

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain 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. (Das, 1995). Berdasarkan ukuran partikel, tanah dibagi menjadi empat jenis ; kerikil (gravel), Pasir (sand), lanau (silt), dan lempung (clay). Menurut Sistem Klasifikasi Unified, kerikil dan pasir disebut sebagai tanah berbutir kasar, sedangkan lanau dan lempung disebut sebagai tanah berbutir halus. Tanah memiliki parameter-parameter penting yang menunjukkan sifat tanah tersebut, antara lain ; berat volume tanah (γ), kohesi (C), dan sudut geser tanah (ϕ). Pembagian lapisan didasarkan pada konsistensi tanah seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Korelasi berdasarkan Konsistensi Tanah (untuk Tanah Dominan Lanau dan Lempung)

Konsistensi Tanah	Taksiran Harga Kekuatan Geser undrained, C_u		Taksiran harga SPT, Harga N	Taksiran harga tahanan conus, q_c (dari sondir)	
	kPa	ton/m ²		Kh/cm ²	kPa
Sangat lunak (very soft)	0-12,5	0-1,25	0-2,5	0-10	0-1000
Lunak (soft)	12,5-25	1,25-2,5	2,5-5	10-20	1000-2000
Menengah (medium)	25-50	2,5-5	5-10	20-40	2000-4000
Kaku (stiff)	50-100	5,0-10	10-20	40-75	4000-7500
Sangat kaku (very stiff)	100-200	10-20	20-40	75-150	7500-15000
Keras (hard)	>200	>20	>40	>150	>15000

sumber : Mochtar (2006), revised (2012)

2.2 Tanah Lempung

Lempung adalah tanah yang berukuran kurang dari 0,002 mm dan mempunyai partikel-partikel tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air (Grim, 1953 dalam Das, 1993). Partikel-partikel tanah yang berukuran lebih kecil dari 2 mikron (2μ), atau <5 mikron menurut sistem klasifikasi yang lain, disebut sebagai partikel tanah lempung partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid ($<1\mu$) dan ukuran 2μ merupakan batas atas (paling besar) dari ukuran partikel mineral lempung.

2.3 Preloading

Preloading adalah metode perbaikan tanah dengan memberikan beban awal yang berlebih, sehingga pada waktu yang pendek didapatkan penurunan yang sama besarnya dengan total pemampatan beban rencana

2.3.1 Pemampatan

Bila suatu lapisan tanah mengalami pembebanan akibat beban di atasnya, maka tanah dibawah beban yang bekerja tersebut akan mengalami kenaikan tegangan, eksese dari kenaikan tegangan ini adalah terjadinya penurunan elevasi tanah dasar (*settlement*). Pemampatan (*settlement*) pada tanah disebabkan oleh pembebanan yang dapat dibagi dalam dua kelompok, yaitu :

a. Pemampatan segera (*immediate settlement*)

Penurunan seketika terjadi seketika saat beban diletakan diatas tanah, penambahan beban tersebut menimbulkan tegangan tekan yang menyebabkan tanah terkompresi ke arah vertikal dan penurunan yang terjadi ini akan diikuti pergerakan tanah ke arah lateral. Pada umumnya, penurunan seketika dominan terjadi pada tanah pasir

sedangkan pada tanah lempung jarang terjadi sehingga dalam perhitungan sering diabaikan (Gouw, 2009)

b. Pemampatan konsolidasi (*consolidation settlement*)

Penurunan konsolidasi yaitu penurunan yang disebabkan perubahan volume tanah selama periode keluarnya air pori dari tanah. Pada tanah lempung jenuh air, penambahan total tegangan akan diteruskan ke air pori dan butiran tanah

c. Pemampatan Konsolidasi Sekunder (*Secondary Consolidation Settlement*)

Adalah penurunan setelah tekanan air pori hilang seluruhnya. Hal ini lebih disebabkan oleh proses pemampatan akibat penyesuaian yang bersifat plastis dari butir-butir tanah.

Besarnya pemampatan tanah total dalam Wahyudi (1997), adalah :

$$S_t = S_i + S_{cp} + S_{cs} + S_{lat} \quad (2.1).$$

Dimana :

S_t = total *settlement*

S_i = *immediate settlement*

S_{cp} = *primary consolidation settlement*

S_{cs} = *secondary consolidation settlement*

S_{lat} = *settlement* akibat gaya lateral

2.3.2 Pemampatan Konsolidasi (S_c)

Pemampatan konsolidasi yaitu pemampatan yang disebabkan perubahan volume tanah selama periode keluarnya air pori dari tanah. Pada tanah lempung jenuh air, penambahan total tegangan akan diteruskan ke air pori dan butiran tanah. Hal ini berarti penambahan tegangan total ($\Delta\sigma$) akan terbagi ke tegangan efektif dan tegangan air pori.

