

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah adalah kegiatan untuk mengetahui daya dukung dan karakteristik tanah serta kondisi geologi tanah tersebut. Karakteristik tanah yang dimaksud adalah susunan lapisan tanah/sifat tanah, mengetahui kekuatan lapisan tanah untuk keperluan pondasi bangunan, jalan, dan lain-lain.

Penyelidikan tanah yang biasa dilakukan pada suatu pekerjaan terbagi menjadi dua bagian yaitu pengujian di lapangan dan pengujian di laboratorium. Pengujian di lapangan dilakukan dengan cara pengeboran pada tanah yang akan diuji. Selanjutnya pengujian tanah yang tidak terganggu akan diuji di laboratorium.

Pengujian tanah di lapangan adalah pengujian yang dilakukan langsung pada tanah yang akan diuji. Pengujian di lapangan dilakukan untuk mengetahui jenis-jenis lapisan tanah berdasar tanah yang telah diuji di lapangan. Laporan hasil pengujian tanah di lapangan harus dibuat jelas dan tepat. Hasil pengeboran yang didapat dalam sebuah boring log berisi:

1. Kedalaman lapisan tanah
2. Evaluasi permukaan titik bor, lapisan tanah dan muka air tanah.
3. Simbol dan jenis tanah secara grafis
4. Deskripsi lapisan tanah.
5. Posisi dan kedalaman pengambilan contoh
6. Nilai SPT beserta kedalaman pengujian.

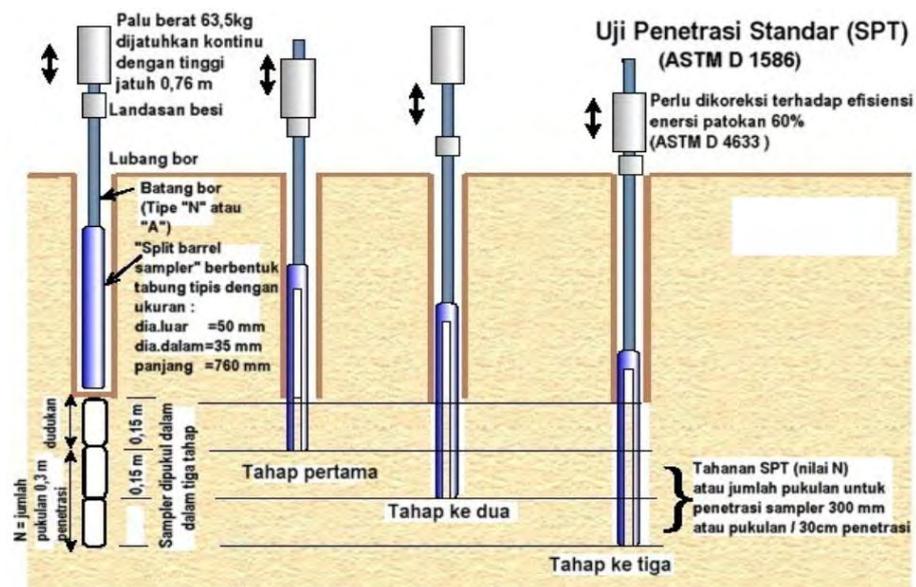
#### 2.1.1 Pengujian Tanah Di Lapangan

Jenis pengujian tanah di lapangan pada umumnya dilakukan dengan pengujian pengeboran. Namun ada juga pengujian yang dilakukan dengan pengujian sondir. Pemilihan jenis pengujian di lapangan ditentukan sesuai dengan ss.

### 2.1.2 Pengujian SPT

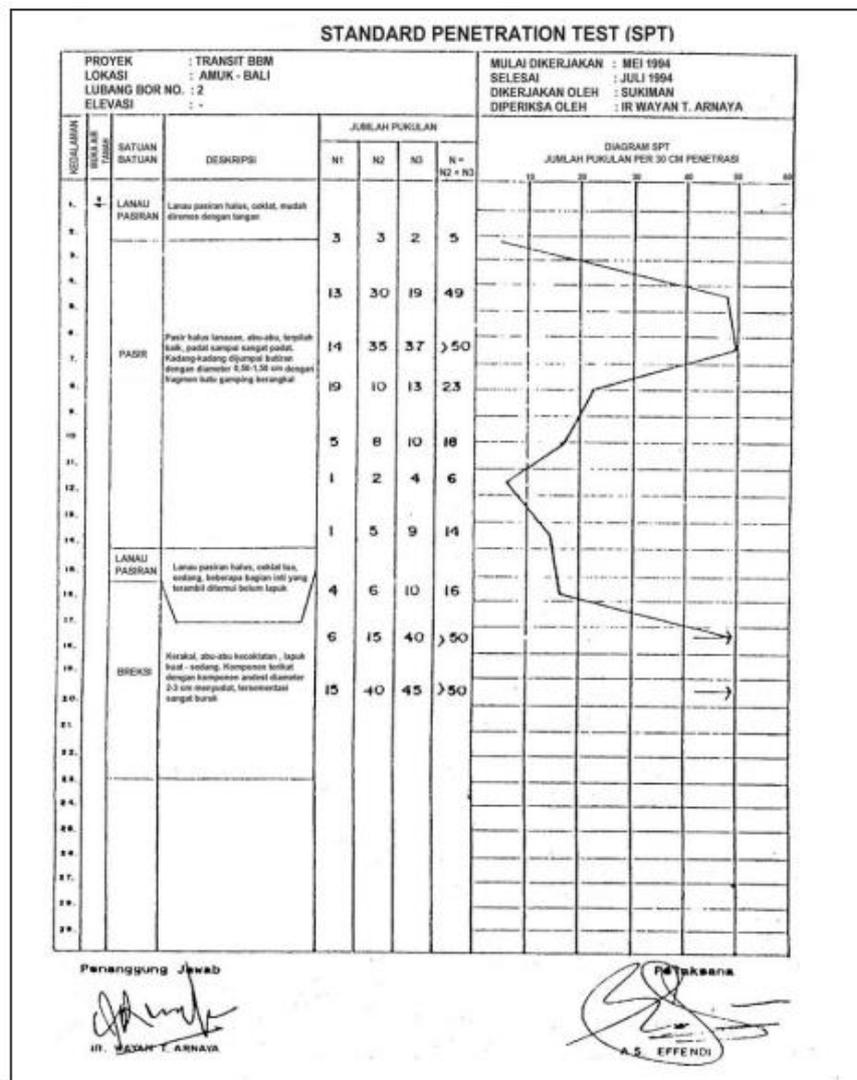
Uji pengeboran selalu dilakukan dengan *Standart Penetration Test* (SPT). Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah dan disertai dengan pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm secara vertikal. Sistem pengujian SPT menggunakan palu dengan berat 63.5 kg, yang dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0.76 m.

