

PERBAIKAN TANAH LUNAK MENGGUNAKAN PREFABRICATED VERTICAL DRAIN (PVD)

(Lokasi Studi Grand Island Pakuwon City Surabaya Jawa Timur)

Puthut Wisanggeni¹, Eding Iskak Imananto², Eri Andrian Yudianto³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang

Email : puthut.wisanggeni97@gmail.com¹

ABSTRACT

Planning on the construction of a two-story Grand Island Pakuwon City Surabaya housing area of +/- 3.4 Ha with the existing land elevation being at +0.00 from the local BM and the embankment elevation plan at +3.00 m, apparently must be built on silt clay with a very consistent consistency soft. The purpose of this study is to find out the optimal installation pattern, size, distance of PVD, preloading load system combined with PVD to produce the fastest soil repair time and determine the effect of using a combination of preloading and PVD systems in clay soil improvement on the time of decline, the degree of consolidation and the amount of decline caused. The topsoil that will be compressed is the very soft clay silt layer, that is, clay soil which has a value of $q_u < 4.8 \text{ t/m}^2$ or N value < 4 . At the study site, the soft soil layer is located at a depth of 16 m. The data needed is soil data (drill log), load received, elevation of building plans, pile soil data. The method used is the preloading method combined with PVD to speed up the consolidation process. You do this by giving a load in the form of pile on soft soil that has previously been installed PVD. From the results of the calculation of soil improvement using the preloading method combined with PVD it can be concluded that the time of land subsidence can be accelerated and can increase the carrying capacity of the soil. PVD with a triangular pattern of a distance of 1 m to a depth of 16 m obtained a decrease time for 78 weeks compared without soil improvement where the decline time was obtained for 22 years.

Keywords: consolidation, preloading, prefabricated vertical drain, consolidation, decrease time

ABSTRAK

Perencanaan pada pembangunan perumahan dua lantai *Grand Island* Pakuwon City Surabaya seluas +/- 3,4 Ha dengan elevasi tanah *existing* berada di +0.00 dari BM lokal serta rencana elevasi timbunan berada di +3.00 m, ternyata harus dibangun diatas tanah lempung berlanau dengan konsistensi sangat lunak. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pola pemasangan, ukuran, jarak PVD yang paling optimal, sistem pemberian beban preloading yang dikombinasikan dengan PVD untuk menghasilkan waktu perbaikan tanah yang paling cepat serta mengetahui pengaruh penggunaan kombinasi sistem *preloading* dan PVD dalam perbaikan tanah tanah lempung terhadap waktu penurunan, derajat konsolidasi dan besarnya penurunan yang ditimbulkan. Lapisan tanah yang akan dimampatkan adalah lapisan tanah lanau-lempung yang sangat lunak, yaitu tanah lanau-lempung yang mempunyai nilai $q_u < 4,8 \text{ t/m}^2$ atau nilai $N < 4$. Pada lokasi studi, lapisan tanah lunak terletak pada kedalaman 17 m. Data yang dibutuhkan adalah data tanah (*bor log*), beban yang diterima, elevasi rencana bangunan, data tanah timbunan. Metode yang digunakan adalah metode *preloading* yang dikombinasi dengan PVD untuk mempercepat proses konsolidasi. Caranya dengan memberikan beban berupa timbunan pada tanah lunak yang sebelumnya telah dipasang PVD. Dari hasil perhitungan perbaikan tanah dengan metode *preloading* yang dikombinasikan dengan PVD dapat disimpulkan bahwa waktu penurunan tanah dapat dipercepat serta dapat menaikkan daya dukung tanah. PVD dengan pola segitiga jarak $S = 1 \text{ m}$, waktu yang diperlukan selama 75 minggu atau 1,05 tahun. Dan terjadi penurunan sebesar 2,775 m (lebih cepat daripada waktu yang diperlukan proyek 96 minggu).

Kata kunci : konsolidasi, *preloading*, *prefabricated vertical drain*, waktu penurunan

1. PENDAHULUAN

Pada kenyataannya tanah berbutir halus (lanau dan lempung) bersifat kurang menguntungkan secara teknis untuk mendukung suatu pekerjaan konstruksi. Plastisitas yang tinggi dan daya dukung yang rendah serta kandungan air yang tinggi dan sulit terdrainasi karena permeabilitas tanah relatif rendah serta kompresibilitas yang besar menyebabkan tanah mengalami penurunan yang besar dan dalam waktu yang sangat lama. Hal ini seringkali menjadi kendala dalam pelaksanaan suatu pekerjaan konstruksi bangunan seperti yang terlihat pada pembangunan Perumahan dua lantai (diperkirakan beban 25 kPa) *Grand Island Pakuwon Surabaya* seluas ± 3,4 Ha. Rencana pembangunan perumahan tersebut seluas ± 3,4 Ha dengan elevasi tanah *existing* berada di ± 0.00 dari BM lokal serta rencana elevasi timbunan berada di + 3.00 m, ternyata harus dibangun di atas tanah lempung lunak (*Soft Clay*), yang terletak di antara tanah lanau dan lempung berlanau dengan konsistensi sangat lunak.

