

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopis dan submikroskopis yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat plastis dengan kadar air sedang sampai tinggi. Dalam keadaan kering sangat keras, sedangkan pada kadar air yang tinggi (basah) lempung tersebut bersifat lengket (Terzaghi, 1967).

2.2. Konsolidasi

Konsolidasi adalah suatu proses pengecilan volume secara perlahan-lahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori. Proses ini berlangsung terus menerus sampai kelebihan tekanan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total adalah benar-benar hilang (Craig, 1989).

2.3. Penurunan Konsolidasi

Penurunan konsolidasi merupakan hasil perubahan volume tanah jenuh air sebagai sebab keluarnya air yang menempati pori-pori tanah akibat tekanan air pori yang berlebih. Hal ini terjadi bila tanah diberi beban di atasnya (Das, 1988). Penurunan yang terjadi memerlukan waktu dan lamanya waktu sangat tergantung pada kondisi lapisan tanahnya

Bila suatu lapisan tanah jenuh air diberi penambahan beban, angka tekanan air pori akan naik secara mendadak. Pada tanah berpasir yang sangat permeabel, air dapat mengalir dengan cepat sehingga pengaliran air pori keluar sebagai akibat dari tekanan air pori dapat selesai dengan cepat. Berbeda dengan tanah pasir, pada tanah lempung tingkat permeabilitasnya rendah. Penambahan tekanan air pori yang disebabkan pembebanan akan berkurang secara lambat laun dalam jangka waktu yang sangat lama.

Pada tanah lempung lunak perubahan volume yang disebabkan oleh keluarnya air dari dalam pori (konsolidasi) akan terjadi setelah penurunan segera (penurunan yang merupakan akibat deformasi elastis tanah tanpa adanya perubahan kadar air). Penurunan konsolidasi tersebut biasanya jauh lebih besar dan lebih lambat dibandingkan dengan penurunan segera (Das, 1988).

2.4. Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga porinya. Permeabilitas sering dilukiskan sebagai sebagai sifat tanah yang menggambarkan bagaimana air mengalir melalui tanah.

Secara teoritis, semua jenis tanah lebih atau kurang mempunyai rongga pori. Pada prakteknya istilah mudah meloloskan air (permeabel) ditujukan untuk tanah yang memang benar-benar mempunyai sifat meloloskan air. Sebaliknya, tanah disebut kedap air (impermeabel) bila tanah tersebut mempunyai kemampuan meloloskan air yang sangat kecil.

Ada beberapa cara untuk menentukan nilai koefisien permeabilitas, antara lain berdasarkan uji konsolidasi. Penentuan besarnya nilai koefisien permeabilitas yang diperoleh dari suatu uji konsolidasi adalah sebagai berikut:

$$T_v = \frac{C_v t}{H^2} \quad (2-1)$$

T_v = faktor waktu

C_v = koefisien konsolidasi

H = panjang rata-rata lintasan drainase

t = waktu pengaliran

Persamaan koefisien konsolidasi adalah :

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w m_v} \quad (2-2)$$

γ_w = berat unit air

m_v = koefisien perubahan volume

$$\text{nilai } m_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma (1 + e)} \quad (2-3)$$

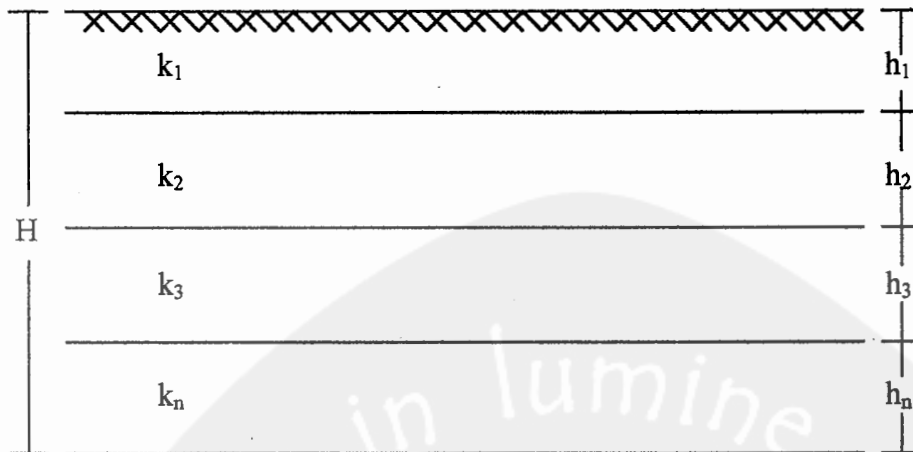
Δe = perubahan angka pori pada perubahan beban