Pelaksanaan pengujian SPT dibagi menjadi 3 tahapan, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap. Tahap pertama dicatat sebagai dudukan, lalu jumlah pukulan untuk tahap kedua dan ketiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT. Skema pengujian SPT dapat dilihat pada **Gambar II.1**.



**Gambar II.1** Skema urutan uji SPT (<http://www.ngekul.com/wp-content/uploads/2016/06/SNI-4153-2008.pdf> diakses pada tanggal 11-8-2018 pukul 08:00)

Hasil dari pengujian akan direkap pada sebuah laporan pengeboran (*bor log*). Pada satu titik pengujian seluruh hasil pengujian berupa kedalaman pengujian, jenis klasifikasi tanah, dan nilai SPT akan disampaikan pada lembaran laporan yang menampilkan seluruh hasil dari penelitian. Contoh dari laporan bor log dapat dilihat pada **Gambar II.2**



Gambar II.2 Contoh Laporan Borlog

## 2.2 Tanah Lunak

Tanah lunak didefinisikan sebagai tanah lempung dengan kuat geser kurang dari 25 kN/m<sup>2</sup>. Hal ini berdasarkan Panduan Geoteknik 1 No. Pt T-08-2002-B (DPU, 2002a). Berdasarkan hasil pengeboran tanah di lapangan, dikatakan tanah lunak jika memiliki nilai SPT 0 sampai dengan 10 dengan konsistensi *very soft* sampai dengan *medium* (Mochtar, 2006 revised 2012). Lapisan tanah lunak memiliki sifat-sifat antara lain cenderung sangat *compressible* (mudah memampat), tahanan geser rendah, permeabilitas yang rendah, dan mempunyai daya dukung rendah (Amalia, 2008).

Apabila tanah dasar yang ada berupa tanah lempung yang mempunyai daya dukung dan kuat geser yang rendah, maka konstruksi di atasnya bisa mengalami kerusakan. Sehingga tanah dasar haruslah bersifat keras agar sesuai dengan persyaratan teknis.

### 2.3 Parameter Tanah

Parameter suatu tanah didapat dengan melakukan pengujian pada tanah di laboratorium dan di lapangan. Pengujian tanah di lapangan dapat diuraikan menjadi sebuah statigrafi tanah berdasarkan konsistensi tanah dan nilai SPT. Konsistensi tanah berdasarkan nilai N-SPT dapat dilihat dari **Tabel II.1**

**Tabel II.1.** Korelasi N-SPT dengan karakteristik Tanah (J. E. Bowles, 1984 dalam Wahyudi, 1999)

<b>Cohesionless Soil</b>					
N (blows)	0-3	4-10	11-30	31-50	>50
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	-	12-16	14-18	16-20	18-23
$\phi$ (°)	-	25-32	28-36	30-40	>35
State	<i>Very Loose</i>	<i>Loose</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>	<i>Very Dense</i>
Dr (%)	0-15	15-35	35-65	65-85	85-100
<b>Cohesive Soil</b>					
N (blows)	<4	4-6	6-15	16-25	>25
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	14-18	16-18	16-18	16-20	>20
qu (kPa)	<25	20-50	30-60	40-200	>100
Consistency	<i>Very Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Hard</i>

Parameter tanah digunakan sebagai *input* dalam perhitungan perencanaan tugas akhir ini. Akan tetapi, tidak semua parameter tanah yang digunakan dalam perhitungan tersedia, sehingga diperlukan pendekatan/korelasi.

