

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Berikut ini adalah beberapa contoh penelitian terdahulu yang digunakan penulis sebagai rujukan dalam melakukan penelitian ini.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Judul/Penelitian	Kesimpulan
1.	Oimas dan Hamdan (2015)	Analisis konsolidasi dengan menggunakan metode <i>Preloading</i> dan <i>vertical drain</i> pada areal Reklamasi proyek pengembangan Pelabuhan Belawan Tahap II	Dalam penelitian ini dilakukan analisis untuk menentukan jarak antara vertical drain dan juga mengetahui besar penurunan dan lama waktu konsolidasi yang dibutuhkan dengan Analisa software Plaxis. Berdasarkan hasil Analisa penurunan yang terjadi adalah 0,835 m dengan lama waktu untuk perbaikan tanah menggunakan metode <i>Preloading</i> dan <i>vertical drain</i> adalah 120 hingga 135 hari.
2.	Bella Rosmiyati (2016)	Pemodelan timbunan pada tanah lunak dengan menggunakan program Plaxis	Masalah yang ditimbulkan tanah lunak antara lain adalah masalah stabilit (Rosmiyati, 2016)as, besar penurunan dan faktor waktu. Pengaruh penggunaan PVD dalam konstruksi timbunan antara lain mempercepat waktu konsolidasi, meningkatkan stabilitas timbunan

			baik terhadap penurunan maupun terhadap timbunan.
3	Muhammad Azwar (2019)	(Azwar, 2019) (Haryadi, 2015)	Hasil pemodelan dengan vertical drain, waktu yang dibutuhkan sejak reklamasi pertama untuk mencapai derajat konsolidasi sebesar 90% adalah 540 hari. Dan setelah diakumulasikan ada selisih perbandingan antara metode PVD dan analitis (Plaxis) dengan kohesi, BH-1 = 7.84 kN/m ² , BH-2 = 8.33 kN/m ² dan BH-3 = 1 kN/m ²

2.2 Karakteristik Tanah

Tanah adalah materi yang tersusun atas agregat (partikel) mineral padat yang belum terdeposisi (berikat secara kimia) bersama-sama dan bahan organik yang terurai (dalam bentuk partikel padat) beserta cairan dan gas yang mengisi diantara partikel padat tersebut. (Das,1995)

Secara umum, berbagai jenis tanah dikelompokkan menurut sifat dan karakteristik teknisnya. Klasifikasi ini sering didasarkan pada sifat indeks tanah sederhana seperti distribusi ukuran partikel. Tergantung pada ukuran butir (*soil separate size limits*), tanah dapat dikelompokkan sebagai berikut: (Das. 1995).

Tabel 2.2 Klasifikasi jenis tanah menurut ukuran partikel tanah.

Nama Golongan	Ukuran butiran (mm)			
	Kerikil (gravel)	Pasir (sand)	Lanau (silt)	Lempung (clay)
<i>Massachusetts Institute of Technology (MIT)</i>	>2	2 – 0,06	0,06 – 0,002	<0,002
<i>U.S Departement of Agriculture (USDA)</i>	>2	2 – 0,05	0,05 – 0,002	<0,002
<i>American Association of State Higway and Transportation Officially (AASHTO)</i>	76,2 - 2	2 – 0,075	0,075 – 0,002	<0,002
<i>Unifield Soil Classification System (USCS)</i>	76,2 – 4,75	4,75 – 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung) <0,0075	

Pengelompokan tanah bisa dikelompokan berdasarkan konsistensi tanah dari hasil uji tanah dilapangan. Salah satunya yakni uji *Standard Penetration Test* (N-SPT). Klasifikasi kepadatan tanah berdasarkan nilai uji NSPT dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.3 Pengelompokan konsistensi tanah berdasarkan nilai SPT (Das,1995)

<i>Cohesionless Soil</i>		<i>Cohesive Soil</i>		
<i>Penetration Resistance N (blows/ft)</i>	<i>Relative Density</i>	<i>Penetration Resistance N (blows/ft)</i>	<i>Unconfined Compressive Strength (tons/ft²)</i>	<i>Consistency</i>
0 - 4	<i>Very Loose</i>	<2	<0.25	<i>Very Soft</i>
4 - 10	<i>Loose</i>	2 - 4	0.25 - 0.50	<i>Soft</i>
10 - 30	<i>Medium</i>	4 - 8	0.50 - 1.00	<i>Medium</i>
30 - 50	<i>Dense</i>	8 - 15	1.00 - 2.00	<i>Stiff</i>
>50	<i>Very Dense</i>	15 - 30	2.00 - 4.00	<i>Very Stiff</i>
		>30	>4.00	<i>Hard</i>

2.3 Tanah Lempung Lunak

Tanah lempung lunak merupakan tanah yang jika tidak dikenali dan dipelajari dengan seksama dapat menimbulkan masalah ketidakstabilan, penurunan jangka panjang yang tidak tertahankan, tanah dengan kuat geser rendah dan kuat tekan tinggi. (Panduan geoteknik, 2002).

