)

### 2.1.5 Mineral Lempung

#### 1 Susunan Tanah Lempung

Mineral lempung merupakan partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm. Susunan kebanyakan tanah lempung terdiri dari silika tetrahedra dan aluminium oktahedra. Silika dan aluminium secara parsial dapat digantikan oleh elemen yang lain dalam kesatuannya, keadaan ini dikenal sebagai substitusi isomorf. Kombinasi dari susunan kesatuan dalam bentuk susunan lempeng disajikan dalam bentuk simbol yaitu lembaran aluminium atau lembaran silika (Hardiyatmo, 2002). Mineral-mineral lempung dapat dilihat pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4 Mineral-mineral Lempung**  
(sumber : Hardiyatmo, 2002)

## 2 Sifat Umum Mineral Lempung

Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung (Hardiyatmo, 2006) adalah sebagai berikut:

- a. Kuat geser rendah
- b. Bila basah bersifat plastis dan mudah mampat atau turun
- c. Menyusut bila kering dan mengembang bila basah
- d. Berkurang kuat gesernya, bila kadar air bertambah
- e. Berkurang kuat gesernya bila struktur tanahnya terganggu
- f. Berkurang volumenya dengan bertambahnya waktu akibat rangkakan (*creep*) pada beban yang konstan
- g. Merupakan material kedap air
- h. Material yang jelek untuk tanah urug, karena menghasilkan tekanan lateral yang tinggi.

### 3.1.4 Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Oleh karena itu, jika tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh :

### 1. Kohesi

Kohesi adalah gaya tarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Nilai ini didapat dari pengujian *triaxial test* dan *direct shear test*. Selain itu, kisaran nilai kohesi dapat ditentukan berdasarkan nilai  $q_c$  pada uji sondir seperti pada Tabel 3.7 Berikut

**Tabel 3.7 Hubungan Konsistensi Tanah Terhadap Tekanan Konus dan Kohesi**

No	Konsentrasi Tanah	Tekanan Konus $q_c$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	Kohesi
1	<i>Very Soft</i>	<2,50	<1,25
2	<i>Soft</i>	2,5 – 5,0	1,25 – 2,50
3	<i>Medium Stiff</i>	5,0 – 10,0	2,50 – 5,0
4	<i>Stiff</i>	10,0 – 20,0	5,0 – 10,0
5	<i>Very Stiff</i>	20,0 – 40,0	10,0 – 20,0
6	<i>Hard</i>	>40,0	>20,0

(sumber : Bowles, 1996)

### 2. Sudut Geser Dalam

Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapat dari pengujian *triaxial test* dan *direct shear test*. Selain itu, kisaran nilai sudut geser dalam dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti pada Tabel 3.8

**Tabel 3.8 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah**

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

Sumber: Das (1994)

## 3.2 Penyelidikan Tanah di Lapangan

Penyelidikan tanah merupakan langkah paling awal dalam suatu kegiatan proyek konstruksi yang berkaitan dengan perencanaan suatu bangunan struktur bawah. Kegiatan ini diharapkan mampu memberikan informasi tentang kondisi tanah dan data tentang sifat-sifat tanah yang digunakan untuk perencanaan pekerjaan struktur bawah. Penyelidikan tanah perlu dilakukan untuk mengidentifikasi dan mengetahui kondisi di bawah permukaan tanah seperti :

1. Lapisan tanah dan batuan secara vertikal dan horizontal
2. Letak muka air tanah
3. Tingkat kepadatan tanah
4. Jenis dan parameter tanah

Tuntutan dalam penyelidikan tanah tergantung berdasarkan beban bangunan, tingkat keamanan, kondisi lapis tanah dan besarnya biaya yang dibutuhkan untuk melakukan penyelidikan. Oleh karena itu, untuk bangunan-bangunan ringan dan tidak memiliki beban berat terkadang tidak memerlukan penyelidikan tanah terlebih dahulu dan hanya berdasarkan pengalaman setempat.

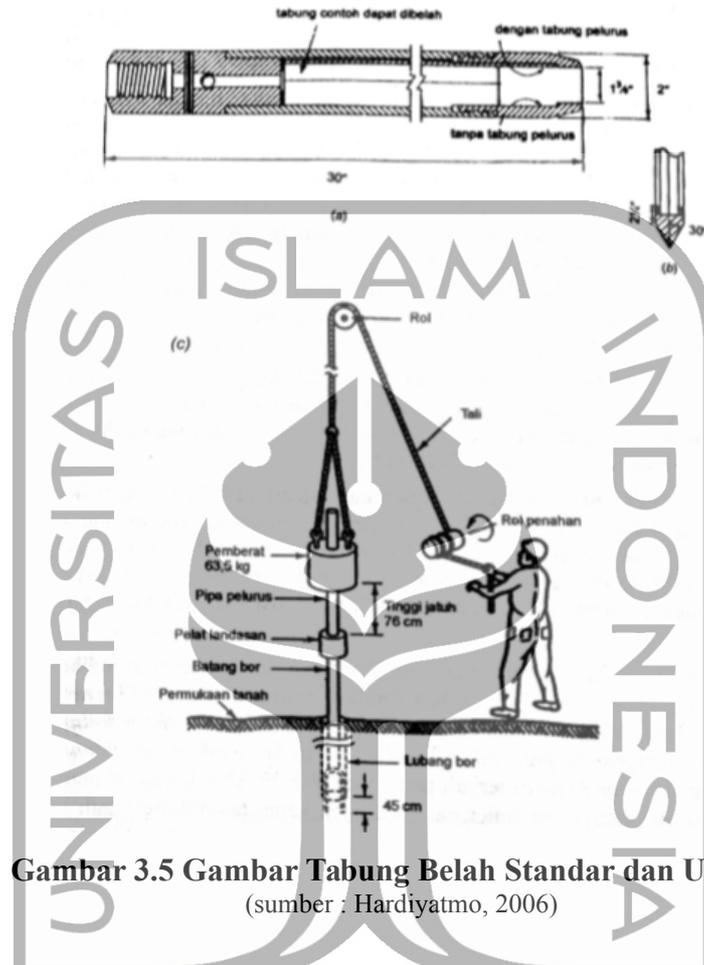
Jenis-jenis tanah tertentu sangat mudah sekali terganggu oleh pengaruh pengambilan sampel tanah. Untuk menanggulangi hal tersebut, sering dilakukan beberapa pengujian dilapangan secara langsung. Pengujian-pengujian tersebut antara lain.

1. Uji Penetrasi Standar (SPT)

Pada pengujian ini, sifat-sifat tanah ditentukan dari pengukuran kerapatan relatif secara langsung di lapangan. Uji ini merupakan pengujian yang sering digunakan untuk mengetahui nilai kerapatan relatif. Pengujian ini pada umumnya dilakukan karna sulit mendapatkan sampel tanah tak terganggu pada tanah granuler.

Pada saat melakukan pengeboran, jika kedalaman pengeboran telah mencapai lapisan tanah yang akan di uji maka mata bor dilepas dan diganti dengan tabung belah stadar (*standard split barrel sampler*) yang dapat dilihat pada Gambar 3.5a. setelah tabung terpasang dan bersama pipa bor, alat diturunkan sampai ujung lapisan tanah dasar dan kemudian dipukul dari atas.

Beban pukulan memiliki berat 63,5 kg dan dengan jarak pukulan 76,2 cm yang dapat dilihat pada Gambar 3.5b.



**Gambar 3.5 Gambar Tabung Belah Standar dan Uji SPT**  
(sumber : Hardiyatmo, 2006)

Nilai SPT diperoleh dengan melakukan beberapa tahap. Pertama, tabung standar dipukul hingga kedalaman 15 cm. Kemudian dilanjutkan dengan pemukulan tahap kedua sedalam 30,48 cm. Jumlah pukulan tahap kedua ini, yaitu jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi tabung belah standar sedalam 30,48 cm dan didefinisikan sebagai nilai N. Pengujian yang lebih baik dilakukan dengan menghitung pukulan pada tiap-tiap penembusan sedalam 7,62 cm atau setiap 15 cm. Dengan cara ini, kedalaman sembarang jenis tanah di dasar lubang bor dapat ditaksir, dan elevasi dimana terjadi gangguan dalam menembus lapisan yang keras seperti batu dapat dicatat.

Menurut terzaghi dan Peck (1948), Hubungan nilai N dengan kerapatan relaiif (Dr) dapat dilihat pada Tabel 3.9.