Salah satu metode untuk mengatasi masalah penurunan yang besar dan dalam waktu yang lama adalah dengan menggunakan sistem *Soil Preloading* yang dikombinasikan dengan *pre-fabricated vertical drain (PVD)*. Preloading atau pemberian beban awal dilakukan dengan cara memberikan beban yaitu berupa timbunan sehingga menyebabkan tanah lempung akan termampatkan sebelum konstruksi didirikan. *Pre-fabricated vertical drain* adalah sistem drainase buatan yang dipasang vertikal didalam lapisan tanah lunak. Dengan penggunaan *prefabricated vertical drain* akan menyebabkan terjadinya aliran air pori arah radial/horisontal selain aliran arah vertikal yang menyebabkan air pori dapat dikeluarkan dengan lebih cepat.

Sebagai salah satu tinjauan mengenai pemakaian sistem *vertical drain* adalah hasil analisa penggunaan sistem *vertical drain* pada tanah lunak di daerah rencana pembangunan perumahan dua lantai *Grand Island Pakuwon Surabaya*.

Dengan latar belakang seperti yang sudah dijelaskan, maka diangkat judul Tugas Akhir Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*. Lokasi Studi Pakuwon City Surabaya, Jawa Timur.

2. DASAR TEORI

KONSOLIDASI TANAH

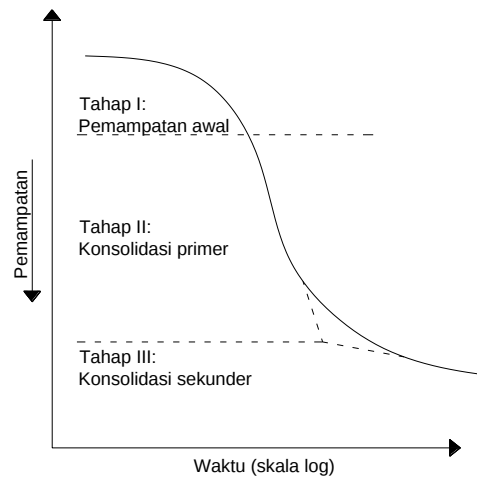
Konsolidasi tanah adalah suatu proses pengecilan volume secara perlahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagai air pori. Proses tersebut berlangsung terus sampai kelebihan tegangan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total telah benar – benar hilang (Craig, 1944:213).

Pada umumnya, tahapan konsolidasi dapat ditunjukkan oleh grafik hubungan antara pemampatan dan waktu. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa ada tiga tahapan yang berbeda yang dapat dijalankan :

Tahap I : Pemampatan awal (*initial compression*).

Tahap II : Konsolidasi primer (*primary consolidation*).

Tahap III : Konsolidasi sekunder (*secondary consolidation*).



Gambar 1. Hubungan waktu pemampatan selama konsolidasi untuk suatu penambahan beban yang diberikan

(Sumber : Das, B.M, 1994 : 184)

PENURUNAN AKIBAT KONSOLIDASI PRIMER (SC)

Untuk tanah yang terkonsolidasi normal (*normally consolidated*), besarnya penurunan dihitung dengan persamaan (Das, 1985):

$$S_c = \frac{C_c \cdot h}{1+e_0} \times \log \left(\frac{\sigma'_{10}}{\sigma'_{10}} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Sedangkan tanah yang terkonsolidasi berlebih (*over consolidated*), besarnya penurunan dihitung dengan persamaan (Das, 1985):

Bila $\sigma'_o + \Delta\sigma \leq \sigma'_c$, maka:

$$S_c = \frac{C_s \cdot h}{1+e_0} \times \log \left(1 + \frac{\Delta\sigma}{\sigma'_{10}} \right)$$

Bila $\sigma'_o + \Delta\sigma \geq \sigma'_c$, maka:

$$S_c = \frac{C_s \cdot h}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_{10}} \right) + \frac{C_c \cdot h}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma}{\sigma'_c} \right)$$

Dimana:

h = Tebal lapisan lempung (m)

e₀ = Angka pori awal (*Initial Void Ratio*)

C_c = *Compression Index*

C_s = *Swelling Index*

Δσ = Besarnya tegangan dimuka tanah (*Surcharge*) (t/m²)

σ'_o = Tegangan *overburden* efektif (t/m²)

σ'_c = Tegangan prakonsolidasi efektif (t/m²)

KECEPATAN WAKTU PENURUNAN

Untuk mengetahui kecepatan penurunan konsolidasi didapat dari penurunan matematis yang diperkenalkan oleh Terzaghi (1925) pada buku *Principles of foundation engineering* Braja M. Das dengan asumsi-asumsi tetap berpegang kepada teori konsolidasi satu dimensi.