Tanah lunak yang mengandung mineral lempung dan kadar air yang tinggi. Umumnya yang disebut tanah lunak adalah tanah lempung atau aluvial dengan nilai uji penetrasi standar N-SPT kurang dari , atau tanah organik seperti gambut dengan kadar air alami yang sangat tinggi. Demikian pula lapisan tanah berpasir pada keadaan sebelumnya dengan nilai N-SPT kurang dari 10 tergolong lapisan lemah (Suyono, 1984). Tanah lunak memiliki sifat sebagai berikut :

1. Tanah lunak terdiri dari butiran-butiran yang halus,
2. Kandungan air yang sangat tinggi,
3. Plastisitas tinggi,
4. Permeabilitas tanah yang rendah
5. Daya dukung tanah relatif rendah,
6. Memiliki potensi penurunan konsolidasi yang besar dalam waktu yang cukup lama.

Sifat-sifat tersebut membuat tanah lunak sebagai tanah kurang menguntungkan untuk digunakan sebagai lapisan tanah dasar. Oleh karena itu, salah satu cara untuk menstabilkan tanah lunak adalah dengan menghilangkan air pori dari tanah.

2.4 Penurunan Tanah

Ketika suatu lapisan tanah diberikan beban di atasnya, maka partikel tanah akan mengalami penambahan tegangan, sehingga pada tanah terjadi penurunan (*Settlement*). Penurunan ini disebabkan oleh deformasi partikel tanah, pelepasan air dan udara dari pori-pori, dll. Secara umum, penurunan akibat beban dapat dibagi menjadi dua kelompok utama.:

1. Penurunan segera/ *immediate settlement*, adalah penurunan yang terjadi segera setelah beban diterapkan. Pada tanah dengan air jenuh dan permeabilitas rendah, muatan sepenuhnya diambil alih oleh tekanan air pori. Pada tanah yang sangat permeabel, tekanan air pori ini turun dengan cepat, menghasilkan hanya tekanan air pori jangka pendek. Deformasi yang terjadi pada tanah tidak melibatkan perubahan volume.
2. Penurunan konsolidasi/ *consolidation settlement*, merupakan penurunan yang disebabkan oleh keluarnya air dari pori-pori di dalam tanah. Penurunan konsolidasi dibagi lagi menjadi dua kelompok, yaitu: konsolidasi primer dan konsolidasi sekunder.

Besar Penurunan tanah total menurut Das (1985) 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} = consolidation primer settlement

S_{cs} = consolidation secondary settlement

S_{lat} = settlement akibat pergerakan tanah lateral

2.4.1 Penurunan Segera/ Immediate settlement (S_i)

Menurut Biarez (1998) menyajikan metode perhitungan besarnya penurunan tanah segera (*short term condition*) dari suatu lapisan tanah didapatkan dengan persamaan :

$$S_i = q \sum \frac{h_i}{E'_{i1}} \quad (2.2)$$

Dimana:

S_i = Penurunan segera(m)

Q = Tegangan yang bekerja pada permukaan tanah

h_i = Tebal lapisan tanah ke - i (m)

E'_i = Modulus elastis Oedomerik dilapisan ke - i (t/m^2)

Korelasi antara modulus Young dan modulus Oedomerik dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$E = E' \left(1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu} \right) \quad (2.3)$$

Dimana :

E = Modulus Young

E' = Modulus Oedometrik

μ = Koefisien poisson

Tabel 2.4 Nilai Modulus Young dan Rasio Poisson. (Bowles, 1991)

Jenis Tanah	Modulus Young (E) (kN/m ²)	Koefisien Poisson (μ)
Lempung Lunak	1380 - 3450	0,15 – 0,25
Lempung Keras	3865 - 13800	0,20 – 0,50
Pasir Lepas	10350 - 27600	0,20 – 0,40
Pasir Padat	34500 - 69000	0,35 – 0,45

2.4.2 Penurunan konsolidasi/ *Consolidation settlement* (S_c)

Ketika beban diterapkan pada lapisan tanah jenuh, tekanan air pori naik dan air cenderung mengalir keluar dari pori-pori tanah, mengurangi volumenya. Proses ini disebut konsolidasi / penyelesaian pertama.

Derajat penurunan konsolidasi tipe tanah lunak sangat bergantung pada sejarah geologi tanah. Tanah pada kedalaman tertentu mengalami tegangan pra-konsolidasi paling efektif yang pernah dialami. Tegangan pra-konsolidasi efektif dapat kurang dari atau sama dengan tegangan overlay efektif saat ini. Oleh karena itu, berdasarkan riwayat beban, ada dua jenis tanah.:

1. *Normally Consolidated Soil* (NC-Soil), dimana tegangan *overburden efektif* saat ini merupakan tegangan terbesar (maksimum) yang pernah dialami tanah tersebut.
2. *Over Consolidated Soil* (OC-Soil), dimana tegangan *overburden efektif* saat ini lebih kecil dari pada tegangan yang pernah dialami tanah sebelumnya.