Menurut Das (1985), besar pemampatan konsolidasi pada lapisan tanah lempung setebal H dapat dihitung dengan persamaan berikut :

1. Untuk NC-Soil

$$S_c = \frac{c_c \cdot H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma}{\sigma'_{v0'}} \right) \quad (2.2)$$

2. Untuk OC-Soil

- Apabila $\sigma'_{v0} + \Delta\sigma' \leq \sigma_c$, maka :

$$S_c = \frac{c_c \cdot H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma}{\sigma'_{v0'}} \right) \quad (2.3)$$

- Apabila $\sigma'_{v0} + \Delta\sigma' \geq \sigma_c$, maka :

$$s_c = \frac{c_s \cdot H}{(1+e_0)} \log \left(\frac{\sigma_c'}{\sigma'_{v0'}} \right) + \frac{c_c \cdot H}{(1+e_0)} \log \left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'}{\sigma_c'} \right) \quad (2.4)$$

Dimana :

S_c = besar pemampatan (m)

C_c = indeks pemampatan

C_s = indeks pemuai

e_0 = angka pori

σ'_o = tegangan *overburden* efektif

$\Delta\sigma$ = penambahan beban vertikal

σ'_c = tegangan pra-konsolidasi

Semua persamaan pemampatan konsolidasi adalah untuk lapisan tanah yang *compressible* (N-SPT < 10).

2.3.3 Data dan Parameter Tanah untuk Perhitungan *settlement*

Parameter-parameter tanah yang digunakan untuk perhitungan *settlement* adalah sebagai berikut :

1. Tebal Lapisan *Compressible*

Tebal lapisan *compressible* yang diperhitungkan adalah yang memiliki nilai N-SPT < 10.

2. Tegangan *Overburden* Efektif (σ'_o)

Tegangan *Overburden* efektif adalah tegangan vertikal efektif dari tanah asli akibat beban atau lapisan tanah di atas

titik tanah asli yang ditinjau. Tegangan *overburden* efektif didapatkan dengan rumusan sebagai berikut :

$$\sigma'_o = \gamma' \times H \quad (2.5)$$

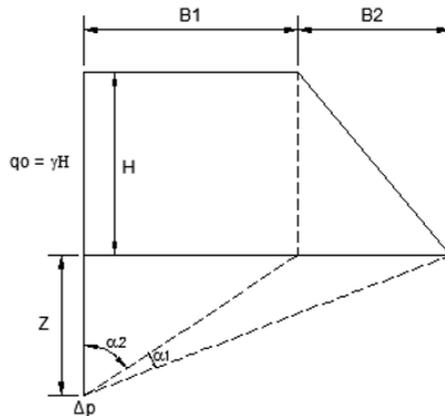
Dimana :

γ' = berat jenis efektif tanah

H = kedalaman lapisan tanah hingga titik yang ditinjau

3. Distribusi Tegangan Tanah ($\Delta\sigma$)

Distribusi Tegangan Tanah merupakan tambahan tegangan akibat pengaruh beban tambahan diatas tanah yang ditinjau di tengah-tengah lapisan. Menurut Braja M. Das (1986). Diagram tegangan tanah akibat timbunan ditunjukkan oleh Gambar 2.1



Gambar 2.1 Diagram tegangan tanah akibat timbunan
Sumber: *principles of Foundation Engineering, Second Edition*

Besarnya $\Delta\sigma'$ adalah :

$$\Delta_{\sigma}' = 2 \times I \times q_0 \quad (2.6)$$

Dimana :

Δ_{σ}' = besar distribusi tegangan

q_0 = beban timbunan

I = Faktor pengaruh

$$I = \frac{(a+b)}{a}(\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{b}{a}(\alpha_2) \quad (2.7)$$

Dimana :