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

Dimana:

T_v = Faktor waktu

C_v = Koefisien konsolidasi (cm^2/detik)

t = Waktu (detik)

H_{dr}^2 = Tebal lapisan tanah (m)

Harga U_v dicari dengan rumus :

Untuk U_v antara 0 sampai 60% :

$$T_v = \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{U_v\%}{100} \right)^2$$

Untuk $U_v > 60\%$:

$$T_v = -0,933 \cdot \log(1 - U_v) - 0,085$$

Koefisien konsolidasi vertikal (C_v) menentukan kecepatan pengaliran air pada arah vertikal dalam tanah. Karena pada umumnya konsolidasi berlangsung satu arah saja, yaitu arah vertikal, maka koefisien konsolidasi sangat berpengaruh terhadap kecepatan konsolidasi yang akan terjadi.

Waktu penurunan dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut (Terzaghi, 1990):

$$t = \frac{T_v \cdot H_{dr}^2}{C_v} \dots\dots\dots (3)$$

$$C_v = \frac{T_v \cdot H^2}{t_{90}} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

T_v = Faktor waktu dari hubungan dengan derajat konsolidasi

C_v = Koefisien konsolidasi (cm^2/detik)

H_{dr} = Jarak lintasan drainase terpanjang arah vertikal (cm)

Untuk tanah berlapis-lapis dengan ketebalan berbeda, waktu penurunan dapat dicari dengan rumus berikut :

$$C_{vgab} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{C_{v1}} + \frac{H_2}{C_{v2}} + \dots + \frac{H_n}{C_{vn}} \right)^2} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

$H_1, H_2, \dots, H_n$ = Tebal lapisan tanah lempung yang mengalami pemampatan (cm)

$C_{v1}, C_{v2}, \dots, C_{vn}$ = Harga C_v untuk masing-masing lapisan tanah yang bersangkutan (cm^2/detik)

Perbaikan Tanah Lunak

Lapisan tanah lunak pada umumnya adalah lempung (*clay*) atau lanau (*silt*), kendala yang dihadapi ketika merencanakan suatu bangunan pada kondisi tanah tersebut adalah daya dukung (*bearing capacity*) dan penurunan (*settlement*).

PRELOADING

Metode *preloading* merupakan sebuah metode mekanisme yang digunakan untuk memperbaiki

karakter tanah. Teknisnya adalah dengan memberikan beban yang besarnya direncanakan lebih besar atau sama dengan berat struktur yang direncanakan akan berdiri di atasnya.

Pemberian beban sesuai dengan berat struktur yang akan berdiri dimaksudkan untuk mengurangi dampak penurunan yang besar secara cepat dan meningkatkan daya dukung tanah akibat proses pemampatan. Sehingga ketika konstruksi telah berdiri, penurunannya yang terjadi tidak akan signifikan dan masih dalam batas toleransi yang diijinkan.

Beban struktur yang direncanakan akan aplikasikan ke dalam bentuk tanah timbunan, yang kemudian dibebankan ke area tanah yang memerlukan perbaikan. Untuk mengetahui beban timbunan dapat digunakan rumus berikut (Hardiyatmo, 2010) :

$$q_t = \gamma_{tim} \times H \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

q_t = Beban timbunan (t/m^2)

γ_{tim} = Berat volume tanah timbunan (t/m^3)

H = Tinggi tanah timbunan (m)

Tinggi timbunan direncanakan berdasarkan daya dukung tanah mula-mula. Kuat geser tanah dalam hal ini kohesi akan sangat berpengaruh pada tinggi timbunan yang di rencanakan. Maka, tinggi timbunan rencana dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut Mitchell, 1998. *Principles of foundation engineering* Braja M. Das (Das, 1985):

$$q_u = 2 \cdot c_u \dots\dots\dots (7)$$

$$q_u = \gamma_{timb} \cdot H_{cr} \dots\dots\dots (8)$$

Maka:

$$H_{cr} = \frac{2 \cdot c_u}{\gamma_{timb}} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana:

H = Tinggi timbunan kritis (m)

c_u = Kohesi tanah dasar (t/m^2)

γ_{timb} = Berat volume tanah timbunan (t/m^3)