$\Delta \sigma$ = tambahan tekanan yang diterapkan

Substitusi dari ketiga persamaan tersebut menghasilkan :

$$k = \frac{T_v \gamma_w \Delta e H^2}{t \Delta p (1 + e)} \quad (2-4)$$

k = koefisien permeabilitas tanah



Gambar 2.1
Lapisan Tanah

- a. Koefisien Permeabilitas Vertikal (k_v)

$$k_v = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{h_i}{k_i} \right)} \quad (2-5)$$

- b. Koefisien Permeabilitas Horisontal (k_h)

$$k_h = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \cdot h_i}{H} \quad (2-6)$$

2.5. Prapembebanan (Preloading)

Penurunan yang terjadi pada suatu area dimana struktur dibangun terkadang terlalu besar, sehingga seringkali tidak dapat ditolerir. Begitu pula pada tanah lunak, penurunan yang terjadi biasanya cukup besar. Cara terbaik untuk mengurangi besarnya penurunan yaitu dengan *preloading* (Xanthakos, 1994).

Tujuan dari *preloading* adalah meningkatkan daya dukung tanah dan mengurangi kompresibilitas pada tanah lunak dengan membuat butiran-butiran tanah menjadi pampat. Selain itu *preloading* dapat mengurangi besarnya penurunan dan penurunan berbeda (*differential settlement*).

Yang dimaksud dengan *preloading* disini yaitu memberikan penambahan beban berupa timbunan sementara pada area dimana suatu struktur akan dibangun. Kegagalan geser biasanya terjadi jika lapisan *preloading* ditambahkan terlalu cepat. Oleh karena itu seluruh timbunan tidak boleh langsung ditambahkan, harus setahap demi setahap.

Timbunan di atas tanah tersebut berfungsi sebagai beban sehingga terjadi tegangan yang besar dan air terdesak untuk secepatnya keluar dari partikel tanah. Drainase yang terjadi pada *preloading* ini adalah drainase pada arah vertikal. Besarnya beban yang ditambahkan sama dengan beban yang direncanakan. Bila konsolidasi primer telah selesai, selanjutnya timbunan tersebut dipindahkan. (Manfred, 1990).

Bila permukaan tanah diberi tambahan timbunan yang besarnya hampir sama dengan beban yang akan direncanakan (p_f) maka akan ada tambahan intensitas tegangan sebesar p_f . Akibat beban tersebut, maka penurunan konsolidasi primer total diperkirakan akan sama dengan S_{pf} . Bila penurunan total S_{pf} telah tercapai, timbunan tersebut dipindahkan untuk kemudian dilaksanakan pembangunan struktur yang diinginkan.

2.5.1 Menentukan besarnya penurunan yang terjadi

$$S_{pf} = \frac{\Delta e}{1 + e_o} H \quad (2-7)$$

1. Pada lempung terkonsolidasi normal (*normally consolidated*)

$$\text{Nilai } \Delta e = C_c \log \frac{p'_o + \Delta p}{p'_o} \quad (2-8)$$

2. Pada lempung terkonsolidasi berlebih (*overconsolidated*), nilai perubahan angka pori (Δe) dipertimbangkan dalam dua kondisi, yaitu:

- a. Jika $p'_1 < p'_c$

$$\Delta e = C_r \log \frac{p'_o + \Delta p}{p'_o} \quad (2-9)$$

$$p'_1 = p'_o + \Delta p \quad (2-10)$$

- b. Jika $p'_o < p'_c < p'_1$

$$\Delta e = C_r \log \frac{p'_c}{p'_o} + C_c \log \frac{p'_o + \Delta p}{p'_c} \quad (2-11)$$

p'_o = tekanan *overburden* efektif rata-rata

S_{pf} = penurunan akibat konsolidasi primer pada beban p_f dengan

$$\Delta p = p_f$$

2.6. Vertical Drains

Vertical drains dipasang untuk mempercepat konsolidasi dan meningkatkan kekuatan pada tanah kohesif. Tanpa pemasangan *vertical drains*, konsolidasi pada tanah lempung akan berlangsung dalam jangka waktu yang lama. Prinsip kerja *vertical drains* ini adalah menyediakan jalan aliran drainase yang lebih pendek, sehingga air dapat terdrainase (keluar dari partikel tanah) secepat mungkin. Asumsi yang digunakan pada metode *vertical drains* ini adalah

konsolidasi terjadi pada arah radial, dengan potongan melintang berbentuk lingkaran.

Vertical drains hanya mempercepat konsolidasi primer, karena banyaknya air yang terdrainase pada konsolidasi primer tersebut. Konsolidasi sekunder hanya disebabkan oleh keluarnya sebagian kecil dari air, sehingga penurunan sekunder tidak dipercepat dengan adanya *vertical drains*. Penurunan akibat konsolidasi sekunder jarang diperhitungkan karena pengaruhnya sangat kecil.

2.7. Kombinasi *Preloading* dan *Vertical Drains*

Kombinasi antara *preloading* dan *vertical drains* merupakan suatu alternatif yang ekonomis dan efisien dalam metode perbaikan tanah, karena kedua metode ini saling melengkapi. Metode *vertical drains* hanya mempercepat konsolidasi, sehingga penurunan total dapat berlangsung dalam waktu yang relatif singkat. Metode ini tidak bisa mengurangi besarnya penurunan dengan memampatkan partikel-partikel tanah.

Untuk mengurangi besarnya penurunan digunakan metode *preloading*. Selain itu *preloading* dapat mengurangi terjadinya perbedaan penurunan (*differential settlement*). Dengan kombinasi kedua metode tersebut, konsolidasi terjadi pada dua arah yaitu konsolidasi radial akibat *vertical drains* dan vertikal akibat *preloading*. Waktu yang ditempuh untuk terjadinya penurunan total akan semakin singkat

2.8. Sand Drain

Sand drain merupakan metode yang lebih konvensional dan sederhana dibandingkan metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). *Sand drain* terbuat dari lubang bor yang diisi dengan pasir. Air yang mengisi rongga antar butiran tanah lempung akan terserap ke dalam pasir, karena pasir bersifat permeabel.

Diameter kolom *sand drain* ini berkisar antara 200-450 mm dan jarak antar kolomnya berkisar antara 1,5 – 6 m. Jarak antar kolom pasir yang relatif dekat mengakibatkan aliran drainase pada arah horisontal lebih pendek daripada arah vertikal. Aliran air pada arah horisontal lebih besar daripada arah vertikal.