Korelasi yang digunakan pada perhitungan untuk mendapatkan parameter tanah adalah sebagai berikut

1. Berat isi jenuh tanah ( $\gamma_{sat}$ ) didapatkan dari korelasi nilai SPT pada **Tabel II.1**
2. Kadar air ( $\omega$ ), Angka pori ( $e$ ) porositas ( $n$ ) dan koefisien konsolidasi vertikal ( $C_v$ ) didapatkan dari korelasi berdasarkan nilai berat isi jenuh tanah ( $\gamma_{sat}$ ), dapat dilihat dari tabel Biarez pada lampiran 1.

3. Berat jenis tanah ( $G_s$ ) didapatkan dari korelasi berdasarkan nilai berat isi jenuh tanah ( $\gamma_{sat}$ ) dan angka pori ( $e$ ) dengan menggunakan persamaan (Das B.M, 1998):

$$G_s = \frac{\gamma_{sat} \cdot (1+e)}{\gamma_w} - e \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :  $\gamma_{sat}$  : Berat isi jenuh tanah ( $t/m^3$ )  
 $\gamma_w$  : Berat isi air =  $1 t/m^3$   
 $e$  : angka pori

4. Berat isi tanah ( $\gamma_m$ ) didapatkan dari korelasi berdasarkan nilai kadar air ( $\omega$ ), angka pori ( $e$ ), dan berat jenis tanah ( $G_s$ ) dengan menggunakan persamaan (Das B.M, 1988)

$$\gamma_m = \frac{G_s \cdot \gamma_w \cdot (1+w)}{(1+e)} \dots\dots\dots (2)$$

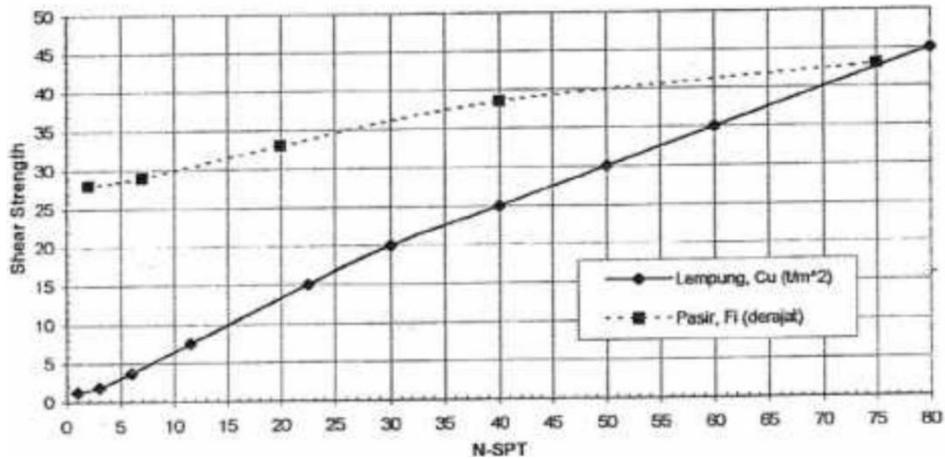
dimana :  $\gamma_m$  : Berat isi tanah ( $t/m^3$ )  
 $\gamma_w$  : Berat isi air =  $1t/m^3$   
 $\omega$  : Kadar air (%)  
 $e$  : Angka Pori

5. Indeks pemampatan ( $C_c$ ) didapatkan dari korelasi berdasarkan nilai angka pori ( $e$ ) dengan menggunakan persamaan (Wahyudi, 1999):

$$C_c = 0,3 (e - 0,27) \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :  $C_c$  : indeks pemampatan  
 $e$  : angka pori

6. Kohesi ( $C_u$ ) didapatkan berdasarkan korelasi nilai N-SPT dengan grafik pada **Gambar II.3**



**Gambar II.3** Grafik korelasi Cu Berdasarkan N-SPT (Darjanto, 2000 dalam Athaya, 2015, diakses pada tanggal 8-7-2018, pukul 14:33)

7. Modulus elastisitas ( $E$ ) didapat dari korelasi berdasarkan jenis tanah, dapat dilihat dari **Tabel II.2**

**Tabel II.2** Modulus Elastisitas

Jenis Tanah	Modulus Elastisitas (t/m <sup>2</sup> )
Lempung sangat lunak	30 – 300
Lempung lunak	200 – 400
Lempung sedang	450 – 900
Lempung berpasir	3000 – 4250

8. Koefisien *poisson* ( $\mu$ ) didapatkan dari korelasi berdasarkan jenis tanah yang dapat dilihat pada **Tabel II.3**

**Tabel II.3** Koefisien *Poisson*

Jenis Tanah	Koefisien <i>Poisson</i>
Lempung sangat lunak	0,10 - 0,30
Lempung lunak	0,15 - 0,25
Lempung sedang	0,20 - 0,50
Lempung berpasir	0,20 - 0,30

## 2.4 Penurunan Tanah

Bila suatu lapisan tanah diberikan beban timbunan di atasnya, maka partikel tanah akan mengalami penambahan tegangan. Sehingga pada tanah akan mengalami suatu penurunan/regangan. Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh deformasi partikel tanah maupun relokasi partikel serta pengurangan air atau udara dari dalam pori tanah tersebut. Secara umum penurunan tanah dibagi menjadi dua bagian, yaitu penurunan seketika dan penurunan konsolidasi.