Untuk tahapan timbunan *preloading* selanjutnya dihitung berdasarkan peningkatan daya dukung akibat pemampatan tanah dengan menggunakan korelasi antara kuat geser dan indeks plastis dengan persamaan berikut Stuedlein and Holtz, 2013. *Principles of foundation engineering* Braja M. Das (Das, 1985):

$$c_u/Po' = 0,11 + 0,0037 PI \dots\dots\dots (10)$$

$$c_u' = C_u + C_{u1} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana:

C_u = Kuat geser *undrained* akibat pemampatan

C_u' = Kuat geser *undrained* setelah pemampatan

C_{u1} = Kuat geser *undrained* mula-mula

Po' = Tekanan *overbuden* efektif setelah pemampatan

PI = Indeks plastis

Perhitungan tahapan *preloading* akan berhenti jika peningkatan nilai c_u' telah mencapai kriteria jenis tanah medium atau sedang dan setelah tinggi timbunan akhir yang direncanakan terpenuhi. Berikut

nilai C_u dari tanah medium berdasarkan nilai q_u (Murthy, 1997).

Drainase Vertikal

Jika sebuah timbunan dibangun pada tanah lempung, maka tanah lempung akan mengalami penurunan konsolidasi secara berlebihan. Hal ini menyebabkan beberapa bagian timbunan akan melengkung ke bawah atau bahkan hilang. Selain itu, proses konsolidasi secara alami berlangsung cukup lama. Untuk mengatasi hal tersebut, maka penurunan tanahnya perlu dipercepat sehingga jika konstruksi selesai dibangun sisa penurunan tidak akan terlihat dengan signifikan serta waktu yang diperlukan relatif lebih singkat.

Proses mempercepat konsolidasi pada jenis tanah tersebut dapat dilakukan dengan memperpendek jarak lintasan air. Untuk melakukannya, dapat digunakan metode Drainase Vertikal. Drainase vertikal adalah sebuah metode yang bertujuan untuk mempercepat proses konsolidasi pada tanah berbutir halus dan memiliki kadar air maksimum. Caranya dengan memperpendek jarak lintasan air horisontal dan mengalirkannya secara vertikal keluar dari area konstruksi.

Pada awal berkembangnya, metode ini berupa kolom-kolom pasir yang dibuat secara vertikal masuk ke dalam tanah sehingga sering juga disebut drainase pasir. Pada tahun 1930-an, di Swedia berkembang bentuk lain dari drainase vertikal. Pada waktu itu, dikembangkan sebuah bentuk drainase vertikal pracetak yang kemudian kita kenal dengan nama

Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Prefabricated Vertical Drain adalah sebuah bahan geosintetis yang berbentuk seperti pita. Keunggulan dari bahan ini adalah dapat memperkecil gangguan tanah yang dapat mengurangi kinerja drainase dan cara pemasangan yang jauh lebih mudah.

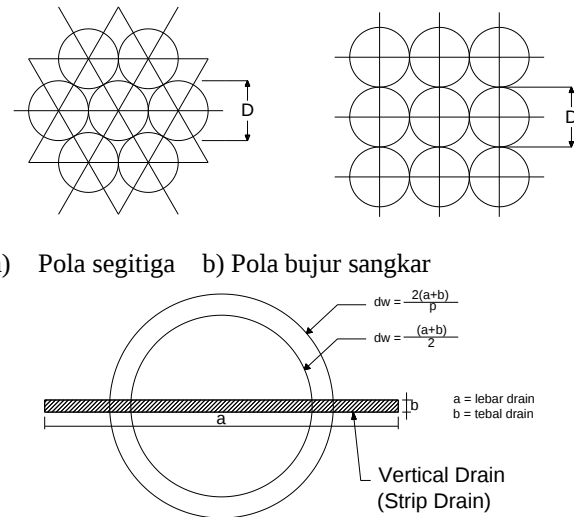
Besarnya waktu konsolidasi akibat penggunaan PVD dapat diketahui dengan menggunakan persamaan yang di kemukakan oleh Hansbo berikut:

$$t = \left(\frac{D^2}{8 \cdot C_h} \right) \cdot F(n) \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - U_h} \right) \quad (12)$$

Dimana:

- t = Waktu penurunan
- D = Diameter ekuivalen lingkaran
- C_h = Koefisien konsolidasi arah horisontal
- $F(n)$ = Faktor hambatan jarak antar PVD
- U_h = Derajat konsolidasi tanah arah horisontal (%)

Bentuk susunan vertikal drain pada umumnya terdapat dua bentuk yaitu bentuk segitiga dan persegi.