**Tabel 3.9 Hubungan Nilai N dengan Kerapatan Relatif (Dr)**

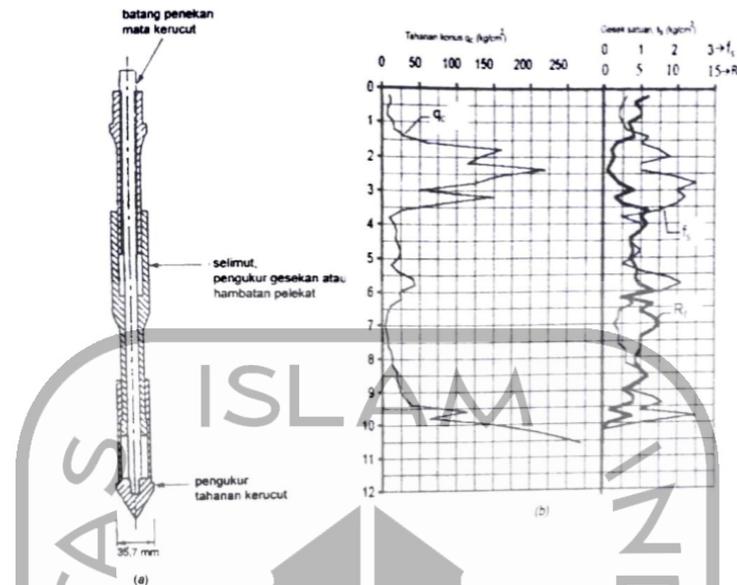
No	Nilai N	Kerapatan Relatif (Dr)
1	<4	Sangat tidak padat
2	4-10	Tidak padat
3	10-30	Kepadatan sedang
4	30-50	Padat
5	>50	Sangat Padat

(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

## 2. Uji Penetrasi Kerucut Statis

Uji penetrasi kerucut statis atau uji sondir berguna untuk memperoleh nilai variasi kepadatan tanah yang tidak padat. Pada tanah yang padat dan tanah-tanah berkerikil dan berbatu, penggunaan alat sondir menjadi tidak efektif karena mengalami kesulitan dalam menembus tanah. Alat ini terdiri dari kerucut baja yang mempunyai sudut kemiringan  $60^\circ$  dan berdiameter 35,7 mm atau memiliki luas tampang  $1000 \text{ mm}^2$ . Alat sondir dibuat sedemikian rupa sehingga dapat mengukur tahanan ujung dan tahanan gesek dari selimut silinder mata sondirnya.

Cara penggunaan alat ini adalah dengan menekan pipa penekan dan mata sondir secara terpisah, melalui alat penekan mekanis atau dengan tangan dengan kecepatan 10 mm/detik. Pembacaan tahanan kerucut atau tahanan konus dilakukan dengan melihat arloji pengukur. Nilai qc merupakan besarnya tahanan kerucut dibagi dengan luas penampang. Pembacaan dilakukan setiap penetrasi 20 cm. Tahanan ujung serta tahanan gesek selimut alat sondir dicatat. Dari data tersebut diperoleh grafik tahanan kerucut statis atau tahanan konus yang menyajikan nilai keduanya. Uji kerucut statis dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.

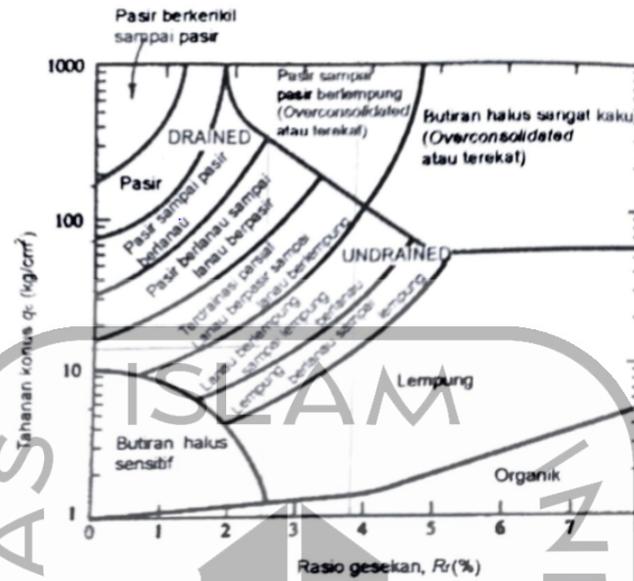


**Gambar 3.6 Uji Kerucut Statis**  
sumber : Hardiyatmo (2006)

Karena uji sondir tidak mengeluarkan tanah pada saat pengujian, maka jenis tanah tidak dapat diketahui dengan pasti. Maka dari itu, Robertson dan Campanella (1983) mengusulkan hubungan tahanan konus ( $q_c$ ) dengan rasio gesekan ( $R_f$ ), untuk mengklasifikasikan tanah secara pendekatan. Rasio gesekan ( $R_f$ ) merupakan perbandingan antara gesekan selimut lokal,  $f_s$  (gaya gesek yang bekerja pada selimut konus dibagi dengan luas selimut) dengan tahanan konus  $q_c$  atau rasio gesekan yang dinyatakan dalam Persamaan 3.12 berikut ini.

$$R_f = \frac{f_s}{q_c} \times 100\% \quad (3.12)$$

Gambar grafik Klasifikasi tanah berdasarkan hasil uji kerucut statis (sondir) dapat dilihat pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7 Klasifikasi Tanah Didasarkan pada Hasil Uji Kerucut Statis (sondir)**

(sumber : Hardiyatmo, 2006)

Hasil nilai konus resistance ( $q_c$ ) dari data sondir dan  $N_{spt}$  dari boring dapat dikorelasikan terhadap konsistensi lapisan tanah lempung seperti ditunjukkan pada Tabel 3.10. Sedangkan hubungan antara kepadatan dengan relative density, nilai  $N_{SPT}$ ,  $q_c$  dan  $\phi$  adalah sebanding. Hal ini dapat dilihat dalam pada Tabel 3.10.

**Tabel 3.10 Hubungan Konsistensi Tanah Lempung dengan data  $q_c$  dan  $N_{spt}$**

No	Konsistensi	Conus Resistance $Q_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$N_{spt}$ (blow/30cm)	$C_u$ (t/m <sup>2</sup> )
1	<i>Very soft</i>	< 3	< 2	< 1,25
2	<i>Soft</i>	3 - 8	2 - 4	1,2 - 2,5
3	<i>Medium Stiff</i>	8 - 20	4 - 8	2,5 - 5
4	<i>Stiff</i>	20 - 40	8 - 15	5 - 10
5	<i>Very Stiff</i>	40 - 80	15 - 30	10 - 20
6	<i>Hard</i>	> 80	> 30	> 20

(Sumber : Begemann,1965 dan Schmertmann,1969)

**Tabel 3.11 Hubungan antara kepadatan, relative density, nilai N SPT, qc dan  $\phi$**

No	Kepadatan	Relative Density ( $\rho_d$ )	Nilai N SPT	Sudut Geser ( $\phi$ )	Tekanan Konus qc (kg/cm <sup>2</sup> )
1	<i>Very Loose</i> (sangat lepas)	< 0,2	< 4	< 30	< 20
2	<i>Loose</i> (lepas)	0,2 -0,4	4 -10	30 -35	20 - 40
3	<i>Medium Dense</i> (agak kompak)	0,4 – 0,6	10 - 30	35 - 40	40 – 120
4	<i>Dense</i> (kompak)	0,6 -0,8	30 - 50	40 -45	120 – 200
5	<i>Very Dense</i> (sangat kompak)	0,8 – 1	> 50	> 45	> 200

(Sumber : Mayerhof, 1965 dalam Bowles 1996)

### 3.3 Stabilitas Lereng

#### 3.3.1 Umum

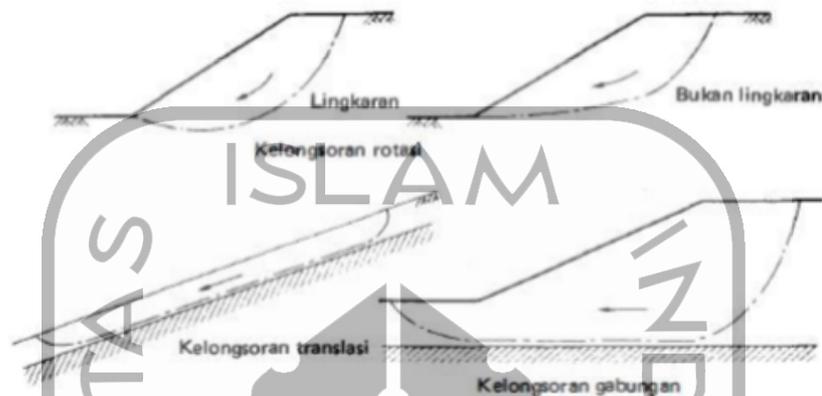
Pada permukaan tanah yang tidak horisontal, pergerakan gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika pergerakan gravitasi melampaui perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Sebab terjadinya kelongsoran lereng adalah karena tidak tersedianya kuat geser tanah yang cukup untuk menahan gerakan tanah longsor kebawah, pada bidang longsornya. Namun, kelongsoran lereng dapat juga terjadi dari hal-hal berikut.