### 2.4.1 Penurunan seketika

Penurunan Seketika terjadi akibat dari deformasi elastis tanah. Penurunan seketika umumnya terjadi pada saat pekerjaan konstruksi sedang berlangsung. Jika beban luar yang bekerja memiliki luasan yang besar, maka tidak terdapat faktor pengaruh. Giroud (1973) memberikan sebuah metode sederhana dalam menghitung besarnya penurunan seketika, yaitu

$$S_i = q \sum_i \left( \frac{h_i}{E_i'} \right) \quad (4)$$

Dimana:  $S_i$  : Penurunan seketika (m)

$q$  : tegangan pada permukaan tanah (t/m)

$h_i$  : tebal lapisan tanah  $i$  (m)

$E_i'$  : Modulus *oedometrik* pada lapisan  $i = \sum_i \epsilon_i$  diperoleh dari tes konsolidasi dengan korelasi antara modulus *young* dengan *oedometrik* yaitu

$$E = E^p \left( 1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu} \right) \quad (5)$$

$E$  : modulus elastisitas

$\mu$  : koefisien *poisson*

### 2.4.2 Penurunan Konsolidasi

Penurunan yang berlangsung lebih lama pada saat pembebanan terjadi yang menyebabkan keluarnya air dan udara dari dalam pori tanah. Umumnya pada tanah lapisan lempung atau tanah jenuh dengan nilai derajat 90-100%. Menurut Wesley

(1977), bilamana suatu lapisan tanah mengalami tambahan beban di atasnya, maka air pori akan mengalir keluar dari pori-pori tanah tersebut dan volume total tanah akan keluar dari pori-pori tanah tersebut dan volume total tanah akan menjadi lebih kecil. Besarnya penurunan konsolidasi suatu lapisan tanah lempung yang tebal akan lebih teliti apabila lapisan tanah tersebut dibagi menjadi sub lapisan.

Dalam Das (1985), untuk menghitung besar penurunan dari seluruh lapisan tanah *normally consolidated* (NC) dapat dihitung dengan persamaan:

$$S_{ci} = \left[ \frac{C_c}{1+e_o} \log \frac{p_o + \Delta p}{p_o} \right] H_i \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

$S_{ci}$  = Pemampatan konsolidasi pada lapisan tanah yang ditinjau, lapisan ke i.

$H_i$  = Tebal lapisan tanah ke i

$e_o$  = Angka pori awal dari lapisan tanah ke-i

$C_c$  = Compression Index dari Lapisan tanah tersebut (Lapisan ke i)

$C_s$  = Swelling Index dari lapisan tanah tersebut. (lapisan ke i)

$p_o'$  = tekanan tanah vertical effective di suatu titik ditengah-tengah lapisan ke i akibat beban tanah sendiri di atas titik tersebut di lapangan.

$p_c$  = effective past overburden pressure, tegangan konsolidasi effective dimasa lampau yang lebih besar dari pada  $p_o'$  (dapat dilihat dari kurva konsolidasinya).

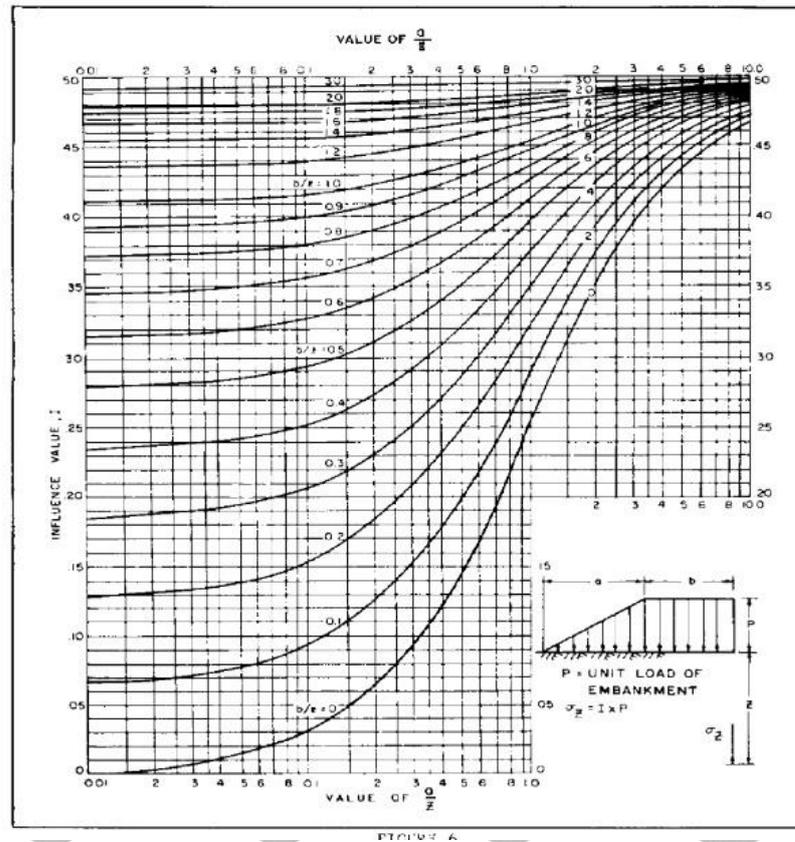
$\Delta p$  = penambahan tegangan vertical di titik yang ditinjau (di tengah lapisan i) akibat beban timbunan jalan yang baru.