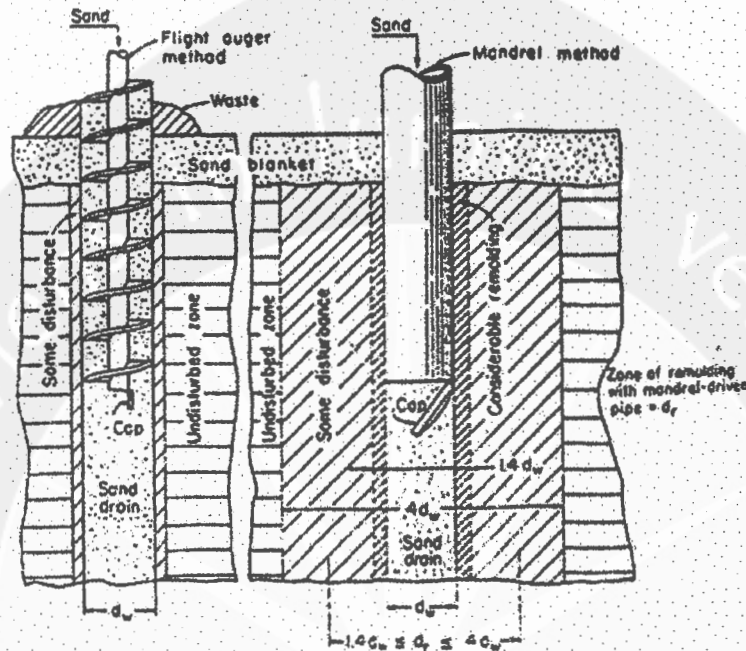
2.8.1 Cara pemasangan *sand drain*

Ada dua kategori pemasangan *sand drain*, yaitu :

- a. Tipe pemasangan *non displacement*, yaitu dengan cara mengebor lubang dengan *power auger* ataupun *water jet*. Pasir diletakkan ke dalam lubang dengan cara gravitasi ataupun dengan disemprotkan. Waktu yang dibutuhkan untuk pemasangan 5 – 20 menit.
- b. Tipe pemasangan *displacement*, yaitu dengan menggunakan *closed end mandrel* yang ditekan ke dalam tanah. Pasir diletakkan di dalam *mandrel*, kemudian *mandrel* diangkat ke atas sambil tutup *mandrel* dibuka sehingga pasir akan tertinggal di dalam lubang bor. Biasanya tipe ini menyebabkan perpindahan pada arah vertikal maupun horisontal. Waktu yang dibutuhkan untuk pemasangan 2 - 10 menit.

Tipe pemasangan *non displacement* menyebabkan efek kerusakan yang lebih kecil pada tanah. Casagrande dan Poulos menyimpulkan bahwa kolom *sand*

drain yang ditekan sebaiknya tidak digunakan pada tanah lempung lunak dan sensitif, karena kerusakan akibat pemasangan sistem drainase dapat mengurangi permeabilitas tanah.



Gambar 2.2

Pemasangan *sand drain* (Landau, 1996)

(Sumber : Xanthakos, P.P, Abramson, L.W, Bruce, D.A, 1990, *Ground Control Improvement*)

2.8.2 Kriteria *filter sand drain*

Pemilihan bahan untuk drainase merupakan suatu hal yang penting. Bahan yang digunakan untuk drainase tersebut harus dapat melewatkan air dan bahan harus mampu menahan butir-butir tanah. Jika butir-butir tanah masuk ke dalam bahan, akan menyebabkan bahan tidak dapat bertahan lama karena terjadi sumbatan.

Kriteria bahan *filter* alami menurut Terzaghi (1921) adalah :

$$4d_{15} \leq D_{50} \leq 4d_{85}$$

$D_{15} \geq 4d_{15}$ adalah sifat hidrolis bahan mampu melewatkan air

$D_{15} \geq 4d_{85}$ adalah sifat bahan *filter* tersebut mampu menahan butiran-butiran tanah

2.8.3 Langkah-langkah Perhitungan *Sand drain*

Menghitung nilai T_v dari persamaan (2-1)

$$T_v = \frac{c_v t}{L^2}$$

1. Menghitung nilai U_v dari nilai T_v

Nilai U_v menurut Brinch Hansen

$$U_v = 6 \sqrt{\frac{T_v^3}{T_v^3 + 0,5}} \quad (2-12)$$

2. Memasukkan nilai U_{vr} .

Jika konsolidasi primer telah selesai $\pm 90\%$, maka $U_{vr} = 0,9$. Nilai U_{vr} tersebut harus lebih besar dari U_v

3. $1 - U_{vr} = (1 - U_v)(1 - U_r)$ (2-13)

Nilai U_r akan didapatkan

4. $D^2 F(n) = \frac{-8C_h t}{\ln(1 - U_r)}$ (2-14)

Dari persamaan 2-14 akan didapatkan nilai D

$$C_h = \frac{k_h}{m_v \gamma_w} = \frac{k_h}{k_v} C_v \quad (2-15)$$

$D = 1,05s$ (untuk pemasangan berbentuk segitiga) dan $D = 1,13s$
(untuk persegi empat) maka nilai s akan didapat.