1. penambahan beban pada lereng
2. penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng
3. penggalian yang mempertajam kemiringan lereng
4. perubahan posisi muka air secara cepat
5. kenaikan tekanan lateral oleh air (air yang mengisi retakan akan mendorong tanah), dan
6. gempa bumi

Pada dasarnya, bentuk-bentuk atau pola keruntuhan lereng didasarkan pada jenis tanah yang terdapat pada lereng tersebut. Pengamatan longsor lereng yang dilakukan oleh Collin (1846) menunjukkan bahwa kebanyakan kelongsoran lereng terjadi dengan bentuk bidang longsor berupa lengkungan atau rotasi. Keruntuhan pada tanah kohesif sering terjadi karena bertambahnya kadar air. Namun, terdapat

juga bentuk atau pola keruntuhan translasi. Keruntuhan pada jenis ini biasanya terjadi pada tanah dasar keras.

Jenis pola keruntuhan dapat dilihat pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8 Pola Keruntuhan**  
(sumber : Craig, 1989)

Pada suatu lereng, kemungkinan untuk terjadi longsor itu ada. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu pemeriksaan terhadap lereng tersebut, apakah longsor atau tidak. Analisis stabilitas lereng merupakan upaya yang dilakukan untuk mengecek keamanan dari lereng alam, lereng galian, ataupun lereng timbunan tanah. Dalam melakukan analisis tersebut tidaklah mudah, karena banyak faktor yang bisa mempengaruhi hasil hitungan, seperti pada jenis tanah tertentu nilai kuat geser dapat berubah-ubah tergantung iklim, terdapat aliran rembesan air dalam tanah dan lain sebagainya.

Berdasarkan Hardiyatmo (2014) faktor keamanan didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, yang dinyatakan dengan Persamaan 3.13 berikut ini.

$$F = \frac{\tau}{\tau d} \quad (3.13)$$

Keterangan =

$\tau$  = tahanan geser yang dapat dikerahkan tanah (kN/m<sup>2</sup>).

$\tau d$  = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor

(kN/m<sup>2</sup>), dan

F = faktor aman.

Menurut teori Mohr-Coulomb dalam Hardiyatmo (2014), tahanan terhadap tegangan geser ( $\tau$ ) yang dapat dikerahkan oleh tanah, di sepanjang bidang selongsornya, dinyatakan dalam Persamaan 3.14.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (3.14)$$

Keterangan =

- $\tau$  = tegangan geser (kN/m<sup>2</sup>).
- c = kohesi (kN/m<sup>2</sup>)
- $\varphi$  = sudut gesek dalam tanah (°)
- $\sigma$  = tegangan normal (kN/m<sup>2</sup>).

Hubungan beberapa variasi nilai faktor keamanan terhadap kemungkinan selongsor lereng maupun pada perancangan lereng menurut Bowles (1989) dapat dilihat pada Tabel 3.12 Berikut.

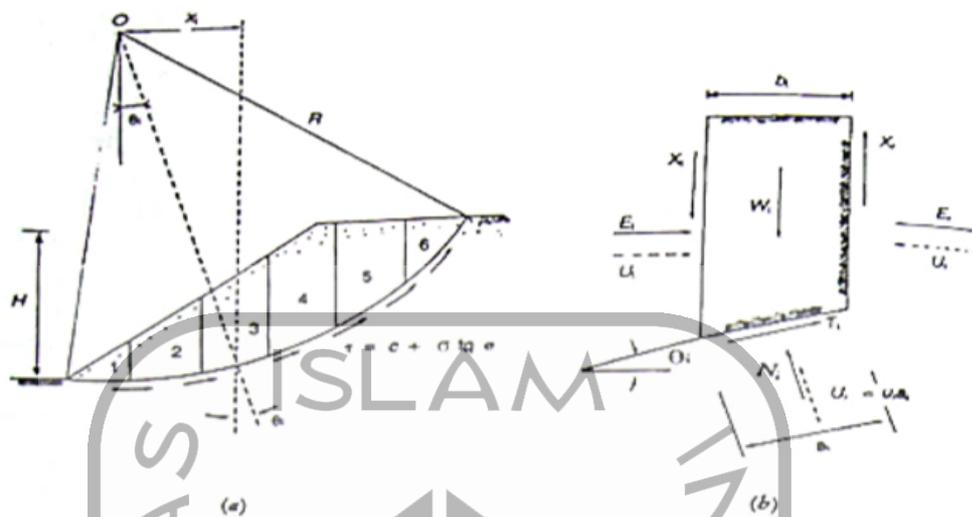
**Tabel 3.12 Hubungan Nilai *Safety Factor* dan Kemungkinan Kelongsoran Lereng**

No	Nilai <i>Safety Factor</i>	Kemungkinan Longsor
1	< 1,07	Kelongsoran bisa terjadi
2	1,07 < SF < 1,25	Kelongsoran pernah terjadi
3	> 1,25	Kelongsoran jarang terjadi

(sumber: Bowles, 1989)

### 3.3.2 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Fellenius

Menurut Whitman dan Baily (1967) dalam buku Mekanika Tanah II (Hardiyatmo, ) mengatakan bahwa metode Fellenius dalam menganalisis akan menghasilkan nilai faktor aman yang lebih rendah dari cara hitungan yang lebih teliti. Walaupun analisis ditinjau dalam tinjauan tegangan total, kesalahan masih merupakan fungsi dari faktor aman dan sudut pusat dari lingkaran. Dalam perhitungannya, massa tanah yang selongsor dipecah – pecah menjadi beberapa irisan vertikal. Gaya yang bekerja pada irisan dapat dilihat pada Gambar 3.9.



**Gambar 3.9 Gaya Yang Bekerja Pada Irisan**

(sumber : Hardiyatmo, 2014)

Dalam perhitungan analisis stabilitas lereng menggunakan metode fellinius menganggap bahwa gaya – gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Faktor aman pada metode ini dinyatakan dalam Persamaan 3.15 berikut.

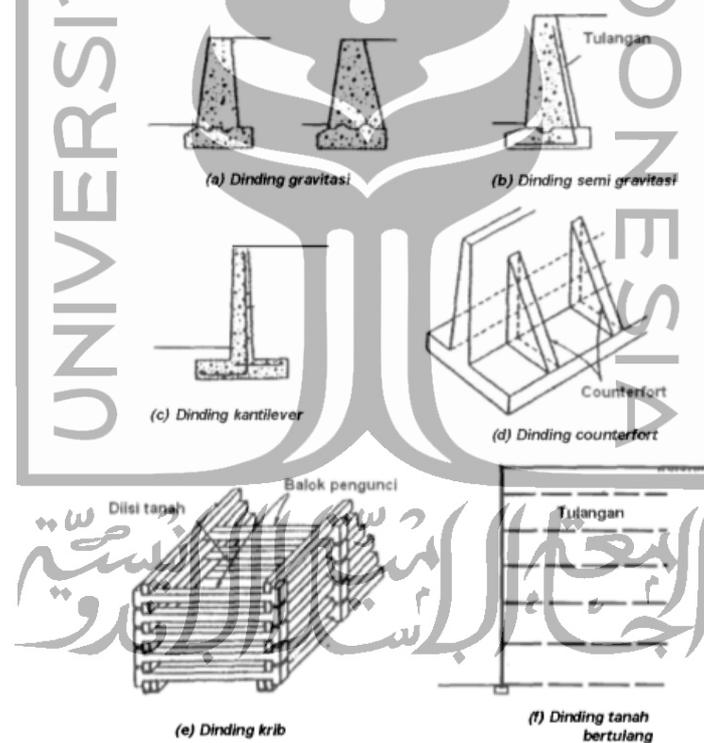
$$\begin{aligned}
 F &= \frac{\text{Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}} \\
 &= \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c a_i + (W_i \cos \theta - u_i a_i) \operatorname{tg} \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i x \sin \theta_i} \quad (3.15)
 \end{aligned}$$

Dengan :

- |                |   |                      |
|----------------|---|----------------------|
| F              | = Faktor aman                                 |                      |
| C              | = kohesi tanah                                | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| φ              | = sudut gesek dalam tanah                     | (°)                  |
| a <sub>i</sub> | = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-i | (m)                  |
| W <sub>i</sub> | = berat irisan tanah ke-i                     | (kN)                 |
| u <sub>i</sub> | = tekanan air pori pada irisan ke-i           | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| θ <sub>i</sub> | = sudut pada irisan ke-i                      | (°)                  |

### 3.4 Perkuatan Tanah Menggunakan Dinding Penahan Tanah.

Dinding penahan tanah merupakan jenis perkuatan yang digunakan untuk menjaga permukaan yang vertikal atau permukaan lereng yang curam sehingga tanah dapat stabil dalam jangka waktu yang panjang. Dalam perencanaannya, dinding penahan tanah ini melibatkan perhitungan beban-beban yang bekerja. Beban – beban yang bekerja disebabkan oleh berat sendiri dinding, berat dari tanah diatas pelat dinding penahan tanah dan kemungkinan adanya beban dari luar yang bekerja pada dinding maupun pada tanah diatas dinding. Dalam perancangannya, terdapat tipe – tipe dinding penahan tanah yang dapat dipilih sesuai kebutuhan yang dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut.