Untuk menghitung besaran  $\Delta p$  dapat digunakan grafik influence, seperti pada **Gambar II.4** ( dari NAVFACDM- 7,1970)

$$\Delta p = \sigma_z = 2 \times I_i \times q \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

$q$  = tegangan vertical efektif dipermukaan tanah akibat timbunan / embakment.



Gambar II.4 Grafik Influence Factor I (NAVAC DM-7, 1970)

### 2.4.3 Waktu Penurunan Tanah

Lamanya waktu penurunan tanah merupakan salah satu faktor terpenting dalam melakukan perencanaan konstruksi di atasnya. Yang mempengaruhi waktu penurunan tanah adalah panjang lintasan yang dilalui air pori untuk terdispasi.

Tanah pada umumnya terdispasi air pori berlebih terjadi pada arah vertikal.

Menurut Terzaghi dalam Das (1990) waktu penurunan yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan :

$$t = \frac{T_v \times H_{dr}^2}{CV} \quad (8)$$

dimana :  $t$  : waktu penurunan (tahun)

$T_v$  : faktor waktu (Tabel II.4)

$H_{dr}$  : Panjang Aliran rata-rata (m)

$H_{dr} = \frac{1}{2} Z$  apabila arah aliran air selama proses konsolidasi adalah dua

arah ( ke atas dan ke bawah)

$H_{dr} = Z$  apabila arah aliran air pori satu arah saja (keatas atau kebawah)

**Tabel II.4.** Faktor waktu (*Wahyudi H, 1997*)

Derajat Konsolidasi(%)	Faktor Waktu
0	0
10	0,008
20	0,031
30	0,071
40	0,126
50	0,197
60	0,287
70	0,403
80	0,567
90	0,848

$C_v$  : Koefisien Konsolidasi vertical ( $m^2/tahun$ )

Apabila lapisan tanah memiliki nilai  $C_v$  yang beragam maka nilai  $C_v$  yang digunakan adalah nilai  $C_v$  rata-rata. (ABSI, 1965)

$$C_{v \text{ rata-rata}} = \frac{Z^2}{\left( \frac{h_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{h_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{h_i}{\sqrt{C_{vi}}} \right)} \dots \dots \dots (9)$$

$Z$  : tebal lapisan *compressible* (m)

$h_i$  : tebal lapisan *compressible* lapisan  $i$  (m)

$C_{vi}$  : harga  $C_v$  lapisan  $-i$  ( $m^2/ tahun$ )

## 2.5 Daya Dukung Tanah

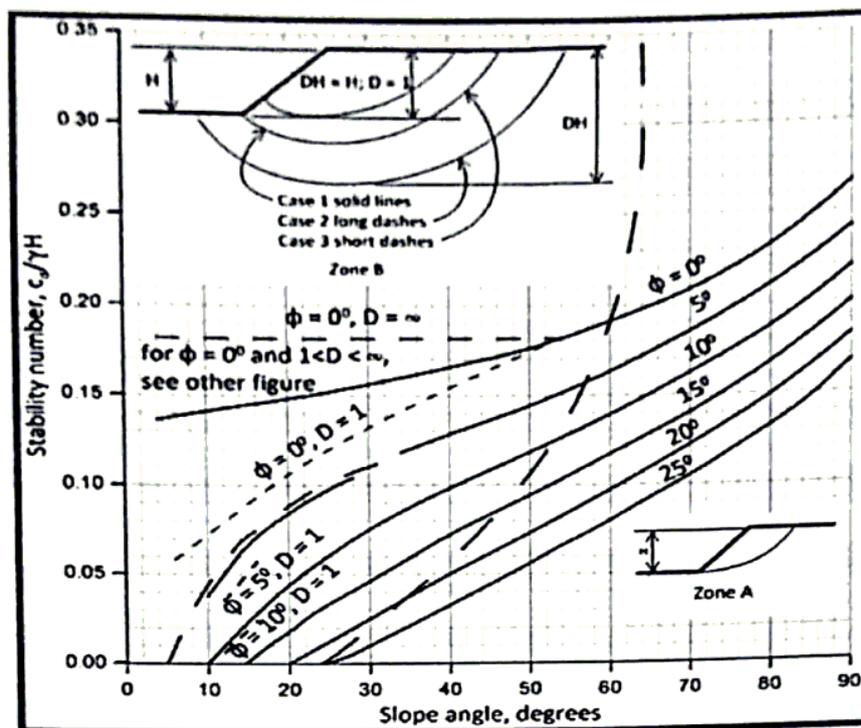
Dalam Pekerjaan preloading, daya dukung tanah haruslah diperhatikan.

Timbunan yang digunakan sebagai *preloading* biasanya memiliki sisi-sisi yang rawan terhadap kelongsoran. Kelongsoran yang terjadi biasanya diakibatkan dari berat isi tanah, nilai kohesi, sudut geser dalam, dan juga ketinggian timbunan.