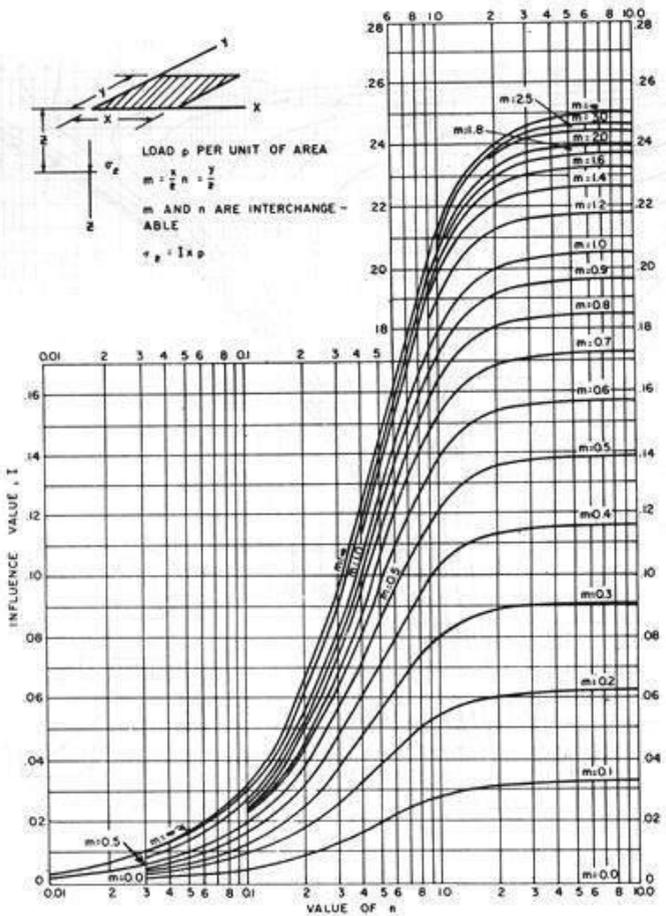
a = panjang horizontal kemiringan timbunan

b = lebar setengah timbunan

$\alpha_1 = \left[\tan^{-1} \left\{ \frac{a+b}{z} \right\} - \tan^{-1} \left(\frac{b}{z} \right) \right] (\text{radian})$

$\alpha_2 = \left[\tan^{-1} \left(\frac{b}{z} \right) \right] (\text{radian})$

Sedangkan untuk menentukan Faktor Pengaruh pada beban segiempat dapat dicari dengan grafik (NAVFAC DM-7, 1970)



Gambar 2.2 Grafik Faktor Pengaruh (I)

(Sumber : NAVFAC DM-7)

4. Beban *Traffic*

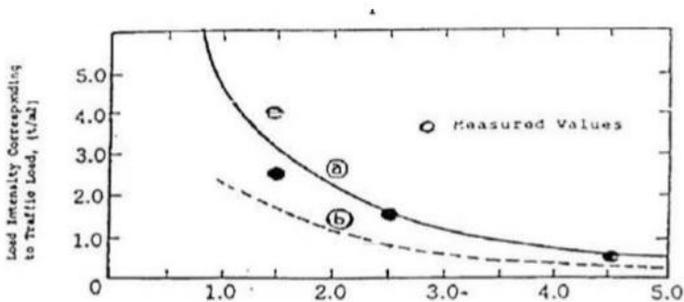
Pada perencanaan jalan, beban *traffic* merupakan beban yang harus dipikul oleh tanah dasar. Beban *traffic*

2.3.4 Menghitung Distribusi Tegangan

Perhitungan distribusi tegangan akibat beban timbunan ini akan dihitung berdasarkan dengan tinggi akhir 3, 5 dan 7 meter.

- H_{traffic}

Pada perencanaan jalan, beban *traffic* merupakan beban yang harus dipikul oleh tanah dasar. Beban *traffic* diperhitungkan sebagai beban merata yang tergantung dari tinggi timbunan embankment (Japan Road Association, 1986). Makin tebal tinggi timbunan, makin kecil pengaruh beban *traffic* terhadap tanah dasar. Kurva hubungan antara tinggi timbunan dengan beban *traffic* yang digunakan untuk perencanaan disajikan Gambar 2.2



Gambar 2.3 Kurva Hubungan Antara Tebal Timbunan Dengan Intensitas Beban Yang Bersesuaian Dengan Beban *Traffic* (sumber: Mochtar, 2000)

Sedangkan persamaan untuk mencari nilai H_{traffic} dapat dicari dengan persamaan 2.8

$$H_{\text{traffic}} = \frac{q_{\text{atulintas}}}{\gamma_{\text{timbunan}}} \quad (2.8)$$

- Menentukan $H_{\text{beban timbunan}}$ dapat di asumsiakan diatas dan dibawah nilai $H_{\text{final timbunan}}$

- H_{timbunan} dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$H_{\text{timbunan}} = H_{\text{traffic}} + H_{\text{beban timbunan}} \quad (2.9)$$

- Mencari nilai a dengan rumus sebagai berikut :

$$a = 2 \times H_{\text{timbunan}} \quad (2.10)$$

- Mencari nilai b dengan rumus sebagai berikut :

$$b = \frac{\text{lebar timbunan}}{2} \quad (2.11)$$

- Menghitung q dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$q = \gamma_{\text{timbunan}} \times H_{\text{timbunan}} \quad (2.12)$$

2.4 prefabricated Vertical Drain (PVD)

Vertical Drain berfungsi untuk mempercepat waktu pemampatan konsolidasi primer pada lapisan tanah lempung *compressible*. Hal ini dikarenakan pemampatan konsolidasi yang terjadi pada tanah lempung berlangsung sangat lambat. Dengan adanya *Vertical Drain* maka air pori tanah tidak hanya mengalir keluar ke arah vertikal saja, tetapi juga ke arah horizontal. Metode ini digunakan saat penimbunan bertahap dan untuk mengurangi waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi rencana.