Kategorinya tergantung pada jumlah konsolidasi berlebih *Over Consolidation Ratio* (OCR) yang ditentukan oleh persamaan berikut.:

$$OCR = \sigma_0' / \sigma_c'$$

Dimana:

σ_0' = tegangan vertical efektif

σ_c' = tegangan pra-konsolidasi

Jika nilai NC-Soil mempunyai angka OCR = 1 dan OC-Soil mempunyai angka OCR ≥ 1 .

Dalam Das (1985), *settlement* akibat konsolidasi tanah dasar dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

- Untuk tanah terkonsolidasi normal (NC-soil)

$$S_{c\sim} = \frac{H}{1+e_0} \left[C_c \log \left\{ \frac{\sigma_0' + \Delta\sigma}{\sigma_0'} \right\} \right] \quad (2.4)$$

- Untuk tanah terkonsolidasi lebih (OC – soil)

Jika $(\sigma_0' + \Delta\sigma) \leq \sigma_0'$

$$S_{c\sim} = \frac{H}{1+e_0} \left[C_c \log \left\{ \frac{\sigma_0' + \Delta\sigma}{\sigma_0'} \right\} \right] \quad (2.5)$$

Bila $(\sigma_0' + \Delta\sigma) \geq \sigma_0'$

$$S_{c\sim} = \left[\frac{H}{1+e_0} C_c \log \frac{\sigma_0'}{\sigma_0'} \right] + \left[\frac{H}{1+e_0} C_c \log \frac{\sigma_0' + \Delta\sigma}{\sigma_c'} \right] \quad (2.6)$$

Dimana :

S_c = Penurunan pada lapisan tanah yang ditinjau

H = Tebal lapisan tanah yang ditinjau

e_0 = Angka pori awal (initial void ratio)

C_c = Indeks Kompresi

C_s = Indeks Pengembangan

$\Delta\sigma =$ Penambah beban vertikal

$\sigma_0' =$ Tekanan tanah vertikal efektif

$\sigma_c' =$ Tekanan Pra – konsolidasi yang efektif

2.4.3 Parameter untuk Perhitungan Penurunan

Dalam menghitung besarnya penurunan suatu lapisan tanah, maka diperlukan parameter-parameternya. Adapun parameter-parameternya menurut Das (1985) ialah sebagai berikut:

1. Tebal lapisan *compressible* (H)

Ketebalan lapisan kompresibel (H) yang dipertimbangkan adalah lapisan masih dapat mengalami konsolidasi primer < NSPT 15 secara umum dapat dianggap belum mengalami konsolidasi primer atau mengalami penurunan namun dengan angka yang sangat kecil, sehingga tidak di perhitungkan sebagai bagian lapisan kompresibel (H).

2. Tegangan *overburden* efektif (P_0)

Overburden pressure effective (*pressure effective* adalah besarnya beban vertical yang bekerja di atas permukaan tanah asli (*compressible soil*) dalam satuan tegangan. persamaan yang digunakan ditentukan dari distribusi tegangan tanah yang dialami.

$$P_0 = \gamma' \times H \quad (2.7)$$

Dimana :

$\gamma' = \text{Berat volume tanah (t/m}^3\text{)}$

$H = \text{Tebal lapisan tanah}$

Bila berada dibawah permukaan air, maka $\gamma_{tanah} = \gamma_{sat} - \gamma_{air}$

dimana γ_{sat} adalah berat isi jenuh.

3. Distribusi tegangan tanah (ΔP)

Distribusi tegangan tanah merupakan tambahan tegangan akibat pengaruh beban tambahan diatas tanah yang ditinjau di tengah-tengah lapisan (winner (2017)). Distribusi tegangan tanah dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$\Delta P = 2 \times q_0 \times I \quad (2.8)$$

$$q_0 = \gamma_{timbunan} \times H \quad (2.9)$$

dimana :

$\Delta P = \text{Beban distribusi tegangan}$

$q_0 = \text{Beban Timbunan}$

$\gamma_{tim} = \text{Berat volume tanah timbunan (t/m}^3\text{)}$

$H = \text{Tinggi timbunan termasuk Preloading (m)}$

$I = \text{Faktor pengaruh, yang dapat dihitung sebagai berikut :}$

$$I = \frac{(a+b)}{a}(\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{b}{a}(\alpha_2) \quad (2.10)$$

Dimana :

$a =$ Panjang horizontal kemiringan timbunan (m)

$b =$ Lebar setengah timbunan (m)

$a =$ Panjang horizontal kemiringan timbunan (m)

$b =$ lebar setengah timbunan (m)

$\alpha 1 = [\tan^{-1}\{(a+b)/z\} - \tan^{-1}(b/z)]$ (radian)

$\alpha 2 = [\tan^{-1}(b/z)]$ (radian)

2.5 Kecepatan dan Waktu Penurunan Konsolidasi

Tingkat penyelesaian konsolidasi diperlukan untuk menentukan besar penurunan tanah selama proses konsolidasi. Ini perlu diperhitungkan, terutama ketika penurunan besar diperkirakan terjadi.