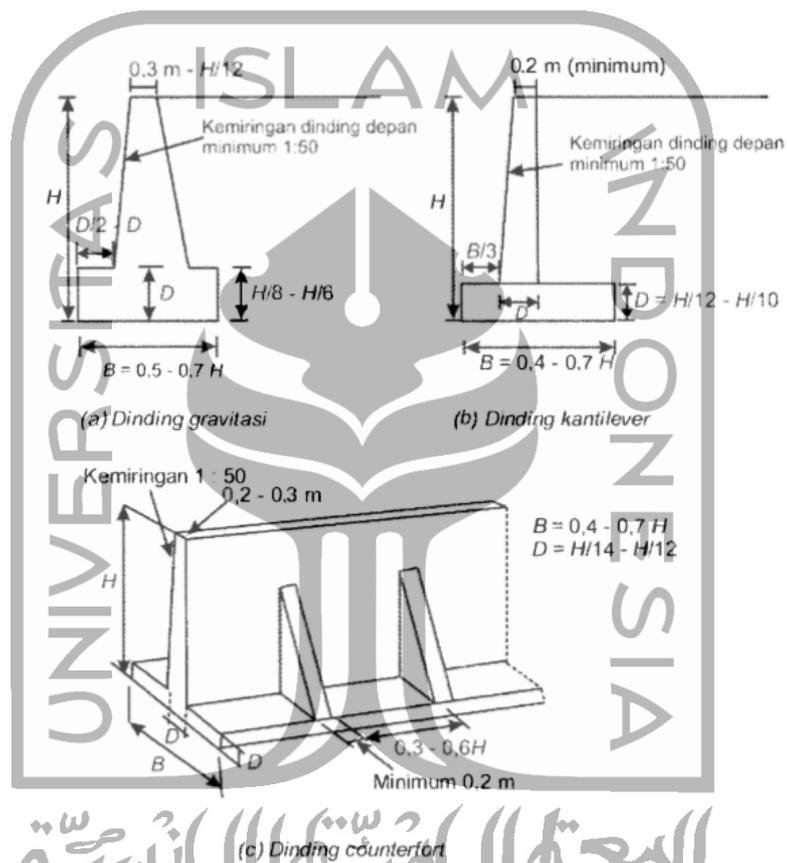


**Gambar 3.10 Tipe – Tipe Dinding Penahan Tanah.**

(Sumber : Hardiyatmo, 2011)

### 3.4.1 Perencanaan Dimensi Dinding Penahan Tanah

Pada dasarnya, perencanaan dimensi dinding penahan tanah dilakukan dengan cara coba – coba. Dari percobaan tersebut, nantinya didapat dimensi yang cocok dan memenuhi syarat kestabilan. Estimasi perencanaan dimensi dinding penahan tanah dapat dilihat pada Gambar 3.11. Estimasi tersebut, digunakan sebagai petunjuk awal dalam perencanaan dimensi.



**Gambar 3.11** Estimasi Awal Perencanaan Dimensi Dinding Penahan Tanah

(Sumber : Hardiyatmo, 2011)

### 3.4.2 Koefisien Tekanan Tanah Lateral

Dalam merencanakan bangunan penahan tanah, tentu nilai tekanan tanah lateral diperlukan untuk mengetahui tekanan – tekanan yang bekerja. Namun sebelum mengetahui tekanan tanah lateral, terlebih dahulu mengetahui koefisien tekanan tanah lateral tersebut. Sama halnya dengan tekanan tanah lateral, koefisien tekanan tanah lateral juga terdapat koefisien tekanan tanah aktif dan pasif.



### 1. Permukaan Tanah Horizontal

Bila permukaan tanah horizontal, koefisien tekanan tanah aktif (*coefficient of active earth pressure*) atau  $K_a$  menurut Rankine dinyatakan dalam Persamaan 3.16. Sedangkan koefisien tekanan tanah pasif (*coefficient of passive pressure*) atau  $K_p$  menurut Rankine dinyatakan dalam Persamaan 3.17.

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3.16)$$

$$K_p = \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3.17)$$

### 2. Permukaan Tanah Miring

Tekanan tanah pada permukaan miring dapat ditentukan dengan pertolongan lingkaran Mohr atau dengan memperhatikan keseimbangan tanah yang akan longsor. Koefisien tekanan tanah aktif pada permukaan miring dinyatakan dalam Persamaan 3.18. Sedangkan koefisien tekanan tanah pasif dinyatakan dalam Persamaan 3.19.

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}} \quad (3.18)$$

$$K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}} \quad (3.19)$$

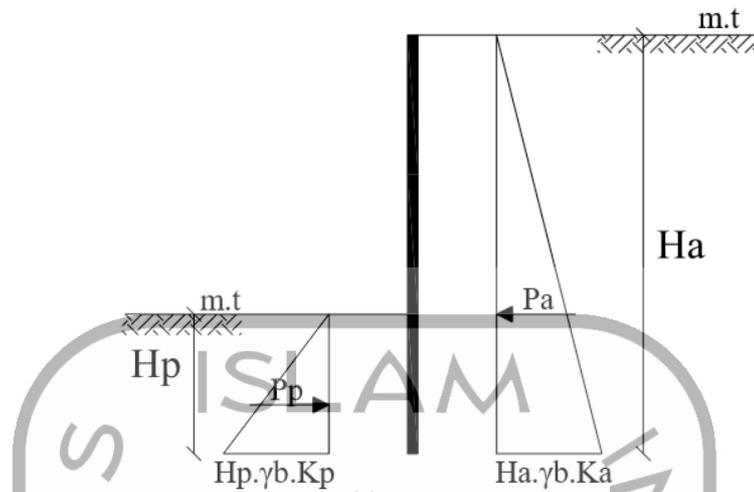
### 3.4.3 Tekanan Tanah Lateral

Pada perencanaan bangunan penahan tanah, tekanan tanah aktif bekerja dengan gaya – gaya yang cenderung mengurangi keseimbangan bangunan penahan tanah atau bagian tanah yang bekerja menekan bangunan penahan tanah. Sedangkan tekanan tanah pasif merupakan gaya perlawanan tanah akibat dari tekanan tanah aktif tersebut.

Tekanan – tekanan tanah lateral yang terjadi adalah sebagai berikut.

#### 1. Tekanan Tanah Lateral Akibat Tanah

Tekanan tanah lateral akibat tanah dapat dilihat pada Gambar 3.12



**Gambar 3.12 Diagram Tekanan Tanah Lateral Akibat Tanah**

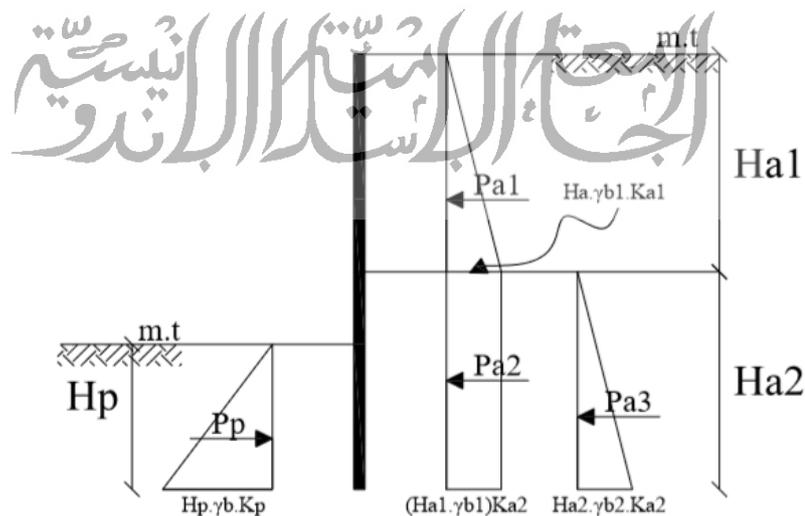
Berdasarkan diagram tekanan tanah lateral akibat tanah diatas, maka didapatkan perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif seperti pada Persamaan 3. 20 dan 3.21.

$$Pa = 0,5 \times \gamma_b \times Ha^2 \times Ka \tag{3.20}$$

$$Pp = 0,5 \times \gamma_b \times Hp^2 \times Kp \tag{3.21}$$

2. Tekanan Tanah Lateral Akibat Tanah Berlapis

Tekanan tanah lateral akibat tanah berlapis dapat dilihat pada Gambar 3.13.