Vertical Drain dapat berupa kolam pasir (*sand drain*) atau *pre-fabricated vertikal drain* (PVD). PVD terbuat dari bahan geosintetik yang diproduksi oleh pabrik. Bahan ini dapat mengalirkan air dengan baik, namun masa efektif kerja bahan ini hanya 6 bulan. PVD lebih umum dipakai di lapangan dibandingkan dengan kolam pasir karena kolam pasir pemasangannya jauh lebih rumit dan juga lebih mahal.

2.4.1 Kedalaman *Vertical Drain*

Kedalaman *Vertical Drain* adalah sepanjang lapisan tanah yang mengalami konsolidasi. *Vertical Drain dipasang* dipasang sepanjang lapisan tanah *compressible* ($N-SPT < 10$) atau sedalam lapisan tanah yang masih mengalami pengaruh akibat distribusi tegangan dari beban di atasnya.

PVD umumnya berbentuk pita dengan sebuah inti plastik beralur terbuat dari material geosintesis (material polimer) yang dibentuk seperti potongan yang panjang. Material polimer dapat berupa Material PVC dengan lebar 90 sampai 100 mm, ketebalan 2 sampai 6 mm (Gulhati, Shaskhi K. 2005). Gambaran lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.4 *prefabricated Vertical Drain*.

Sumber: Wahyu P. Kuswanda (TGU)

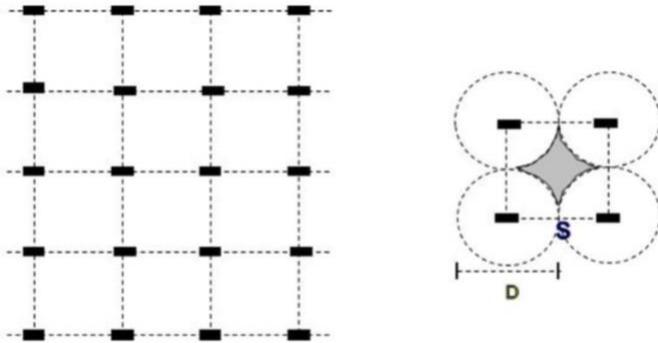
Untuk penentuan titik pemasangan PVD biasanya akan digunakan pola-pola tertentu untuk memudahkan pelaksanaan. Pada

umumnya, PVD dipasang dengan pola bujur sangkar atau segitiga dimana rumus yang berlaku untuk mengetahui daerah pengaruh kerja PVD itu adalah :

$$R = 0,546S \text{ atau } D = 1,13S \text{ (untuk pola bujur sangkar)}$$

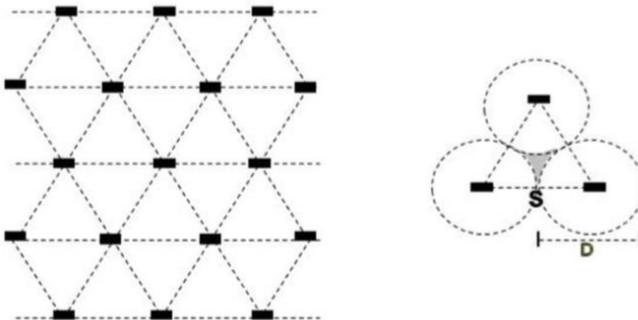
$$R = 0,525S \text{ atau } D = 1,05S \text{ (untuk pola segitiga)}$$

Dimana R adalah jari-jari, D adalah diameter jangkauan kerja PVD dan S adalah *spacing* atau jarak antar PVD



Gambar 2.5 PVD pola susun bujur sangkar

Sumber: Hansbo, 1979 dalam Mochtar, 2000



Gambar 2.6 PVD pola susun segitiga

Sumber: Hansbo, 1979 dalam Mochtar, 2000

Pola segitiga dan bujur sangkar tidak memiliki banyak pengaruh terhadap kinerja PVD, hanya dari segi pemasangan pola bujur sangkar akan lebih mudah untuk di kontrol, sedangkan dari segi penurunan maka pola segitiga akan memberikan penurunan yang lebih seragam.