Terzaghi (1925) dan Das (1995) mengajukan teori pertama untuk menghitung rasio konsolidasi satu arah untuk tanah lempung jenuh. Asumsi berikut digunakan untuk melakukan perhitungan:

1. Campuran homogen antara tanah liat dan air
2. Tanah benar-benar jenuh,
3. kompresibilitas air dapat diabaikan,
4. kompresibilita partikel tanah diabaikan,
5. Aliran air hanya satu arah, yaitu searah dengan beban,
6. Hukum Darcy ditetapkan.

Proses penurunan tanah lunak dapat berlangsung dalam waktu yang lama. Perbandingan antara penurunan tanah pada waktu tertentu dengan penurunan total disebut derajat konsolidasi (U). Rumus perhitungan konsolidasi sebagai berikut:

$$U = \frac{St}{S} \times 100\% \quad (2.11)$$

Dimana :

U = Derajat konsolidasi (%)

St = Penurunan pada waktu konsolidasi tertentu (m)

S = Penurunan total yang terjadi (m)

Hubungan faktor waktu (T_v) dan derajat konsolidasi (U) menurut Casahrade (1938) dan Taylor (1948) dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

- Untuk $U_v < 60\%$

$$T_v = \frac{\pi}{4} U_v^2 \quad (2.12)$$

- Untuk $U > 60\%$

$$T_v = 1,781 - 0,933 \log (100 - U\%) \quad (2.13)$$

Durasi penurunan merupakan parameter penting untuk memprediksi penurunan konsolidasi. Yang mempengaruhi waktu pengendapan adalah Panjang yang dibutuhkan air untuk larut dari pori,, pada tanah umumnya aliran dispasi air pori berlebih terjadi pada arah vertikal. Karena permeabilitas lempung yang rendah, konsolidasi selesai setelah waktu yang lama, mungkin lebih lama dari yang direncanakan menurut Terzaghi dalam Das (1995), lama waktu konsolidasi (t) dapat dicari menggunakan persamaan berikut :

$$t = \frac{T_v (H_{dr})^2}{C_v} \quad (2.14)$$

Dimana :

t = Waktu Konsolidasi (detik)

T_v = Faktor Waktu

H_{dr} = Panjang airan air/ drainase terpanjang

C_v = Koefisien konsolidasi vertikal ($cm^2/detik$)

Nilai C_v dapat dicari menggunakan persamaan 2.15. menurut Terzaghi dalam Das (1985), apabila tanah memiliki banyak lapisan dengan ketebalan berbeda-beda nilai C_v gabungan dapat ditentukan dengan C_v gabungan dapat ditentukan dengan persamaan 2.16.

$$C_v = \frac{T_v H^2}{t} \quad (2.15)$$

Dimana :

t_r

H = Tebal lapisan (m)

T_v = faktor waktu

t = waktu konsolidasi U% (tahun)

$$C_{v \text{ rata-rata}} = \frac{H}{\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_i}{\sqrt{C_{vi}}}} \quad (2.16)$$

Dimana :

C_{vi} = Koefisien konsolidasi vertikal lapisan ke - i ($m^2/tahun$)

H = Tebal lapisan (m)

H_i = Tebal lapisan compressible ke - i (m)

Tabel 2.5 Hubungan Faktor Waktu T_v Terhadap U (Das, 1985)

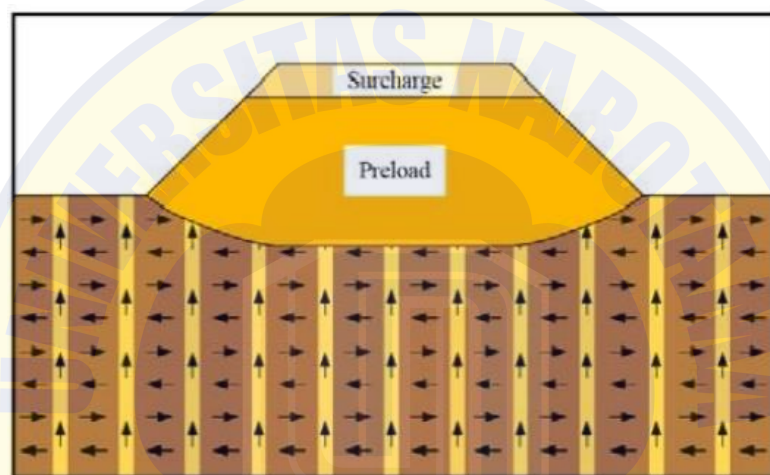
Derajat Konsolidasi $U\%$	Faktor Waktu (T_v)
0	0
10	0.008
20	0.031
30	0.071
40	0.126
50	0.197
60	0.287
70	0.403
80	0.567
90	0.848
100	∞

2.6 Perbaikan Tanah Lunak

Seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, salah satu masalah pada tanah lunak adalah penurunan yang sangat besar dalam jangka waktu yang lama. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dicari solusi berupa perbaikan tanah lunak.