Gambar 2. Ekuivalen diameter PVD

Sumber : Yeung 1997. *Principles of foundation engineering*. Braja M. Das

Vertikal drain mempercepat proses konsolidasi karena memperkecil jarak aliran air radial, derajat konsolidasi untuk arah vertikal dan horisontal dapat diketahui dengan persamaan yang diusulkan oleh Barron (1948) sebagai berikut :

$$U_v = \sqrt{\frac{4Tv}{\pi}} \quad (13)$$

$$U_h = 1 - \frac{1}{e^{\left(\frac{8Th}{F(n)} \right)}} \quad (14)$$

Dimana:

$$T_v = \frac{C_v t}{D^2} \quad (15)$$

$$T_h = \frac{H d r^2}{C_h t} \quad (16)$$

Dengan faktor hambatan karena jarak PVD, (Barron, 1948):

$$F(n) = \ln \frac{D}{d_w} - \frac{3}{4} \quad (17)$$

Besarnya nilai derajat konsolidasi gabungan sebagai berikut (Mochtar, 2000):

$$U_{gab} = (1 - (1 - U_v) \times (1 - U_h)) \times 100\% \quad (18)$$

Dimana:

- U_{gab} = Derajat konsolidasi gabungan
- U_v = Derajat konsolidasi arah vertikal
- U_h = Derajat konsolidasi arah horisontal/radial
- T_v = Faktor waktu untuk arah drainase vertikal
- $F(n)$ = Faktor hambatan karena jarak PVD
- d_w = Diameter ekuivalen PVD

Menghitung nilai penurunan total dengan pengaruh derajat konsolidasi gabungan dapat diketahui dengan persamaan berikut (Hardiyatmo, 2010) :

$$S_{c_t} = U \cdot S_c \quad (19)$$

Dengan:

S_{c_t} = Penurunan yang terjadi pada derajat konsolidasi U

Dalam suatu koordinat silinder tiga dimensi, bentuk persamaan konsolidasi dengan perbedaan sifat tanah dalam arah horizontal dan vertical sekaligus, adalah:

$$\frac{\delta u}{\delta t} = C_n \left(\frac{\delta^2 u}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta u}{\delta r} \right) + C_v \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} \dots\dots\dots (20)$$

Dengan:

U = Kelebihan tekanan air pori

t = Waktu konsolidasi

r = Koordinat silinder radial

z = Koordinat silinder aksial

Cv = Koefisien konsolidasi vertikal

Ch = Koefisien konsolidasi horizontal

Waktu konsolidasi dinyatakan oleh persamaan:

$$t = \frac{D^2}{8C_h} F(n) \ln \left(\frac{1}{1-U_n} \right) \dots\dots\dots (21)$$

Derajat konsolidasi arah radial rata-rata :

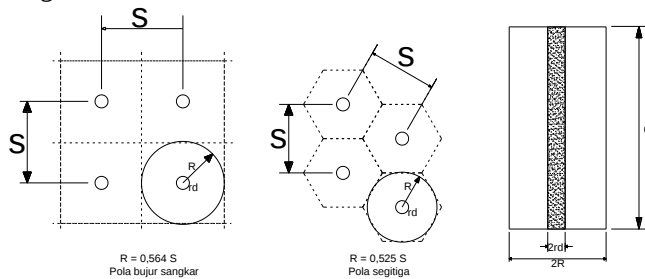
$$U_v = 1 - e^{\{-8Th / F(n)\}} \dots\dots\dots (22)$$

Dengan:

t = Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai U_h

D = Diameter silinder pengaruh drainase vertikal

Pemasangan drainase vertikal yang bisa digunakan ada dua macam yaitu pola segitiga dan pola bujur sangkar.



Gambar 3. Pola pemasangan drainase vertikal

Sumber : (Bachus and Barksdale, 1989). *Principles of foundation engineering* Braja. M. Das, 1991

R dari drainase vertikal yang berbentuk pola segitiga adalah :