U_r = Rasio konsolidasi rata-rata untuk konsolidasi radial

U_v = Rasio konsolidasi rata-rata untuk konsolidasi vertikal

U_{vr} = Rasio konsolidasi rata-rata untuk kombinasi konsolidasi radial
dan vertikal

C_v = Koefisien konsolidasi vertikal

C_h = koefisien drainase horisontal atau radial

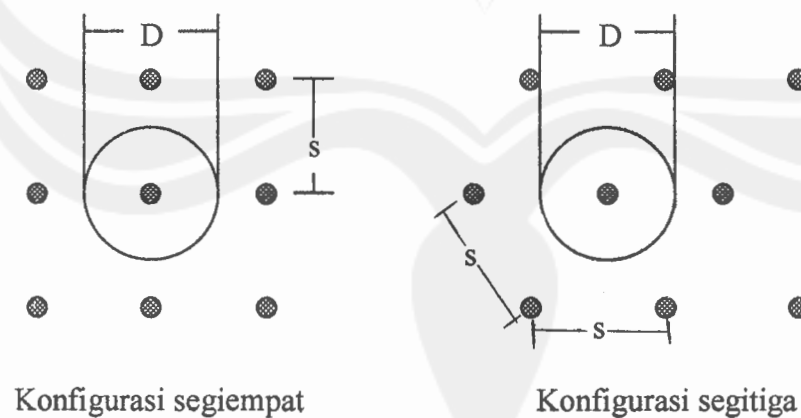
L = alur drainase terpanjang pada lapisan lempung.

$n = D/d$

d = diameter *sand drain*

$F(n)$ = faktor yang mempengaruhi kinerja *sand drain*.

$$F(n) = \ln(n) - \frac{3}{4} \quad (2-16)$$



Gambar 2.3

Konfigurasi pemasangan *sand drain*

II.9. Penentuan Tebal Perkerasan

Perhitungan tebal perkerasan dengan menggunakan metode Bina Marga (perencanaan tebal perkerasan lentur jalan raya dengan Metode Analisa Komponen), yang didasarkan pada:

1. Jalur Rencana adalah salah satu jalur lalu lintas sistem jalan raya, yang menampung lalu lintas tersebut. Umumnya jalur rencana adalah salah satu tepi luar dari jalan raya berjalur banyak.
2. Umur Rencana (UR) adalah jumlah waktu dalam tahun terhitung sejak jalan tersebut mulai dibuka sampai saat diperlukan perbaikan berat atau dianggap perlu untuk diberi lapis permukaan baru.
3. Indeks Permukaan (IP) adalah suatu angka yang dipergunakan untuk menyatakan kerataan/kehalusan serta kekokohan permukaan jalan yang bertalian dengan tingkat pelayanan bagi lalu lintas yang lewat. Nilai IP ditentukan dengan :

IP = 1,0 berarti permukaan jalan rusak berat sehingga sangat mengganggu lalu lintas kendaraan.

IP = 1,5 adalah tingkat pelayanan terendah yang masih mungkin (jalan tidak terputus)

IP = 2,0 adalah tingkat pelayanan terendah bagi jalan yang masih mantap

IP = 2,5 menyatakan permukaan jalan masih cukup stabil dan baik.
4. Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) adalah jumlah rata-rata kendaraan bermotor roda 4 atau lebih yang dicatat selama 24 jam untuk kedua jurusan.

5. Angka Ekuivalen (E) dari suatu beban sumbu kendaraan adalah angka yang menyatakan perbandingan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu lintasan beban sumbu tunggal kendaraan terhadap tingkat kerusakan yang disebabkan oleh 1 lintasan beban standar sumbu tunggal seberat 8,16 ton (18.000 lb).