Ada beberapa metode untuk memperbaiki tanah lunak, tetapi metode yang digunakan dalam pembahasan ini adalah *preloading* yang dikombinasikan dengan drainase vertikal prefabrikasi (PVD). Metode ini merupakan salah satu metode yang populer digunakan untuk meningkatkan kekuatan geser tanah dan mengontrol penurunan setelah konstruksi. Karena permeabilitas tanah lunak yang sangat rendah, waktu konsolidasi mungkin terlalu lama untuk gaya pengendapan atau gaya geser yang diperlukan. (Holtz,1987; Indraratna et al.,1994).

Tujuan penggunaan drainase vertikal adalah untuk mempercepat konsolidasi lapisan lempung dan meningkatkan stabilitas lempung lunak. Penggunaan drainase vertikal dapat mempercepat konsolidasi dengan menyediakan perangkat yang memungkinkan air dari rongga mengalir ke sistem drainase sepanjang garis radial. Pori-pori aliran air dapat dilihat pada *vertical drain* Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Aliran Air Pori Pada Vertical Drain. (Stapelfeldt, 2006)

2.7 Pembebanan Awal (*Preloading*)

Metode pembebanan awal ini ditumpuk sebagai tanah pada permukaan tanah yang lunak, bukan sebagai beban lalu lintas. Metode ini dirancang untuk mengurangi penurunan primer pondasi konsolidasi dengan memuat tanah sebelum konstruksi. Ketika penurunan keseluruhan konsolidasi primer selesai atau sangat kecil, beban tanah dihilangkan atau dilepaskan dan struktur diletakkan di atas tanah.

Keuntungan dari metode *preloading* ini adalah meningkatkan gaya geser tanah dan mengurangi penurunan. Selama pengisian jalan raya, metode prategang

dapat diterapkan dengan menambah tinggi timbunan. Ketika rekonsiliasi konsolidasi terlalu kecil atau lengkap, kelebihan tinggi timbunan dibuang (Hardiyatmo,2008).

Tinggi prabebean kritis timbunan dihitung berdasarkan kapasitas daya dukung awal tanah lempung. Berat lempung dalam hal ini gaya kohesif tanah akan mempengaruhi tinggi timbunan yang digunakan. Dalam perencanaan pembebanan awal, kapasitas beban tanah liat dihitung sebagai berikut.

$$q_u = 2 \times C_u \quad (2.17)$$

$$q_u = \gamma_{\text{timbunan}} \times H_{cr} \quad (2.18)$$

maka,
$$H_{cr} = \frac{2C_u}{\gamma_{\text{timbangan}}} \quad (2.19)$$

dimana:

$$C_u = \text{Kohesi tanah dasar (t/m}^2\text{)}$$

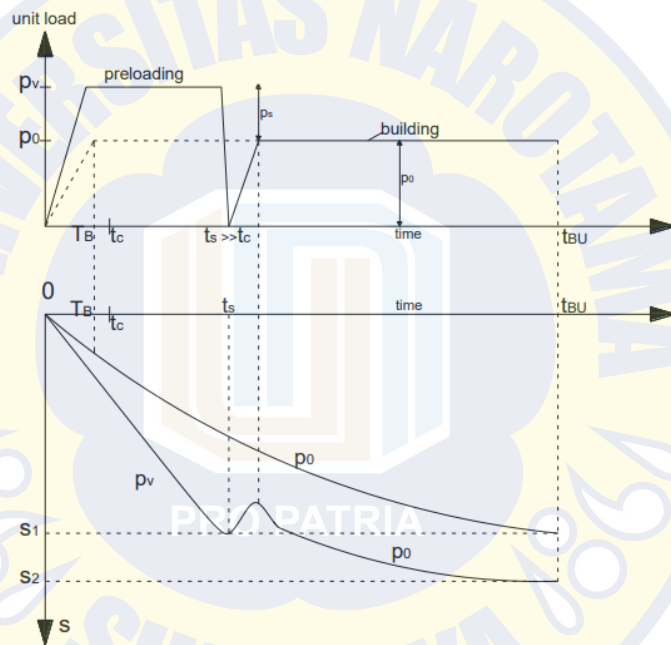
$$\gamma_{\text{timbunan}} = \text{Berat Voume tanah timbunan (t/m}^3\text{)}$$

$$H_{cr} = \text{Tinggi timbunan kritis (m)}$$

Pertama, besarnya pembebanan awal yang diberikan dapat ditentukan dan kemudian dibandingkan dengan jumlah timbunan atau beban yang dapat diterima tanah dasar, yaitu H kritis (H_{cr}). Jika tinggi timbunan ternyata lebih besar dari H_{cr} ketika pra-beban diterapkan, maka timbunan itu dilakukan secara bertahap.