**Gambar 3.13 Diagram Tekanan Tanah Lateral Akibat Tanah Berlapis**

Berdasarkan diagram tekanan tanah lateral akibat tanah berlapis diatas, maka didapatkan perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif seperti pada Persamaan 3.22 – 3.25.

$$Pa_1 = 0,5 \times \gamma b_1 \times Ha_1^2 \times Ka_1 \quad (3.22)$$

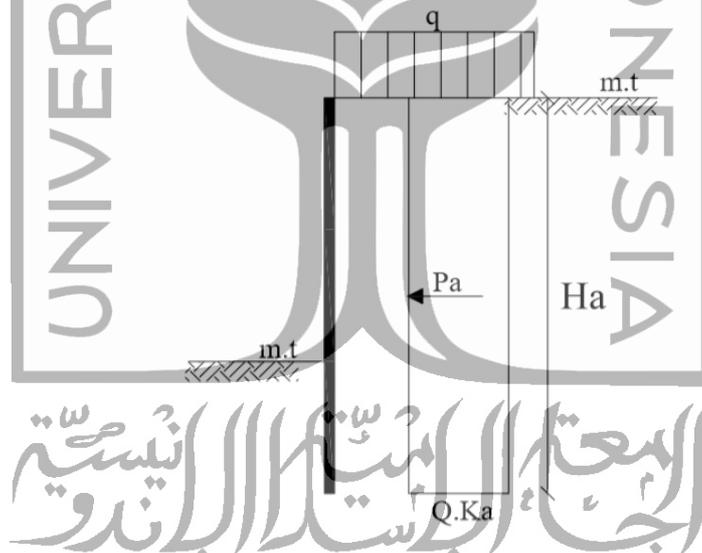
$$Pa_2 = (\gamma b_1 \times Ha_1) \times Ha_2 \times Ka_2 \quad (3.23)$$

$$Pa_3 = 0,5 \times \gamma b_2 \times Ha_2^2 \times Ka_2 \quad (3.24)$$

$$Pp = 0,5 \times \gamma b \times Hp^2 \times Kp \quad (3.25)$$

### 3. Tekanan Tanah Lateral Akibat Beban Merata

Tekanan tanah lateral akibat terdapat beban merata dapat dilihat pada Gambar 3.14.



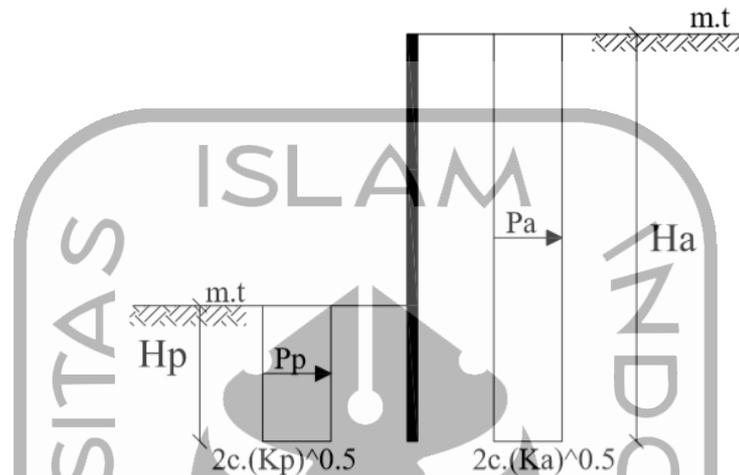
**Gambar 3.14 Diagram Tekanan Tanah Lateral Akibat Beban Merata**

Berdasarkan diagram tekanan tanah lateral akibat terdapat beban merata diatas, maka didapatkan perhitungan tekanan tanah aktif seperti pada Persamaan 3.26.

$$Pa = q \times Ha \times Ka \quad (3.26)$$

#### 4. Tekanan Tanah Lateral Akibat Kohesi

Tekanan tanah lateral akibat terdapat kohesi pada tanah dapat dilihat pada Gambar 3.15.



**Gambar 3.15 Diagram Tekanan Tanah Lateral Akibat Kohesi**

Berdasarkan diagram tekanan tanah lateral akibat terdapat kohesi pada diatas, maka didapatkan perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif seperti pada Persamaan 3.27 dan Persamaan 3.28.

$$P_a = -2 \times c \times \sqrt{K_a} \times H_a \quad (3.27)$$

$$P_p = 2 \times c \times \sqrt{K_p} \times H_p \quad (3.28)$$

#### 4.4.3 Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Dalam perhitungan stabilitas dinding penahan tanah harus mencangkupi hal – hal sebagai berikut

1. Nilai faktor aman terhadap penggeseran, penggulingan dan daya dukung tanah dasar harus terpenuhi.
2. Tekanan yang terjadi di dasar fondasi tidak boleh melebihi kapasitas dukung tanah ijin.
3. Tidak boleh terjadi penurunan yang berlebihan pada tanah dasar fondasi.

Untuk perhitungan stabilitas terhadap penggeseran, penggulingan dan daya dukung tanah dasar adalah sebagai berikut.

### 1. Stabilitas terhadap Penggeseran

Dalam perhitungan stabilitas penggeseran, gaya – gaya yang bekerja menggeser dinding akan ditahan oleh :

- a. Gesekan antara tanah dengan dasar fondasi.
- b. Tekanan tanah pasif yang berada pada depan dinding bila terdapat timbunan.

Faktor aman stabilitas terhadap penggeseran dinyatakan dalam Persamaan 3.29.

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \geq 1,5 \quad (3.29)$$

Tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran untuk tanah granuler ( $c = 0$ ) dinyatakan dalam Persamaan 3.30.

$$\begin{aligned} \sum R_h &= W \times f \\ &= W \operatorname{tg} \delta_b, \text{ dengan } \delta_b = \varphi \end{aligned} \quad (3.30)$$

Tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran untuk tanah kohesif ( $\varphi = 0$ ) dinyatakan dalam Persamaan 3.31.

$$\sum R_h = C_a \times B \quad (3.31)$$

Tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran untuk tanah  $c > 0$  dan  $\varphi > 0$  dinyatakan dalam Persamaan 3.32.

$$\sum R_h = C_a \times B + W \operatorname{tg} \delta_b \quad (3.32)$$

Dengan,

$\sum R_h$  = Tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran

$W$  = Berat total dinding penahan tanah (kN)

$\delta_b$  = sudut gesek antara tanah dan dasar fondasi, biasanya diambil  $1/3 -$

$$2/3 \varphi$$

$C_a$  =  $a_d \times c$  = adhesi antara tanah dan dasar fondasi

$C$  = Kohesi tanah dasar (kN/m<sup>2</sup>)

$a_d$  = Faktor adhesi

$B$  = Lebar fondasi (m)

$\Sigma Ph$  = Jumlah gaya - gaya horizontal (kN)

$F$  =  $\text{tg } \delta$  = koefisien gesek antara tanah dasar dan dasar fondasi

Faktor aman stabilitas terhadap penggeseran (Fgs) menurut Bowles(1997) menyarankan sebagai berikut.

Fgs  $\geq 1,5$  untuk tanah dasar granuler

Fgs  $\geq 2$  untuk tanah dasar kohesif

## 2. Stabilitas terhadap Penggulingan

Stabilitas terhadap penggulingan pada dinding penahan tanah diakibatkan oleh momen yang mengakibatkan penggulingan yang berasal dari tekanan tanah lateral pada tanah urug yang terdapat di belakang dinding. Tekanan tanah ini cenderung menggulingkan dinding dengan pusat rotasi terdapat pada ujung kaki depan pelat fondasi. Momen tersebut dilawan dengan momen yang melawan penggulingan yang berasal dari berat sendiri dinding penahan tanah dan akibat berat tanah diatas pelat dinding. Nilai faktor aman terhadap penggulingan dinyatakan dalam Persamaan 3.33.

$$F_{gl} = \frac{\Sigma Mw}{\Sigma Mgl} \quad (3.33)$$

Dengan,

$\Sigma Mw$  = Momen yang melawan penggulingan (kNm)

$\Sigma Mgl$  = Momen yang mengakibatkan penggulingan(kNm)

$W$  = Berat sendiri dinding penahan tanah + berat tanah di atas pelat dinding (kN)

$B$  = Lebar pelat dinding penahan tanah

Faktor aman stabilitas terhadap penggeseran (Fgs) menurut Bowles(1997) menyarankan sebagai berikut.

$F_{gs} \geq 1,5$  untuk tanah dasar granuler

$F_{gs} \geq 2$  untuk tanah dasar kohesif

### 3. Stabilitas terhadap Daya Dukung Tanah Dasar

Dalam perhitungan stabilitas daya dukung tanah dasar terdapat beberapa persamaan yang digunakan, seperti persamaan Terzaghi (1943) dan persamaan Vesic (1975) dan Hansen (1970).