2.4.2 Waktu Pemampatan

Proses pemampatan tanah lempung yang tebal berlangsung dalam waktu yang sangat lama. Perbandingan antara pemampatan tanah pada saat t dengan pemampatan total dalam waktu $t = \infty$ disebut derajat konsolidasi (U). Nilai derajat konsolidasi berkisar antara 0% sampai 100%. Formula derajat konsolidasi :

$$U = \frac{S_t}{S} \times 100\% \quad (2.13)$$

dimana :

U = derajat konsolidasi

S_t = pemampatan pada saat t

S = pemampatan total yang terjadi

Derajat konsolidasi (U) juga dapat diperoleh dengan persamaan :

- Untuk U antara 0-60%

$$U_v = \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\% \quad (2.14)$$

- Untuk $U > 60\%$

$$U_v = (100 - a)\% \quad (2.15)$$

dimana nilai $a = \frac{1.781 - T_v}{0.933}$

Keterangan :

U_v = derajat konsolidasi vertikal

T_v = Faktor waktu

Pemampatan konsolidasi lapisan tanah dasar yang terjadi disebabkan keluarnya air pori ke lapisan yang lebih porus, yaitu ke

atas atau ke bawah saja (*single drainage*) atau ke atas dan ke bawah (*double drainage*). Waktu konsolidasi menurut Terzaghi dalam Das (1985) dirumuskan sebagai berikut :

$$t = \frac{T(H_{dr})^2}{C_v} \quad (2.16)$$

dimana :

t = waktu konsolidasi

T = faktor waktu

H_{dr} = Panjang aliran air (*drainage*)

C_v = koefisien konsolidasi akibat aliran air pori arah vertikal untuk tanah yang memiliki banyak lapisan dengan ketebalan yang berbeda-beda, harga C_v gabungan dapat ditentukan dengan formula berikut :

$$Cv_{gabungan} = \left[\frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}} \right)} \right]^2 \quad (2.17)$$

dimana :

H₁ = tebal lapisan 1

C_{v1} = nilai C_v pada lapisan 1

2.4.3 Waktu konsolidasi dengan *Vertical Drain*

Waktu konsolidasi yang dibutuhkan dengan menggunakan *Vertikal Drain* menurut (Barron, 1948) adalah :

$$t = \left(\frac{D^2}{8c_h} \right) F(n) \ln \left(\frac{1}{1\bar{U}_h} \right) \quad (2.18)$$

$$\bar{U}_h = 1 - \left[\frac{1}{e^{\left(\frac{t \times 8 \times c_h}{D^2 \times 2 \times F(n)} \right)}} \right] \times 100\% \quad (2.19)$$

Dimana :

t = waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan konsolidasi primer

D = diameter ekivalen dari lingkungan tanah yang merupakan daerah pengaruh dari PVD

C_h = koefisien konsolidasi tanah horizontal

$F(n)$ = faktor hambatan disebabkan karena jarak antar PVD

\bar{U}_h = derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah radial

Fungsi $F(n)$ merupakan fungsi hambatan akibat jarak antar titik pusat PVD. Harga $F(n)$ didefinisikan dengan:

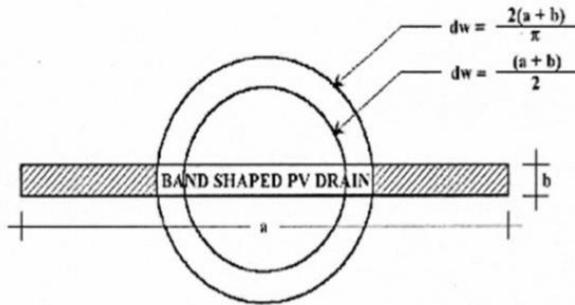
$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2-1^2}\right) \left[\ln(n) - \left(\frac{3n^2-1}{4n^2}\right)\right] \quad (2.20)$$

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2-1^2}\right) \left[\ln(n) - \frac{3}{4} - \left(\frac{1}{4n^2}\right)\right] \quad (2.21)$$

Dimana :

$n = D/dw$

dw = diameter ekuivalen dari *Vertical Drain*



Gambar 2.7 Diameter ekuivalen (dw) PVD

Pada umumnya $n > 20$ sehingga dapat dianggap $1/n = 0$ dan

$$\left(\frac{n^2}{n^2-1^2}\right) \approx 1 \text{ jadi :}$$

$$F(n) = \ln(n) - \frac{3}{4} \quad (2.22)$$

$$F(n) = \ln\left(\frac{D}{dw}\right) - \frac{3}{4} \quad (2.23)$$

(Hansbo, 1979) menentukan waktu konsolidasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$t = \left(\frac{D^2}{8C_h}\right) (F(n) + F_s + F_r) \cdot \ln\left(\frac{1}{1-u_h}\right) \quad (2.24)$$