Prinsip dari *preloading* dijelaskan pada Gambar 2.2. Besar beban yang direncanakan adalah sebesar p_0 dan penurunan total yang terjadi selama periode

waktu t_{BU} adalah sebesar S_1 (garis p_0). Akibat beban tambahan sebesar p_s maka beban total p_v yang sebesar $(p_0 + p_s)$ akan menghasilkan penurunan yang semakin besar (garis p_v), sehingga dapat diperoleh degradasi total medan dalam waktu singkat t_s dengan beban rencana p_0 . Setelah mengurangi beban desain, semua beban transien (p_v) dihilangkan dan kemudian beban desain (p_0) dimasukkan. Selisih reduksi total akibat beban awal (*preload*) setelah mencapai beban rencana tanpa beban dan waktu t_{BU} adalah S_2-S_1 , yaitu pengurangan akibat beban rencana dan pra-



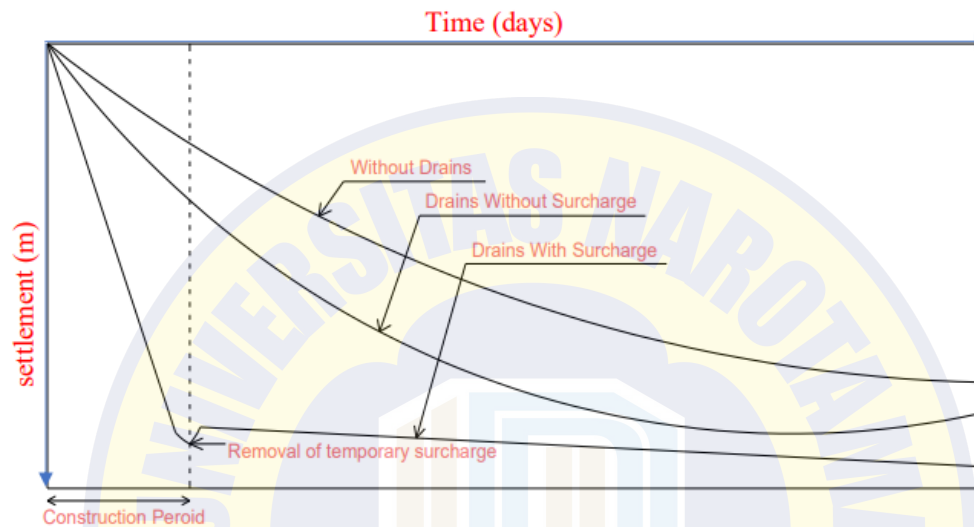
pembebanan.

Gambar 2.2 Proses Pemberian Beban Awal (Stapelfeldt, 2006)

2.8 Pre-fabricated Vertical Drain (PVD)

Saat perbaikan tanah dengan pembebanan awal, masalah yang muncul adalah lamanya periode pengendapan. Hal ini biasanya terjadi di tanah yang relatif dalam dan permeabilitas rendah. Untuk mempercepat proses konsolidasi dan menghemat waktu penurunan tanah lunak, digunakan metode pembuatan saluran

vertikal dengan permeabilitas tinggi, yaitu drainase vertikal. Gambar 2.3 menunjukkan grafik penurunan longitudinal dan penurunan undraining dari waktu ke waktu.



Gambar 2.3 Penurunan Dengan dan Tanpa Drainase Vertikal (Stapelfeldt, 2006)

Drainase vertikal hanya mempercepat konsolidasi primer karena limpasan yang signifikan hanya terjadi selama konsolidasi primer. Konsolidasi sekunder hanya mengalirkan sejumlah kecil air dan penurunan sekunder tersebut tidak dipercepat oleh drainase vertikal.

Menurut Bergado *et al.* (1991) drainase vertikal diklasifikasikan ke dalam tiga tipe umum : *sand drain*, *fabric-encased sand drains* dan *pre-fabricated band drain*.