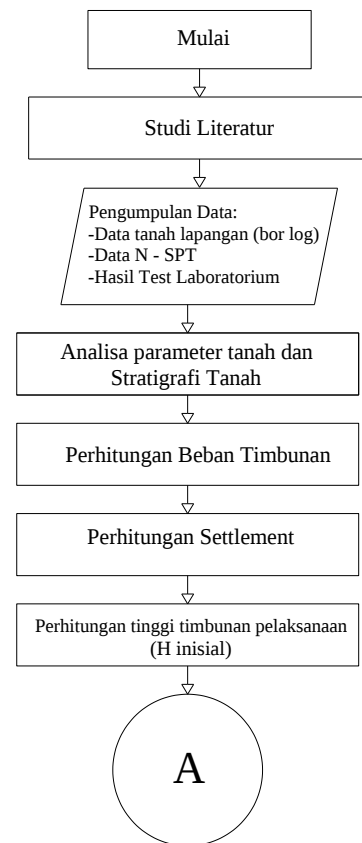
$$D = 1,05 \cdot S$$

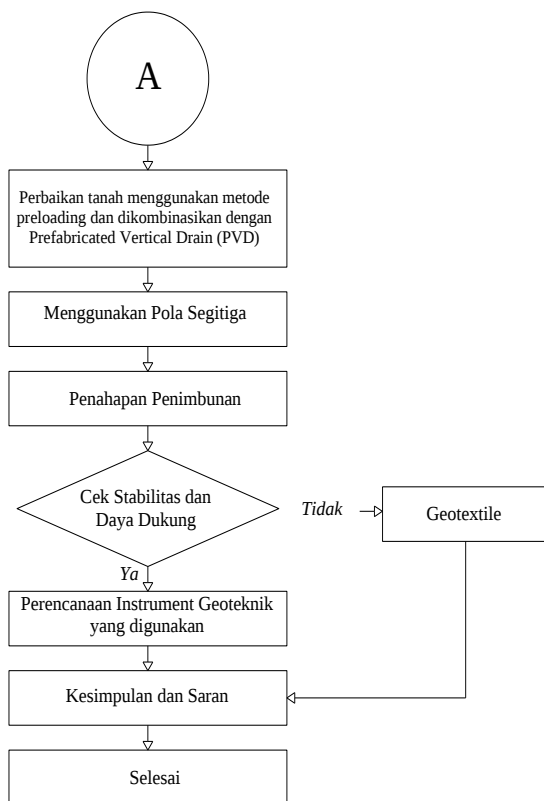
Sedangkan R untuk pola bujur sangkar :

$$D = 1,13 \cdot S.$$

3. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah studi yang dilakukan, disajikan dalam bentuk *flowchart*, seperti pada Gambar 4:





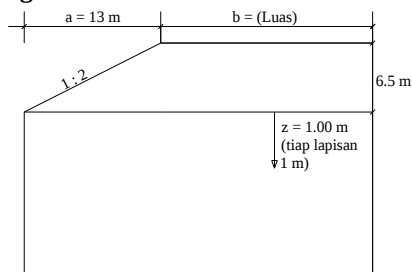
Gambar 4. Flowchart / Bagan Alir Perencanaan

4. PEMBAHASAN

PERHITUNGAN PENURUNAN MENGGUNAKAN PVD AKIBAT BEBAN TIMBUNAN

PERHITUNGAN DISTRIBUSI TEGANGAN (ΔP)

Perhitungan beban timbunan :



Tabel 1. Perhitungan Distribusi Tegangan (ΔP)

No	Kedalaman (m)	qo (t/m ²)	I	ΔP (t/m ²)
1	1	6,35	1	6,35
2	2	6,35	1	6,35
3	3	6,35	1	6,35
4	4	6,35	1	6,35
5	5	6,35	1	6,35
6	6	6,35	1	6,35
7	7	6,35	1	6,35
8	8	6,35	1	6,35
9	9	6,35	1	6,35
10	10	6,35	1	6,35
11	11	6,35	1	6,35
12	12	6,35	1	6,35
13	13	6,35	1	6,35
14	13,5	6,35	1	6,35

PENURUNAN TANAH (KONSOLIDASI PRIMER)

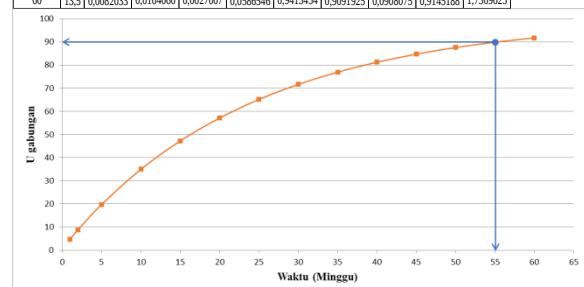
Tabel 2. Penurunan tanah menggunakan PVD (Sc)

No	Kedalaman (m)	H _i (m)	C _c	e ₀	Po' t/m ²	ΔP (t/m ²)	$\Delta P + Po'$	Sc (m)
1	1	1	0,87	2,32	0,51	6,35	6,86	0,29578793
2	2	1	0,87	2,32	1,02	6,35	7,37	0,225064628
3	3	1	0,87	2,34	1,515	6,35	7,865	0,186317036
4	4	1	0,87	2,34	1,995	6,35	8,345	0,161883411
5	5	1	0,87	2,34	2,475	6,35	8,825	0,143820771
6	6	1	0,87	2,34	2,955	6,35	9,305	0,129759951
7	7	1	0,87	2,34	3,435	6,35	9,785	0,118422652
8	8	1	0,87	2,34	3,915	6,35	10,265	0,109043609
9	9	1	0,87	2,34	4,395	6,35	10,745	0,101130347
10	10	1	0,87	2,34	4,875	6,35	11,225	0,094348564
11	11	1	0,87	2,34	5,355	6,35	11,705	0,088461794
12	12	1	0,87	2,34	5,835	6,35	12,185	0,083297205
13	13	1	0,87	2,34	6,315	6,35	12,665	0,07872506
14	13,5	1	0,87	2,34	6,555	6,35	12,905	0,076629108
Total (m)								1,892692067