Dalam perhitungan stabilitas terhadap daya dukung tanah dasar melibatkan faktor kapasitas dukung menurut Vesic yang dapat dilihat pada Tabel 3.13.

**Tabel 3.13 Faktor-faktor kapasitas dukung Vesic (1973)**

$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
7	7,16	1,88	0,71	26	22,25	11,85	12,54
8	7,53	2,06	0,86	27	23,94	13,2	14,47
9	7,92	2,25	1,03	28	25,8	14,72	16,72
10	8,85	2,47	1,22	29	27,86	16,44	19,34
11	8,8	2,71	1,44	30	30,14	18,4	22,4
12	9,28	2,97	1,69	31	32,67	20,63	25,9
13	9,81	3,26	1,97	32	35,49	23,18	30,22
14	10,37	3,59	2,29	33	38,64	26,09	35,19
15	10,98	3,94	2,65	34	42,16	29,44	41,06
16	11,63	4,34	3,06	35	46,12	33,3	48,03
17	12,34	4,77	3,53	36	50,59	37,75	56,31
18	13,1	5,26	4,07	37	55,63	42,92	66,19
19	13,93	5,8	4,68	38	61,35	48,93	78,03
20	14,83	6,4	5,39	39	67,87	55,96	92,25
21	15,82	7,07	6,2	40	75,31	64,2	109,41
22	16,88	7,82	7,13	41	83,86	73,9	130,22
23	18,05	8,66	8,2	42	93,71	85,38	155,55
24	19,32	9,6	9,44	43	105,11	99,02	186,54
25	20,72	10,66	10,8	44	118,37	115,31	224,64

(sumber : Vesic(1973), dalam Hardiyatmo, 2011)

Pada persamaan terzaghi, dalam penggunaan perhitungan daya dukung tanah dasar pada dinding penahan tanah tidak tepat. Hal ini disebabkan karena pada persamaan ini hanya berlaku untuk fondasi yang di bebani secara

vertikal dan sentris. Sedangkan resultan beban – beban pada dinding penahan tanah pada umumnya miring dan eksentris. Maka dari itu perhitungan daya dukung tanah dasar dinding penahan tanah menggunakan persamaan Vesic dan Hansen pada Persamaan 3.34.

$$Q_u = d_c \times i_c \times c \times N_c + d_q \times i_q \times D_f \times \gamma \times N_q + d_\gamma \times i_\gamma \times 0,5 \times B \times \gamma \times N_\gamma \quad (3.34)$$

Dengan faktor kemiringan beban dinyatakan dalam persamaan 3.35 – 3.37.

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,5 \times H}{V + A' \times C_a \times \text{ctg } \phi} \right]^5 \geq 0 \quad (3.35)$$

$$i_c = i_q - \frac{(1 - i_q)}{N_c \text{ctg } \phi} \quad (3.36)$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{0,7 \times H}{V + A' \times C_a \times \text{ctg } \phi} \right]^5 \quad (3.37)$$

Dengan faktor kedalaman menurut Hansen dinyatakan dalam Persamaan 3.38 – 3.40.

$$d_c = 1 + 0,4 \times \left( \frac{D}{B} \right) \quad (3.38)$$

$$d_q = 1 + 2 \times \left( \frac{D}{B} \right) \times \tan \phi \times (1 - \sin \phi)^2 \quad (3.39)$$

$$d_\gamma = 1. \quad (3.40)$$

Dengan,

$d_c, d_q, d_\gamma$  = Faktor kedalaman

$i_c, i_q, i_\gamma$  = faktor kemiringan beban

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

$D_f$  = Kedalaman fondasi (m)

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

$B$  = Lebar fondasi dinding penahan tanah (m)

$N_c, N_q, N_\gamma$  = Faktor – faktor kapasitas dukung Terzaghi.

Nilai faktor aman terhadap daya dukung tanah dasar pada stabilitas dinding penahan tanah dinyatakan dalam Persamaan 3. 41.

$$F = \frac{Q_u}{Q} \geq 3 \quad (3.41)$$

Dengan  $q$  = Tekanan akibat beban struktur

Tekanan struktur pada tanah dasar fondasi dapat dihitung dengan menggunakan cara lebar efektif fondasi (asumsi Meyerhof) dinyatakan dalam Persamaan 3.42.

$$Q = \frac{V}{B'} \quad (3.42)$$

Dengan

$V$  = Beban vertikal total

$B'$  =  $B - 2e$

### 3.5 Perkuatan Tanah dengan *Sheet Pile*

*Sheet pile* atau turap merupakan dinding vertikal yang reatif tipis yang berfungsi untuk menahan tanah yang dipasang saling mengunci dan dipancang ke dalam tanah sehingga membentuk dinding vertikal menerus. Turap dibedakan menurut bahan yang digunakan. Bahan turap tersebut bermacam-macam, seperti kayu, beton bertulang, dan baja.

#### 3.5.1 Tipe – Tipe Dinding *Sheet Pile*

Tipe – tipe dinding *sheet pile* dibagi menjadi menjadi 4 tipe seperti berikut ini.

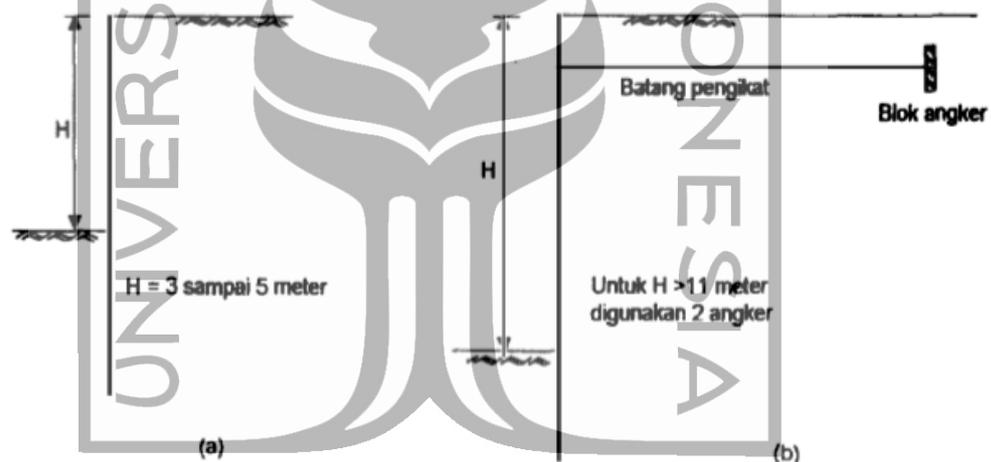
##### 1. Dinding *sheet pile* kantilever

Dinding *sheet pile* tipe kantilever merupakan tipe yang mengandalkan tahanan tanah di depan dinding untuk menahan beban lateral. Tipe *sheet pile* ini cocok digunakan untuk menahan tanah dengan ketinggian sedang, karena

defleksi yang terjadi relatif besar dan luas bahan yang dibutuhkan semakin besar seiring dengan ketinggian yang bertambah. Gambar *sheet pile* tipe kantilever dapat dilihat pada Gambar 3.16a.

2. Dinding *sheet pile* berangkur

Dinding *sheet pile* berangkur merupakan tipe yang cocok digunakan untuk menahan tanah dengan ketinggian yang besar. Pada tipe ini mengandalkan tahanan tanah pada *sheet pile* yang dipancang ke dalam tanah serta dengan angkur yang dipasang pada bagian atas *sheet pile*. Kedalaman turap menembus tanah bergantung pada besarnya tekanan tanah. Untuk dinding turap yang tinggi, diperlukan turap baja dengan kekuatan tinggi. Gambar *sheet pile* berangkur dapat dilihat pada Gambar 3.16b.