Tabel 2.6 Tipe Drainase Vertikal (Bergado, 1991)

<i>General types</i>	<i>Sub-types</i>	<i>Remarks</i>
<i>Sand drains</i>	<i>Close-end mandrel</i> <i>Screw-type auger</i> <i>Continuous-flight hollowstem auger</i> <i>Internal jetting</i> <i>Rotary jet</i> <i>Dutch jet-bailer</i>	<i>Maximum displacement</i> <i>Limited experience</i> <i>Limited displacement</i> <i>Difficult to control</i> <i>Can be non-displacement</i> <i>Can be non-displacement</i>
<i>Fabric-encased sand drains</i>	<i>Sandwick, pack drain, fabridrain</i>	<i>Full displacement of small volume</i>
<i>Pre-fabricated vertical drain</i>	<i>Cardboard drain</i> <i>Fabric covered</i> <i>Plastic drain without jacket</i>	<i>Full displacement of small volume</i> <i>Full displacement of small volume</i> <i>Full displacement of small volume</i>

Faktor yang perlu dipertimbangkan dalam memilih drainase vertikal meliputi diameter yang setara, kapasitas hisap, karakteristik filter/penutup, fleksibilitas, dan daya tahan. Faktor-faktor ini bervariasi untuk setiap jenis saluran drainase vertikal tergantung pada pabrikannya. Spesifikasi yang berbeda-beda ini dibuat sesuai kondisi lapangan yang bervariasi.

Ada dua faktor yang mempengaruhi proses konsolidasi yang lebih cepat saat menggunakan PVD, yaitu:

1. Jarak antar PVD

Jarak antara PVD ini mempengaruhi panjang saluran pori horizontal. Semakin jauh jarak antar PVD, semakin jauh jarak yang harus ditempuh air untuk menuju dan dari PVD, sehingga semakin lama proses konsolidasi. Jarak minimum yang diperbolehkan adalah 1 m, karena jika lebih kecil dapat mengurangi kuat geser tanah.

2. Panjang PVD

Selama proses konsolidasi, pvd hanya mempercepat proses konsolidasi di area sepanjang pintu keluar vertikal. Sementara PVD hanya dapat

memperpendek jarak saluran pembuangan ke PVD, sementara daerah di bawahnya hanya mengalami konsolidasi biasa.

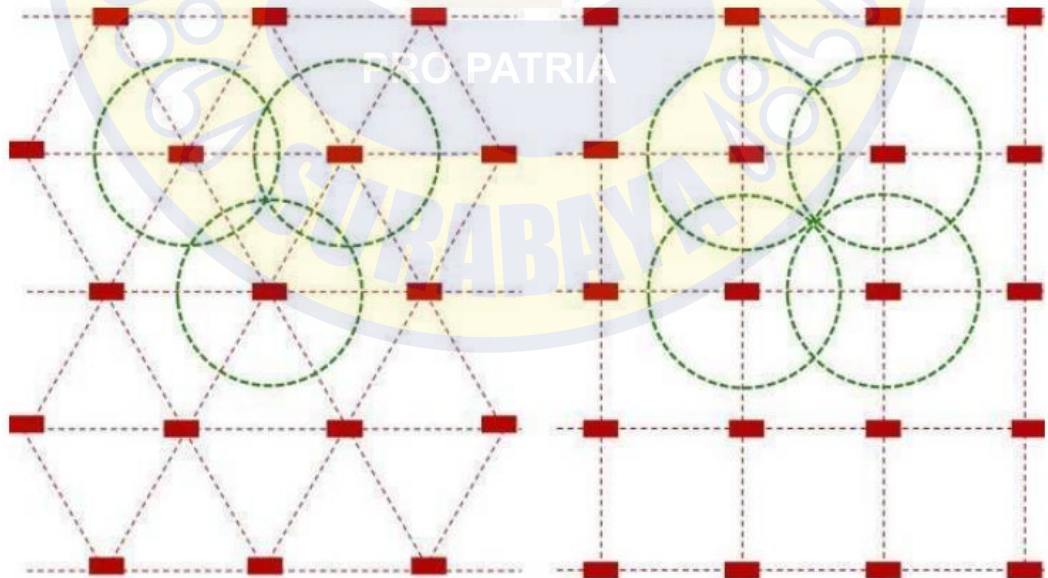
2.8.1 Pola Pemasangan PVD

Area pemasangan PVD (permukaan kerja PVD) yang terkena, disebut diameter ekuivalen (D_e), bergantung pada model dan jarak pemasangan PVD. Pada umumnya PVD dipasang dalam susunan persegi dan segitiga, dimana rumus yang digunakan untuk menentukan domain dari pemasangan PVD adalah:

$$D_e = 1,13 \times S \text{ (Untuk pola segiempat)} \quad (2.20)$$

$$D_e = 1,05 \times S \text{ (Untuk pola segitiga)} \quad (2.21)$$

dimana D_e adalah diameter ekuivalen (setelah mengubah penampang menjadi lingkaran) dan S adalah jarak atau jarak antara PVD.