PERHITUNGAN DERAJAT KONSOLIDASI MENGGUNAKAN PVD

Tabel 3. Perhitungan derajat konsolidasi gabungan (U_{gab})

T (minggu)	H	C _v gab (m ² /minggu)	C _h (m ² /minggu)	T _v	U _v	(1-U _v)	U _h	1-U _h	U _{gab}	Sc ₁ (m)
1	13,5	0,0082033	0,0164066	4,501E-05	0,0075723	0,9924277	0,0391948	0,9608052	0,0464702	0,0879539
2	13,5	0,0082033	0,0164066	9,002E-05	0,0107088	0,9892912	0,0768533	0,9231467	0,0867391	0,1641704
5	13,5	0,0082033	0,0164066	0,0002251	0,0169321	0,9830679	0,181202	0,818798	0,1950659	0,3691998
10	13,5	0,0082033	0,0164066	0,0004501	0,0238456	0,9761544	0,3295698	0,6704302	0,3456236	0,6541591
15	13,5	0,0082033	0,0164066	0,0006752	0,0293273	0,9706727	0,451053	0,548947	0,4671522	0,8841752
20	13,5	0,0082033	0,0164066	0,0009002	0,0338642	0,9661358	0,5505233	0,4494767	0,5657445	1,0707801
25	13,5	0,0082033	0,0164066	0,0011253	0,0378614	0,9621386	0,6319694	0,3680306	0,6459035	1,2224964
30	13,5	0,0082033	0,0164066	0,0013503	0,041475	0,958525	0,6986572	0,3013428	0,7111554	1,3459982
35	13,5	0,0082033	0,0164066	0,0015754	0,0447982	0,9552018	0,7532611	0,2467389	0,7643146	1,4466121
40	13,5	0,0082033	0,0164066	0,0018005	0,0478913	0,9521087	0,7979707	0,2020293	0,8076461	1,5286254
45	13,5	0,0082033	0,0164066	0,0020255	0,0507963	0,9492037	0,8345788	0,1654212	0,8429816	1,5955046
50	13,5	0,0082033	0,0164066	0,0022506	0,053544	0,9464554	0,8645534	0,1354466	0,8718058	1,6500599
55	13,5	0,0082033	0,0164066	0,0024756	0,0561575	0,9438425	0,8890966	0,1109034	0,8953247	1,6945739
60	13,5	0,0082033	0,0164066	0,0027007	0,0586546	0,9413454	0,9091925	0,0908075	0,9145188	1,7309025



Grafik 1. Hubungan antara derajat konsolidasi (U) dan waktu (t) menggunakan PVD

PENINGKATAN NILAI KOHESI (PEMASANGAN PVD 1 M)

Diketahui data tanah dasar sebagai berikut :

PI = 66 %

Cu awal = 1 t/m²

$$\begin{aligned}\Delta c_u / P_o' &= 0,1 + 0,0037 \text{ PI} \\ \Delta c_u &= 0,2941976 \text{ t/m}^2 \\ \text{Maka:} \\ C_u' &= \Delta c_u + c_u \\ &= 1,2941976 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

PRELOADING TAHAP 1

Data tanah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{timb}} &= 1,8 \text{ t/m}^3 \\ c_u &= 1,2942 \text{ t/m}^2 \text{ (Perubahan Nilai } c_u \text{ akibat peningkatan Nilai } c_u) \\ H_{cr} &= \frac{2 \times c_u}{\gamma_{\text{timb}}} \\ &= 1,437997 \text{ m} \\ \text{Untuk memudahkan dalam pelaksanaan maka tinggi timbunan yang digunakan sebesar } 1,00 \text{ m.}\end{aligned}$$

PENURUNAN TANAH (KONSOLIDASI PRIMER)

Tabel 4. Penurunan dengan menggunakan PVD (Sc) dan beban timbunan 1 m.