Gambar 3.16 (a) *Sheet Pile* Tipe Kantilever

(b) *Sheet Pile* Berangkur

(Sumber : Hardiyatmo, 2008)

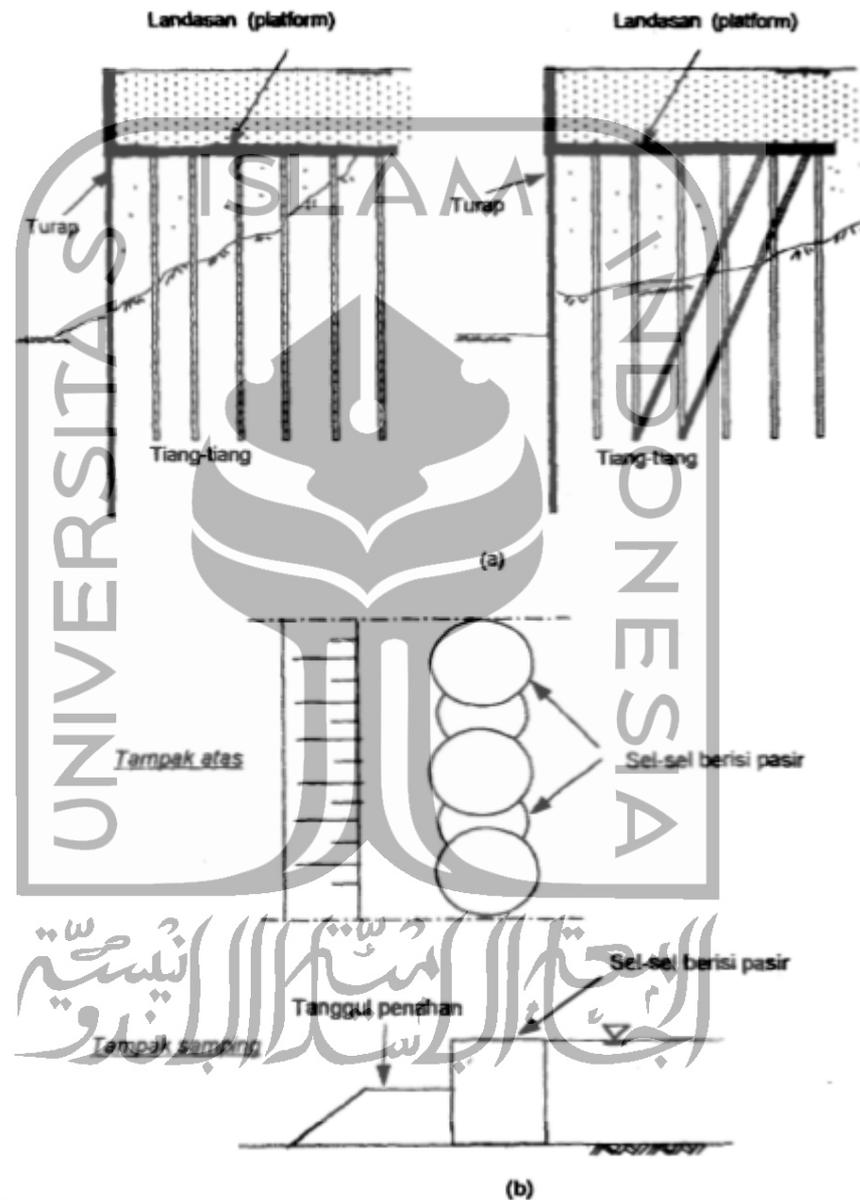
3. Dinding *sheet pile* dengan landasan atau *platform* yang didukung tiang – tiang.

Dinding *sheet pile* tipe ini dibantu dengan tiang – tiang dalam menahan tekanan tanah lateral yang dimana terdapat landasan pada atas tiang – tiang yang berguna untuk meletakkan bangunan tertentu. Tiang – tiang tersebut membantu mengurangi tekanan lateral yang terjadi pada *sheet pile*. Gambar *sheet pile* tipe ini dapat dilihat pada Gambar 3.17a.



4. Bendungan elak seluler

Pada tipe bendungan elak seluler *sheet pile* berbentuk sel – sel yang diisi dengan pasir. Tipe ini mengandalkan beratnya dalam menahan tekanan tanah yang terjadi. Gambar *sheet pile* tipe ini dapat dilihat pada Gambar 3.17b.



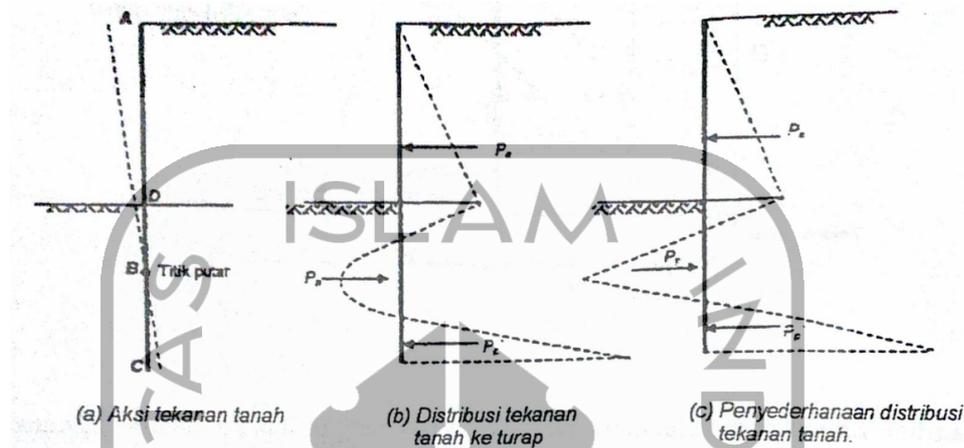
Gambar 3.17 (a) *Sheet Pile* Dengan Landasan

(b) Bendungan Elak Seluler

(Sumber : Hardiyatmo, 2008)

### 3.5.2 Prinsip Umum Perancangan Turap

Tekanan tanah yang bekerja pada turap dengan kondisi kaku sempurna dapat digambarkan pada Gambar 3.18 berikut.



**Gambar 3.18 Tekanan Tanah Pada Turap**

Sumber : Hardiyatmo (2008)

Akibat dari tekanan tanah aktif di belakang turap, turap berotasi pada titik B. Tekanan tanah pada bawah turap yang tertanam berupa tanah pasif yang berada di belakang BC dan di depan BD. Sedangkan yang berada di depan BC dan di belakang BD merupakan tekanan tanah aktif. Pada titik rotasi B, tekanan tanah lateral akan sama dengan nol. Hal tersebut terjadi karena pada titik tersebut mendapatkan tekanan tanah yang sama dari depan dan dari belakang. Distribusi tekanan tanah lateral untuk tanah kohesif berbeda. Oleh karena itu perancangan dibedakan berdasarkan pada jenis tanahnya.

### 3.5.3 Perencanaan *Sheet Pile* Kantilever

Dalam perencanaan kedalaman pemancangan *sheet pile*, dapat digunakan beberapa metode antara lain,

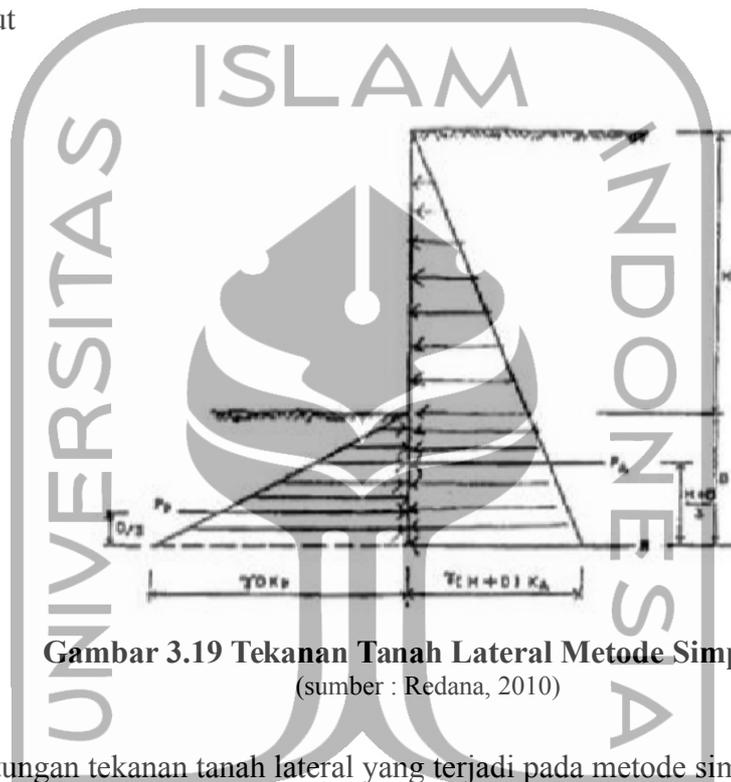
#### 1. Metode Konvensional

Pada metode ini, tanah di atas maupun di bawah galian dianggap sama. *Sheet pile* mengalami defleksi dengan bentuk yang tidak diketahui dan dianggap berputar pada suatu titik putar dibawah garis galian, maka dari itu ada zona

aktif dan pasif. Jika tanah keseluruhan bergerak ke kiri maka tanah di kanan dianggap aktif dan sebaliknya.

## 2. Metode Simplified

Pada metode ini, semua tekanan tanah baik aktif maupun pasif diperhitungkan secara utuh sampai ke dasar *sheet pile*. Untuk lebih detailnya tekanan tanah lateral menggunakan metode simplified dapat dilihat pada Gambar 3.19 berikut



**Gambar 3.19 Tekanan Tanah Lateral Metode Simplified**  
(sumber : Redana, 2010)

Perhitungan tekanan tanah lateral yang terjadi pada metode simplified dapat dilihat pada Persamaan 3.18 - 3.26.