Pelaksanaan timbunan biasanya disebut dengan Talud. Menurut Das (1991) talud adalah suatu permukaan tanah yang memiliki kemiringan tertentu terhadap bidang

horizontal dan tidak terlindungi. Untuk mengetahui aman atau tidak amannya suatu timbunan diberikan syarat yang harus dipenuhi yaitu nilai F. Nilai F=1 menandakan timbunan dalam keadaan akan longsor. Pada umumnya nilai F =1,5 untuk angka keamanan terhadap kuat geser dapat diterima untuk perencanaan stabilitas timbunan. Perhitungan daya dukung tanah menggunakan cara *taylor* (*journal of Boston Society of Civil Engineers* yang berjudul *Stability of Earth Slope, 1937*) dengan menggunakan grafik stabilitas dan kemiringan talud seperti pada **Gambar**

**II.5**



**Gambar II.5** Grafik hubungan antara angka stabilitas dengan sudut kemiringan talud *Braja* (M Das Jilid 2 (1991))

Untuk tahap perhitungannya, dijabarkan sebagai berikut;

1. Tentukan nilai kohesi tanah timbunan (c), berat isi tanah timbunan (γ), dan tinggi timbunan tanah (H).

2. Hitung nilai m dengan menggunakan rumus  $m = \frac{c}{\gamma \times H}$ . Namun, dalam hal

ini nilai m didapat pada **Gambar II.2**

3. Mencari nilai  $c_d$  yaitu nilai kohesi yang dibutuhkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut;
4. Hitung angka keamanan terhadap geser menggunakan rumus berikut:  $F_\phi = \frac{c \tan \phi}{\tan \phi_d}$
5. Hitung angka keamanan terhadap kohesi menggunakan rumus berikut:  $F_c = \frac{c}{c_d}$
6. Gunakan perhitungan dengan perbedaan sudut geser yang berbeda yaitu  $\phi_d$
7. Buatlah grafik perbandingan  $F_c$  dengan  $F_\phi$  dan kemudiantarik garis dengan
8. membentuk sudut  $45^\circ$  hingga memotong kurva dan didapat angka keamanannya
9. Lakukan pada setiap tinggi timbunan.

## 2.6 Timbunan Tanah

Timbunan adalah salah satu metode untuk menyesuaikan elevasi permukaan tanah. Konstruksi timbunan yang merupakan kasus pembebanan akan mengakibatkan deformasi dan konsolidasi apabila dilakukan di atas tanah dengan tingkat kompresibilitas tinggi dan konduktivitas rendah, seperti pada tanah lempung. Untuk kasus timbunan di atas tanah lempung lunak, dibutuhkan metode untuk menyelesaikan masalah rendahnya tingkat daya dukung dan lamanya waktu konsolidasi. Persyaratan utama timbunan adalah:

- mempunyai kemampuan untuk menyebarkan beban lalu-lintas yang berulang tanpa mengalami deformasi atau penurunan yang berarti akibat beban lalu lintas dan beban timbunan itu sendiri atau akibat kondisi tanah di bawah timbunan,
- mempunyai stabilitas yang cukup terhadap faktor perusak seperti curah hujan, air rembesan, dan gempa.

Tinggi timbunan dibedakan menjadi 3, yaitu tinggi timbunan kritis, tinggi timbunan rencana dan tinggi timbunan pada saat pelaksanaan.

1. Tinggi timbunan kritis ( $H_{Cr}$ )

Tinggi timbunan kritis adalah tinggi maksimal dari timbunan yang mampu ditahan oleh tanah dasar agar tidak terjadi kelongsoran/*sliding*.

2. Tinggi timbunan rencana ( $H_{Final}$ )

Tinggi timbunan rencana adalah tinggi final dari permukaan tanah timbunan yang akan direncanakan.

3. Tinggi timbunan pada saat pelaksanaan ( $H_{Inisial}$ )

Untuk muka air tanah (MAT) yang berada di elevasi  $\pm 0.00$  tanah dasar, tinggi timbunan pada saat pelaksanaan di lapangan tidak akan sama dengan tinggi timbunan rencana. Hal tersebut terjadi karena timbunan yang mengalami penurunan akan mengalami perubahan berat karena selama terjadi penurunan sebagian tanah timbunan berada di bawah muka air tanah dapat dihitung dengan (*Mochtar, 2000*) :

$$H_{Inisial} = \frac{q_{Timbunan} + (Sc \times \gamma_{Timb}) + (Sc \times \gamma')}{\gamma_{Timb}} \dots (28)$$

dimana:  $H_{Inisial}$  : tinggi timbunan pada saat pelaksanaan (m)

$q_{final}$  : beban timbunan (t/m<sup>2</sup>)

$Sc$  : penurunan (m)

$\gamma_{Timb}$  : berat isi timbunan (t/m<sup>3</sup>)

$\gamma'$  : berat isi efektif (t/m<sup>3</sup>)

$\gamma' = \gamma_{timbunan} - \gamma_w$  (t/m<sup>3</sup>)