Dimana :

F(n) = faktor hambatan disebabkan karena jarak antar PVD

F_s = Faktor hambatan tanah yang terganggu

F_r = Faktor hambatan akibat gangguan pada PVD sendiri

Harga Fr merupakan faktor tahanan akibat adanya gangguan pada PVD sendiri dan dirumuskan sebagai berikut :

$$F_r = \pi \cdot z \cdot (L - z) \cdot \left(\frac{k_h}{q_w}\right) \quad (2.25)$$

dimana :

z = kedalaman titik yang ditinjau pada PVD terhadap permukaan tanah

L = panjang drain

k_h = koefisien permeabilitas arah horizontal dalam tanah yang tidak terganggu (*undisturbed*)

q_w = *discharge capacity* dari drain (tergantung dari jenis PVD nya)

Harga F_s merupakan faktor yang disebabkan oleh ada tidaknya perubahan pada tanah di sekitar PVD akibat pemancangan PVD tersebut. Faktor ini memasukkan pengaruh "*disturbance*" (gngguan) terhadap tanah karena pemancangan tersebut. F_s dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F_s = \left(\frac{k_h}{k_s} - 1\right) \cdot \ln\left(\frac{d_s}{d_w}\right) \quad (2.26)$$

dimana :

k_s = koefisien permeabilitas arah horizontal pada tanah sudah terganggu (*disturbed*)

d_s = diameter daerah yang terganggu (*disturbed*) sekeliling *vertical Drain*

d_w = diameter lingkaran ekuivalen untuk PVD

Dalam persamaan diatas, adanya faktor F_s dan F_r cenderung memperlambat kecepatan konsolidasi. Dari penyelidikan diketahui bahwa faktor yang paling penting adalah $F(n)$. Besar faktor (F_s) dapat mendekati atau bahkan lebih besar daripada $F(n)$, tergantung dari besarnya kerusakan pada tanahnya akibat pemancangan PVD. Dari data lapangan didapatkan harga $F_s/F(n)$ dapat berkisar antara 1 sampai 3. Untuk memudahkan perencanaan maka dapat diasumsikan bahwa $F(n)=F_s$. Pengaruh perlawanan aliran (F_r) umumnya kecil dan tidak begitu penting, maka harga F_r dapat dianggap nol. Dengan melihat asumsi diatas, persamaan waktu konsolidasi dapat ditulis sebagai berikut:

$$t = \left(\frac{D^2}{8.C_h} \right) \cdot (2 \cdot F(n)) \cdot \ln \left(\frac{1}{1-\bar{U}_h} \right) \quad (2.27)$$

dimana :

- t = Waktu yang diperlukan untuk mencapai \bar{U}_h
- D = diameter ekivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh dari *Vertical Drain*
- c_h = koefisien konsolidasi tanah horizontal
- $F(n)$ = faktor hambatan disebabkan karena jarak antar PVD
- u_h = derajat konsolidasi tanah horizontal

Dengan memasukkan harga t tertentu, dapat dicari nilai U_h pada lapisan tanah yang dipasang PVD. Selain konsolidasi akibat aliran pori arah horizontal juga terjadi konsolidasi akibat aliran pori arah horizontal juga terjadi konsolidasi akibat aliran air vertikal U_v . Harga U_v dicari dengan persamaan yang sudah ada diatas kemudiandapat dicari derajat konsolidasi rata-rata (\bar{U}) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\bar{U} = [1 - (1 - U_h)(1 - U_v)] \times 100\% \quad (2.28)$$

2.4.4 Peningkatan Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah dasar dapat meningkat jika beban timbunan diletakkan secara bertahap sampai mencapai tinggi timbunan kritis (H_{cr}). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Ardana dan Mochtar (1999), diketahui bahwa terdapat vertikal efektif (σ_p'). Peningkatan daya dukung tanah akibat pemampatan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

- Untuk harga *plastic index*, PI tanah < 120%

$$c_u' = 0,0737 + (0,1899 - 0,0016PI)\sigma_p' \quad (2.29)$$

- Untuk harga *plastic index*, PI tanah > 120%

$$C_u' = 0,0737 + (0,0454 - 0,00004PI)\sigma_p' \quad (2.30)$$

Dimana :

C_u' = daya dukung tanah baru (kg/cm^2)

PI = Indeks plastis tanah

σ' = tegangan efektif (kg/cm^2)