Gambar 2.4 Pola PVD (kiri pola segitiga, kanan pola persegi). (Holtz dkk, 1991)

2.8.2 Jarak Pemasangan PVD

Jarak pemasangan PVD biasanya lebih dari 1 m, akan tetapi menurut Fellenius (2006) dalam Hardiyatmo (2008), jarak pemasangan PVD antara ::

- Untuk tanah liat homogen : 1 s/d 1,6 m
- Untuk tanah lempung berlanau: 1,2 s/d 1,8m
- Untuk tanah yang lebih kasar : 1,5 s/d 2m

2.8.3 Kedalaman PVD

Kedalaman PVD menembus lapisan tanah perkuatan. PVD yang dipasang di sepanjang lapisan tanah tekan ($N-SPT < 10$) atau sedalam lapisan tanah masih dipengaruhi oleh distribusi tegangan di atasnya (Winner, 2017). Dari permukaan timbunan hingga kedalamant tanah unak yang ditentukan PVD dipasang.

2.8.4 Perhitungan penurunan konsolidasi

Perhitungan penurunan konsolidasi ini dapat dihitung dengan menggunakan metode Hansbo (1981) dalam Pasaribu (2012) untuk menghitung subsidi tanah dengan PVD. Parameternya adalah sebagai berikut:

1. Koefisien Konsolidasi horizontal (C_h)

$$C_h = C_v \times (K_h/K_v) \quad (2.22)$$

Dimana :

C_h = Koefisien konsolidasi horizontal ($m^2/detik$)

C_v = Koefisien konsolidasi vertikal ($m^2/detik$)

2. Derajat konsolidasi arah vertikal (U_v)

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{Hd^2} \quad (2.23)$$

$$U_v = \sqrt{\frac{4 \cdot \frac{T_v}{\pi}}{(1 + (4 \cdot \frac{T_v}{\pi})^{2.8})^{0.179}}} \quad (2.24)$$

Dimana :

T_v = Faktor waktu vertikal

C_v = Koefisien konsolidasi vertikal ($m^2/detik$)

t = waktu ke - n (hari)

H_d = $1/2$ Kedalaman tanah lunak (m)

U_v = Derajat konsolidasi arah vertikal (%)

3. Faktor waktu Horizontal (T_h)

$$T_h = Ch \times td^2 \quad (2.25)$$

Dimana :

T_h = Faktor waktu horizontal

C_h = Koefisien konsolidasi horizontal ($m^2/detik$)

t = waktu ke - n (hari)

d = Diameter jangkauan kerja PVD (m)

4. Derajat konsolidasi arah horizontal

Dengan memperhitungkan efek smear, persamaan derajat konsolidasi arah horizontal adalah:

$$U_h = 1 - e\left(\frac{-8T_h}{F}\right) \quad (2.26)$$

$$F = \left(\frac{n^2}{n^2-1}\right) \ln(n) - \frac{3n^2-1}{4n^2} \quad (2.27)$$

Dimana $n = d_e/d_w$

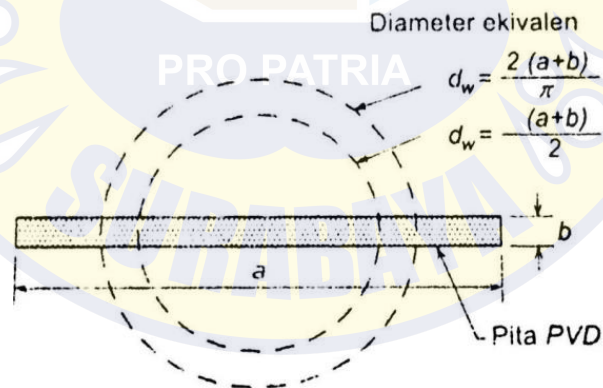
$U_h =$ Derajat konsolidasi arah horizontal (%)

$T_h =$ Faktor = derajat waktu horizontal

$F =$ Faktor hambatan

$d_w =$ diameter lingkaran ekuivalen PVD (m)

$d_e =$ diameter daerah yang terganggu sekeliling PVD (m)



Gambar 2.5 Diameter Ekuivalen (d_w) PVD (sumber:Google)

5. Derajat Konsolidasi total

Carillo (1942) pada Pasaribu (2012), mengusulkan persamaan buat menerima derajat konsolidasi total yang bisa dihitung menggunakan persamaan pada bawah ini :

$$U = 1 - [(1 - U_v) \times (1 - U_h)] \quad (2.28)$$

dimana :

U = Derajat Konsolidasi total (%)

U_v = Derajat konsolidasi arah vertikal (%)

U_h = Derajat konsolidasi arah horizontal (%)

6. Besar Penurunan Konsolidasi (S_c) Pada waktu ke-n

$$S_c = U \times S_{ult} \quad (2.29)$$

dimana :

S_c = Besar Penurunan (m)

U = Derajat Konsolidasi total (%)

S_{ult} = Besar Penurunan tanpa PVD (m)