$\gamma_w = \text{berat isi air} = 1 \text{ t/m}^3$

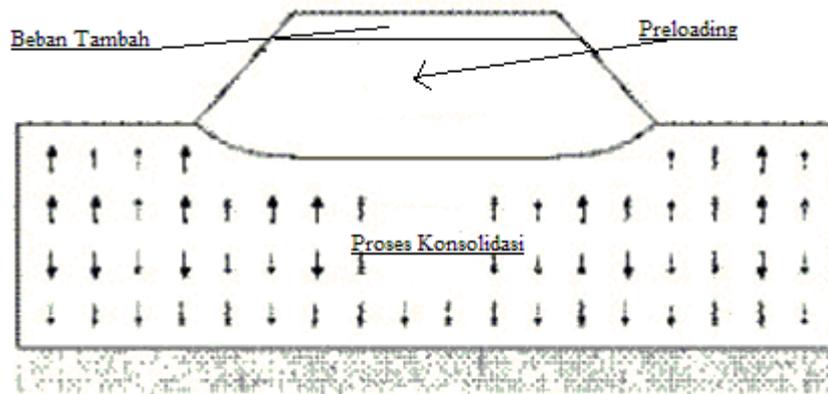
**2.7 Percepatan Penurunan Tanah**

Pada penimbunan tanah dengan pembebanan awal, masalah yang timbul adalah lamanya proses waktu penurunan. Hal ini sering terjadi pada lapisan tanah yang cukup dalam dan mempunyai permeabilitas rendah. Untuk mengatasi waktu penurunan yang cukup lama dapat menggunakan beberapa metode yaitu metode elektrokinetik, metode vacum, dan metode *Prevacibrated Vertical Drain*. Metode

*Vertical Drain* dapat digunakan dengan cara membuat saluran vertikal yang mengalir melalui lintasan-lintasan yang berarah radial pada saluran vertikal.

### 2.7.1 *Preloading*

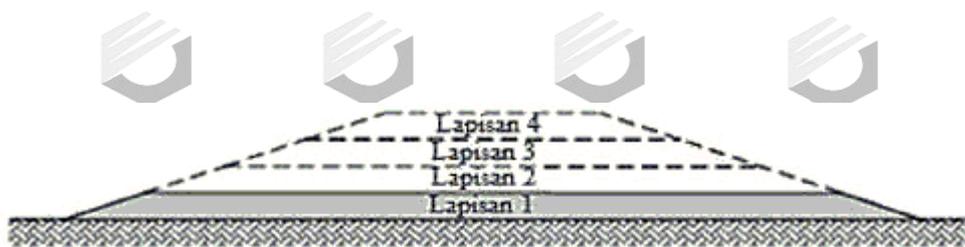
*Preloading* adalah sebuah beban sementara yang diberikan pada sebuah lahan yang akan dilakukan konstruksi di atasnya dengan tujuan untuk memperbaiki kondisi tanah dasar. *Preloading* yang biasa digunakan adalah timbunan seperti pada **Gambar II.6**.



**Gambar II.6** *Preloading* (Yunias, 2010)

Pada pelaksanaan timbunan biasanya dilakukan dengan beberapa tahap. Hal ini dapat memudahkan pelaksanaan di lapangan. Penambahan timbunan akan mengakibatkan tegangan air pori pada tanah lunak yang secara perlahan berkurang.

*Preloading* bertahap dapat dilihat pada **Gambar II.7**.



**Gambar II.7** *Preloading* bertahap (Athaya, 2015)

### 2.7.2 Drainasi Vertikal Pracetak

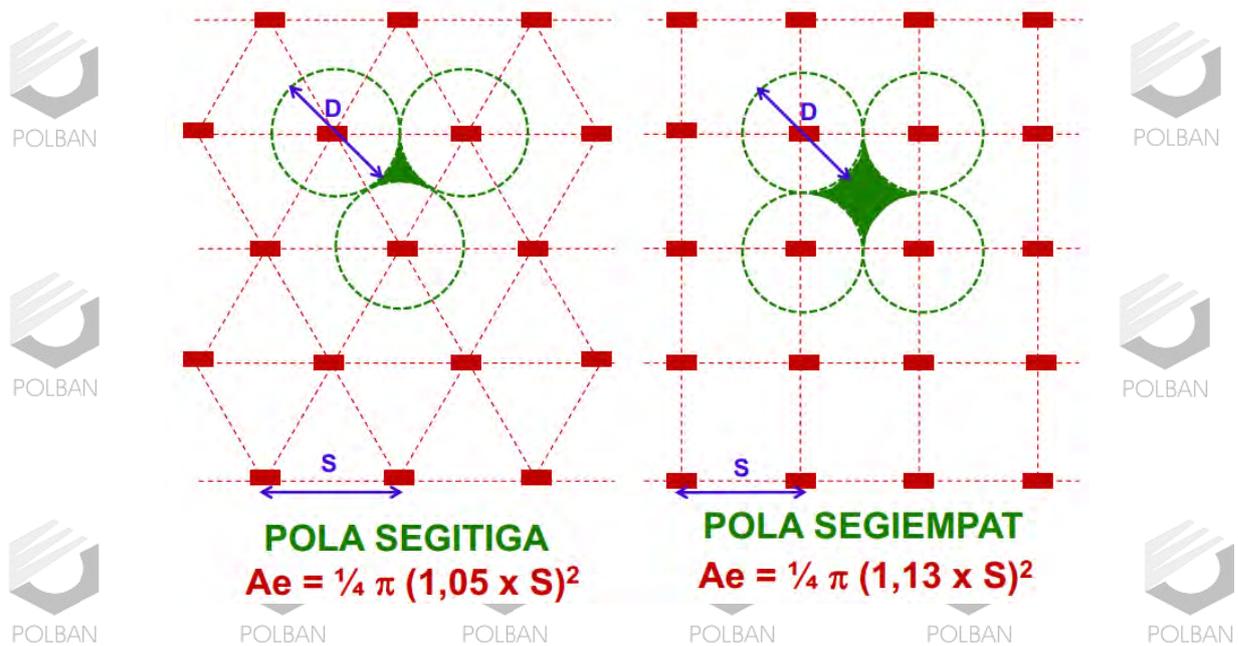
Secara umum *prefabricated vertical drain* merupakan bahan sintesis cetakan untuk drainase. Bahan tersebut dibagi atas dua komponen, yaitu *geotextile filter fabric* atau serat penyaring geotekstil yang akan mempermudah aliran air masuk ke dalam rongga-rongga tanah dan *plastic drain core* atau plastic drainase. Plastik drainase berfungsi sebagai pengumpul dan penyalur air. Bahan yang digunakan pada *PVD* terbuat dari *polypropylene*, *polystyrene*, dan *polyester* yang digunakan untuk ketahanan dari lapisan tanah agar tetap stabil. *PVD* umumnya berupa tiang vertikal yang berbahan gabungan dari *core* inti yang berfungsi mengalirkan air dan *jacket* yang berfungsi untuk mencegah material tanah agar tidak ikut terbawa ke dalam *core* seperti pada **Gambar II.8**