Tabel 2.1 Angka Ekuivalen (E) Beban Sumbu Kendaraan

Beban Sumbu		Angka Ekuivalen	
Kg	Lb	Sumbu Tunggal	Sumbu Ganda
1000	2205	0,0002	-
2000	4409	0,0036	0,0003
3000	6614	0,0183	0,0016
4000	8818	0,0577	0,0050
5000	11023	0,1410	0,0121
6000	13228	0,2923	0,0251
7000	15423	0,5415	0,0466
8000	17637	0,9238	0,0794
8160	18000	1,0000	0,0860
9000	19841	1,4798	0,1273
10000	22046	2,2555	0,1940
11000	24251	3,3022	0,2840
12000	26455	4,6770	0,4022
13000	28660	6,4419	0,5540
14000	30864	8,6647	0,7452
15000	33069	11,4184	0,9820
16000	35276	14,7815	1,2712

(Sumber : Sukirman, S., 1994, *Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan*)

6. Lintas Ekuivalen Permukaan (LEP) adalah jumlah lintas ekuivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada permulaan umur rencana. Untuk menentukan lintas ekuivalen permukaan digunakan rumus :

$$LEP = \sum_{j=1}^n LHR_j \times C_j \times E_j \quad (2-17)$$

j = jenis kendaraan

7. Lintas Ekuivalen Akhir (LEA) adalah jumlah lintas ekuivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada akhir umur rencana. Untuk menghitung lintas ekuivalen akhir digunakan rumus :

$$LEA = \sum_{j=1}^n LHR_j (1+i)^{UR} \times C_j \times E_j \quad (2-18)$$

i = perkembangan lalu lintas

UR = umur rencana

8. Lintas Ekuivalen Tengah (LET) adalah jumlah lintas ekuivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada pertengahan umur rencana. Lintas ekuivalen tengah dihitung dengan rumus :

$$LET = \frac{LEP + LEA}{2} \quad (2-19)$$

9. Lintas Ekuivalen Rencana (LER) adalah suatu besaran yang dipakai dalam nomogram penetapan tebal perkerasan untuk menyatakan jumlah lintas

ekivalen sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana. Untuk menghitung digunakan rumus :

$$\text{LER} = \text{LET} \times \text{FP} \quad (2-20)$$

$$\text{FP} = \text{faktor penyesuaian} = \frac{\text{UR}}{10}$$

10. Daya Dukung Tanah dasar (DDT) adalah suatu skala yang dipakai dalam nomogram penetapan tebal perkerasan untuk menyatakan kekuatan tanah dasar.
11. Faktor Regional (FR) adalah faktor setempat, menyangkut keadaan lapangan dan iklim, yang dapat mempengaruhi keadaan pembebanan, daya dukung tanah dasar dan perkerasan.

Tabel 2.2 Faktor Regional

	Kelandaian I (< 6 %)		Kelandaian II (6 – 10 %)		Kelandaian III (> 10%)	
	% kendaraan berat		% kendaraan berat		% kendaraan berat	
	≤ 30 %	> 30%	≤ 30 %	> 30 %	≤ 30 %	> 30 %
Iklim I < 900 mm/th	0,5	1,0 – 1,5	1,0	1,5 – 2,0	1,5	2,0 – 2,5
Iklim II > 900 mm/th	1,5	2,0 – 2,5	2,0	2,5 – 3,0	2,5	3,0 – 3,5

(Sumber : Sukirman, S., 1994, *Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan*)

12. Indeks Tebal Perkerasan (ITP) adalah suatu angka yang berhubungan dengan penentuan tebal perkerasan yang dihitung :

$$\text{ITP} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 \quad (2-21)$$

a_1, a_2, a_3 = koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan

- D_1 = tebal lapis permukaan
 D_2 = tepal lapis pondasi atas
 D_3 = tebal lapis pondasi bawah