Untuk tanah yang sedang mengalami konsolidasi, harga σ_p' berubah sesuai dengan waktu. Secara umum menurut Ardana dan Mochtar (1999) harga σ_p' dapat dicari dengan cara berikut :

$$\sigma_p' = \left(\frac{P_o' + \Delta p'}{P_o'} \right) P_o' \quad (2.30)$$

Bila : $U = 100\% = 1$, maka $\sigma_p' = P_o' + \Delta_p'$

$U < 100\%$, maka $\sigma_p' < P_o' + \Delta_p'$

Menghitung penambahan tegangan efektif akibat beban timbunan dengan derajat konsolidasi (U) < 100% dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 2.4 Rumus Penambahan Tegangan Efektif U<100%

Tahap Penimbunan (meter)	Umur Timbunan (minggu)	Derajat Konsolidasi PVD U%	Δp pada U < 100%
Tanah asli		100	
H ₁	4	U PVD 4 minggu	$\left\{ \left(\frac{\sigma_1'}{P_o'} \right)^{u_4} P_o' \right\} - P_o'$
H ₂	3	U PVD 3 minggu	$\left\{ \left(\frac{\sigma_2'}{\sigma_1'} \right)^{u_3} \sigma_1' \right\} - \sigma_1'$
H ₃	2	U PVD 2 minggu	$\left\{ \left(\frac{\sigma_3'}{\sigma_2'} \right)^{u_2} \sigma_2' \right\} - \sigma_2'$
H ₄	4	U PVD 1 minggu	$\left\{ \left(\frac{\sigma_4'}{\sigma_3'} \right)^{u_1} \sigma_3' \right\} - \sigma_3'$

Sumber : Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah, 2012

2.4.4.1 Stabilitas Timbunan

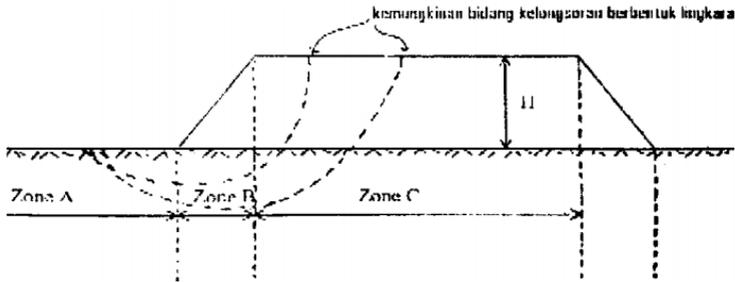
Perhitungan stabilitas timbunan dapat dihitung menggunakan program stable (atau program apa saja yang sejenis) dengan asumsi (mochtar,2012) sesuai Gambar 2.6 yaitu :

Zona A = Tanah dalam kondisi asli, Cu=Cu asli

Zona B = Zona Transisi, yaitu

$$Cu B = \frac{Cu A + Cu B}{2} \quad (2.31)$$

Zona C = zona terkonsolidasi dibawah timbunan H, harga σ' tegangan tergantung pada tinggi H. Harga Cu di C dihitung dengan formula harga Cu baru.



Gambar 2.8 Pembagian Zona kekuatan Tanah
 Sumber : Mochtar,2012

2.5 Geotextile Sebagai Perkuatan Lereng

Menurut buku Geosintetik Untuk Jalan Raya edisi ke-2 yang diterbitkan oleh Hardiyatmo (2013), geotekstil adalah material lembaran yang dibuat dari bahan tekstil *polymeric*, bersifat lolos air, yang dapat berbentuk bahan nir-anyaman (*non woven*), Rajutan atau anyaman (*woven*) yang digunakan dalam kontak dengan tanah/batu dan/atau material georeknik yang lain di dalam aplikasi teknik sipil.

Geotekstil dapat dipasang dengan panjang yang sama, atau berbeda-beda. Secara tipikal, umumnya geotekstil yang dipakai panjangnya sama, namun geotekstil juga bisa dipasang selang-seling dengan panjang berbeda. Geotekstil yang lebih pendek berfungsi untuk penulangan sekunder. Tulangan lebih pendek ini berguna untuk mengatasi masalah tingkat kepadatan tanah di bagian pinggir lereng timbunan yang biasanya sulit memenuhi syarat. Selain itu, tulangan sekunder ini juga berguna untuk mengurangi longsoran.

2.5.1 Perancangan Jumlah Perkuatan Geotekstil

Dalam perancangan jumlah perkuatan geotekstil didasarkan pada kondisi lereng yang memiliki faktor keamanan rendah yang mana dalam perancangan geotekstil diharapkan mampu memberikan

tambahan kekuatan eksternal yang menjadikan lereng memiliki faktor keamanan dalam kondisi stabil dalam menahan kelongsoran. Maka tahapan untuk menganalisa kondisi lereng untuk dilakukan kekuatan sebagai berikut :

1. Lereng memiliki faktor keamanan angka dibawah 1 yang mana dalam tinjauan keamanan memerlukan kekuatan dalam menjaga stabilitas lereng tersebut.
2. Menghitung ΔMR
3. Menghitung nilai T_{allow} S_i (Faktor-faktor pengurangan kekuatan geotekstil)
4. Menentukan nilai S_v (Jarak Vertikal Geotekstil)
5. Memperoleh jumlah geotekstil berdasar pada aktor keamanan yang direncanakan.