**Gambar II.8** Bentuk Vertical drain (<https://gzshaohua.en.made-in-china.com> diakses pada tanggal 13-8-2018 pukul 18:00 WIB)

Pola pemasangan drainase vertikal yang biasa dipakai adalah pola segitiga, dan segi empat. Diameter yang dapat digunakan dapat dihitung dengan persamaan

1. Pola segiempat :  $D = 1.13S$
2. Pola segitiga :  $D = 1.05S$



**Gambar II.9** Pola pemasangan *vertical drain*. ([www.geosistem.co.id](http://www.geosistem.co.id) diakses pada tanggal 7-7-2018 pukul 13:22)

Keofisien konsolidasi horizontal dapat ditentukan dari nilai koefisien konsolidasi vertikal ( $C_v$ ) dengan perhitungan sebagai berikut:

$$C_h = \left(\frac{k_h}{k_v}\right) C_v \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

- $K_h$  = Koefisien permeabilitas horizontal
- $K_v$  = Koefisien permeabilitas vertikal

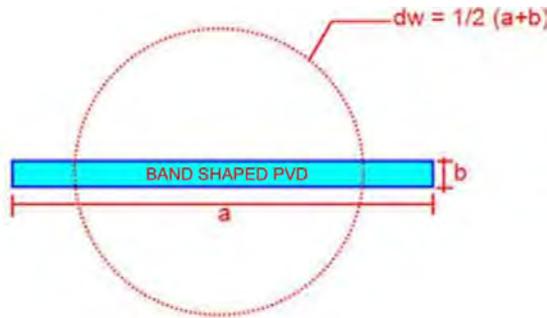
Perbandingan antara koefisien permeabilitas horizontal dan vertikal berkisar antara 2 sampai 5 kali koefisien konsolidasi vertikal. Faktor hambatan akibat jarak antar PVD dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut:

$$F\left(\frac{d}{d_w}\right) = \ln \left(\frac{D}{d_w}\right) - \frac{3}{4} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

$d_w$  = diameter equivalen PVD =  $\frac{1}{2} (a+b)$

D = Diameter lingkaran (1,05.S untuk pola segitiga dan 1,13S untuk pola bujursangkar)



Gambar 2.10 Diameter ekuivalen untuk PVD (Mochtar,2000)

### 2.7.3 Parameter Tanah Untuk Penentuan Derajat Konsolidasi

Derajat konsolidasi pada penggunaan PVD terbagi menjadi 2 bagian. Yaitu arah horizontal dan vertikal. Perhitungan derajat konsolidasi arah vertikal ( $U_v$ ) dapat dihitung dengan rumus

$$U_v = \left( \sqrt{\frac{2T_v}{\pi}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

$$T_v = \frac{t \cdot C_v}{H_{dr}^2} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan :

- $T_v$  = Faktor waktu
- $t$  = Waktu sembarang yang dipilih
- $C_v$  = Harga  $C_v$  tanah pada lapisan setebal panjang PVD

$U_v$  = Derajat konsolidasi arah vertikal

$H_{dr}$  = Panjang PVD

Perhitungan derajat konsolidasi arah horizontal dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$U_h = [1 - \exp(-x)] \times 100\% \quad (10)$$

$$x = \frac{8 \cdot c_h \cdot t}{D^2 \cdot F(n)} \quad (11)$$

**Keterangan**

t = Waktu sembarang yang dipilih

D = Diameter lingkaran

C<sub>h</sub> = Koefisien konsolidasi aliran horizontal

F(n) = Faktor tahanan akibat jarak antara PVD

Derajat konsolidasi arah horizontal dan vertikal dirata-ratakan sehingga mendapatkan derajat konsolidasi rata-rata dengan rumus sebagai berikut:

$$U_r = [1 - (1 - U_h) \cdot (1 - U_v)] \times 100\%$$

U<sub>v</sub> = Derajat konsolidasi arah vertikal

U<sub>h</sub> = Derajat konsolidasi arah horizontal