## 3.6 Plaxis

Plaxis merupakan salah satu program pemodelan berdasarkan metode elemen hingga yang mampu melakukan analisis permasalahan geoteknik dalam perancangan sipil. Program ini memudahkan penggunaannya untuk dapat dengan cepat membuat pemodelan geometri dan jaring-jaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dilakukan analisis.

Program plaxis bertujuan untuk mengimplementasikan tahapan pelaksanaan di lapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program. Dengan demikian diharapkan pemrograman ini dapat mendekati atau sedekat mungkin dengan

pelaksanaan di lapangan, sehingga respon yang dihasilkan dari program dapat diasumsikan sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya terjadi di lapangan.

Program Plaxis terdiri dari empat buah sub program yaitu, program masukan, perhitungan, keluaran dan kurva. Adapun sub program tersebut adalah sebagai berikut.

#### 1. Program Masukan

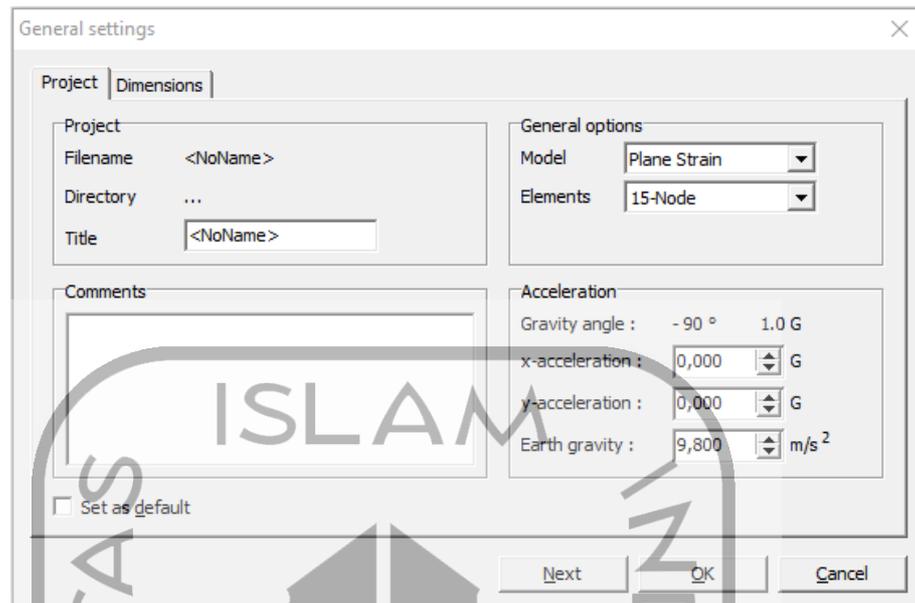
Pada program masukan, pengguna dapat melakukan pemodelan geometri dan memasukan data-data yang diperlukan. Adapun langkah - langkah pengoperasian program masukan pada Plaxis 8.6 adalah sebagai berikut.

##### a. Memulai Program

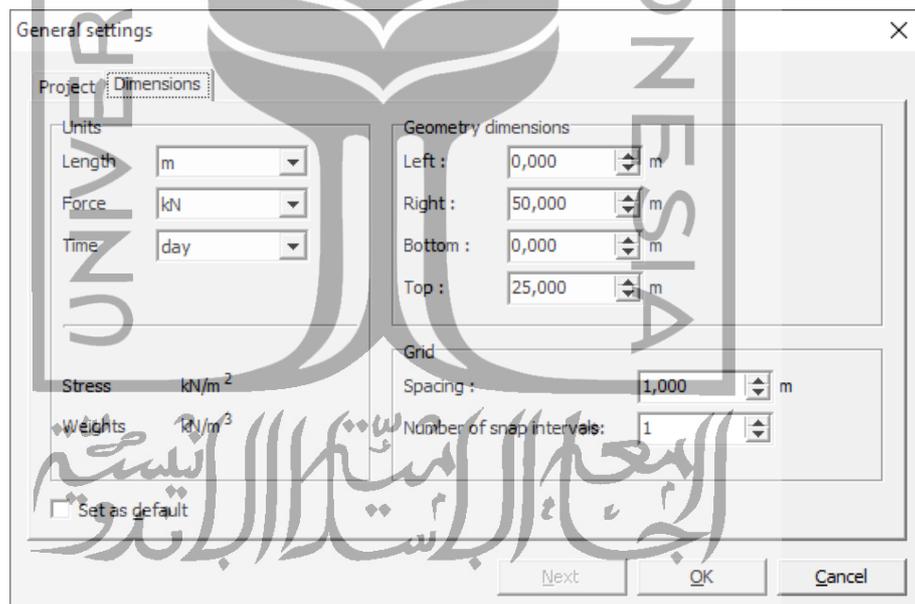
Program Plaxis dapat dijalankan dengan klik ganda pada ikon masukan Plaxis dalam kelompok program Plaxis. Pengguna akan diminta untuk mendefinisikan permasalahan baru atau dapat membuka proyek yang telah ada.

##### b. Pengaturan Global

Apabila suatu proyek baru dimulai, maka jendela pengaturan global seperti ditunjukkan pada Gambar 3.20 akan muncul. Jendela ini terdapat dua lembar tab. Pada lembar pertama berisi berbagai pengaturan untuk proyek, seperti judul dari proyek, kontak komentar serta jenis analisis dan jenis elemen harus ditentukan disini. Selain itu terdapat juga beberapa masukan nilai percepatan yang harus ditentukan. Sedangkan pada lembar tab kedua berisi tentang satuan panjang, gaya, waktu, serta ukuran dimensi bidang gambar harus ditetapkan disini. Gambar lembar tab kedua pada pengaturan global lembar tab dimensi dapat dilihat pada Gambar 3.21.



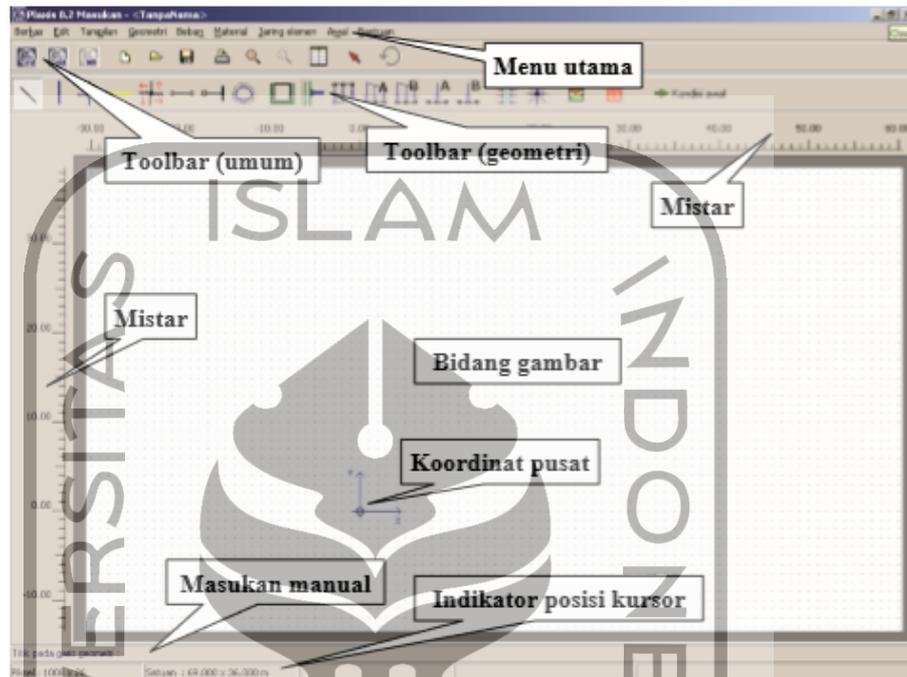
**Gambar 3.20 Pengaturan Global Lembar Tab Proyek**  
(sumber : Modul Plaxis, 2017)



**Gambar 3.21 Pengaturan Global Lembar Tab Dimensi**  
(sumber : Modul Plaxis,2017)

c. Membuat model Geometri

Setelah pengaturan global selesai diisi, maka jendela masukan utama akan muncul seperti pada Gambar 3.22 berikut.



**Gambar 3.22 Jendela Utama Pada Program Masukan**  
(sumber : Modul Plaxis,2017)

2. Program Perhitungan

Program ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan mengeksekusi tahap-tahap perhitungan, dan dapat juga digunakan untuk memilih tahapan perhitungan analisis sesuai dengan yang diinginkan.

3. Program Keluaran

Setelah program perhitungan selesai, di program inilah hasil dari program perhitungan dapat di evaluasi. Pada tahapan ini, pengguna dapat mengetahui hasil dari analisis yang dilakukan.

4. Program Kurva

Pada program ini, dapat dihasilkan hasil analisis tersebut dalam bentuk kurva.