Momen penahan (M_r) ditinjau pada lereng tanpa kekuatan geotekstil, dapat dilihat pada persamaan (2.32).

$$M_r = R \cdot \sum \tau_i \cdot l_i \quad (2.32)$$

Dan momen penahan (M_r) ditinjau pada lereng dengan kekuatan geotekstil, dapat dilihat pada persamaan (2.33).

$$M_r = M_r + \Delta M_r \quad (2.34)$$

$$M_r = R \cdot \sum \tau_i \cdot l_i + T_i \cdot S_i$$

Dan diuraikan ΔM_r dengan persamaan (2.45)

$$\Delta M_r = \sum T_i \cdot S_i \quad (2.35)$$

Dimana

- Ti = jarak masing-masing kekuatan terhadap pusat lingkaran longsor O
 Si = kekuatan geotekstil yang tersedia
 R = jari-jari lingkaran bidang longsor

Setelah menentukan dan mengetahui rumus untuk mengetahui M_r dan ΔM_r , maka selanjutnya diuraikan untuk mengetahui kekuatan geotekstil yang tersedia dengan meninjau faktor-faktor pengurangan kekuatan.

$$S_i = T_{Allow} = T_{Ult} + \frac{1}{FS_{ID}FS_{CR}FS_{CD}FS_{BD}} \quad (2.36)$$

Dimana

T_{allow} = kekuatan geotekstil yang tersedia

S_i = kekuatan Ultimate geotekstil

FS_{ID} = Faktor keamanan akibat kesalahan pemasangan

FS_{CR} = faktor keamanan akibat rangkai

FS_{CD} = faktor keamanan akibat pengaruh kimia

FS_{BD} = faktor keamanan akibat pengaruh biologi

Untuk meninjau ΔM_R lereng tanpa perkuatan akan di mulai dengan persamaan (2.37), (2.38), (2.39).

$$SF = \frac{M_{res}}{M_d} \quad (2.37)$$

Dilanjutkan,

$$M_{res}(req) = M_d \times SF_{design} \quad (2.38)$$

Maka,

$$\Delta M_r = M_{res}(req) - M_{res} \quad (2.39)$$

Dan setelah diketahui ΔM_R lereng tanpa perkuatan dan ΔM_R lereng dengan rencana perkuatan menggunakan geotekstil maka akan di dapat jumlah perkuatannya.

2.1.1 Perencanaan Panjang Perkuatan Geotekstil

Panjang *Geotextile* ditanam (L) pada satu sisi timbunan :

$$L = L_e + L_d \quad (2.40)$$

Dimana :

L_d = panjang *Geotextile* di depan bidang longsor (koordinat-X bidang longsor lapisan I *geotextile* terpasang – (koordinat teoi timbunan lapis I *geotextile* dipasang)

L_e = panjang *geotextile* yang berada di belakang bidang longsor (minimum 1m).

$$L_e = \frac{T_{allow} \times FS}{(\tau_1 + \tau_2) \times E} \quad (2.41)$$

Dimana :

τ_1 = tegangan Geser antar tanah timbunan dengan *geotextile*
 $(\tau_1 = C_{u1} + \sigma_v \tan \phi_1)$

τ_2 = tegangan geser antar tanah timbunan dengan *geotextile*
 $(\tau_2 = C_{u2} + \sigma_v \tan \phi_2)$

E = efisiensi, untuk efisiensi diambil E=0,8

FS = faktor keamanan, disesuaikan dengan penggunaan *geotextile*.

Sedangkan untuk mencari panjang *overlapping* (L_o) pada persamaan (2.42)

$$L_o = \frac{1}{\beta} \frac{T_{allow}}{4(c + \sigma_v \tan \phi)} \geq 1m \quad (2.42)$$

Dimana :

L_o = panjang *Overlapping geotextile* (m)

β = koefisien *interface* tanah terhadap geotekstil (dipakai 0,67)

C = kohesi tanah (kN/m²)

σ_v = tekanan tanah vertikal (kN/m²)

ϕ = sudut geser dalam (°)

$$\sigma_v = \gamma \times Hi \quad (2.43)$$

Dimana :

γ = berat volume tanah (kN/m³)

Hi = tinggi tanah ke-i dihitung dari permukaan (m)