No	Kedalaman (m)	H (m)	Sc 90%	H ₁ (m)	C _c	e ₀	P ₀ ' (m ²)	ΔP (m ²)	ΔP + P ₀ '	Sc (m)	Sc 90%	Lapisan 1 & 2
1	1	1	0,2662091	0,73	0,87	2,32	0,51	8,15	8,66	0,236504887	0,2128544	1,20344
2	2	1	0,2025582	0,8	0,87	2,32	1,02	8,15	9,17	0,199307417	0,1793767	
3	3	1	0,1670853	0,83	0,87	2,34	1,515	8,15	9,665	0,174478728	0,1570389	
4	4	1	0,1456951	0,85	0,87	2,34	1,995	8,15	10,145	0,157173937	0,1414565	
5	5	1	0,1294387	0,87	0,87	2,34	2,475	8,15	10,625	0,143485119	0,1291386	
6	6	1	0,116784	0,88	0,87	2,34	2,955	8,15	11,105	0,132275125	0,1190476	
7	7	1	0,1063804	0,89	0,87	2,34	3,435	8,15	11,585	0,122867476	0,1105807	
8	8	1	0,0981392	0,9	0,87	2,34	3,915	8,15	12,065	0,114825812	0,1033432	
9	9	1	0,0910173	0,91	0,87	2,34	4,395	8,15	12,545	0,107851954	0,0970688	
10	10	1	0,0849137	0,92	0,87	2,34	4,875	8,15	13,025	0,101733131	0,0915598	
11	11	1	0,0796156	0,92	0,87	2,34	5,355	8,15	13,505	0,096312315	0,0866811	
12	11,6	1	0,0749675	0,93	0,87	2,34	5,835	8,15	16,433	0,07169013	0,0645211	
Total (m)										1,67828633	1,5104577	

WAKTU KONSOLIDASI DENGAN PVD PADA PRELOADING TAHAP 1

Tabel 5. Perhitungan derajat konsolidasi gabungan (U_{gab})

T (minggu)	H	C _v (m ² /minggu)	C _h (m ² /minggu)	T _v	U _v	(1-U _v)	U _h	1-U _h	U _{gab}	Sc (m)
1	11,6	0,008696261	0,01739252	6,455E-05	0,009067999	0,990932	0,0414662	0,9585338	0,0501581	0,0854405
2	11,6	0,008696261	0,01739252	0,0001291	0,012824087	0,9871759	0,0812129	0,9187871	0,0929955	0,1584107
5	11,6	0,008696261	0,01739252	0,0003227	0,020276663	0,9797233	0,1908347	0,8091653	0,2072419	0,3530206
10	11,6	0,008696261	0,01739252	0,0006455	0,028675531	0,9713245	0,3452516	0,6547484	0,3640268	0,6209916
15	11,6	0,008696261	0,01739252	0,0009682	0,0351202	0,9648798	0,4702003	0,5297997	0,488807	0,832645
20	11,6	0,008696261	0,01739252	0,0012999	0,0405533	0,9594467	0,5713045	0,4286955	0,5886895	1,0027872
25	11,6	0,008696261	0,01739252	0,0016137	0,04534	0,9546	0,6531131	0,3468855	0,6688423	1,1393212
30	11,6	0,008696261	0,01739252	0,0019364	0,0496675	0,9503325	0,7193123	0,2808777	0,7332533	1,2490405
35	11,6	0,008696261	0,01739252	0,0022592	0,053647	0,946353	0,7728772	0,2271228	0,7850617	1,3372921
40	11,6	0,008696261	0,01739252	0,0025918	0,0573511	0,9426489	0,8162201	0,1837799	0,8267601	1,4083221
45	11,6	0,008696261	0,01739252	0,0029476	0,06083	0,93917	0,8512917	0,1487083	0,8603376	1,4655188
50	11,6	0,008696261	0,01739252	0,0032273	0,0641204	0,9358796	0,8796704	0,1202996	0,887386	1,5119396

PENINGKATAN NILAI KOHESI

Diketahui data tanah dasar sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{PI} &= 66 \% \\ C_u \text{ awal} &= 1,29 \text{ t/m}^2 \\ \Delta c_u / P_o' &= 0,1 + 0,0037 \text{ PI} \\ \Delta c_u &= 0,3048071 \text{ t/m}^2 \\ \text{Maka:} \\ C_u' &= \Delta c_u + c_u \\ &= 1,5990047 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

PRELOADING TAHAP 2

Data tanah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{timb}} &= 1,8 \text{ t/m}^3 \\ c_u &= 1,6 \text{ t/m}^2 \text{ (Perubahan Nilai } c_u \text{ akibat peningkatan Nilai } c_u) \\ H_{cr} &= \frac{2 \times c_u}{\gamma_{\text{timb}}} \\ &= 1,78 \text{ m}\end{aligned}$$

Untuk memudahkan dalam pelaksanaan maka tinggi timbunan yang digunakan sebesar 1,50 m.

PENURUNAN TANAH (KONSOLIDASI PRIMER)

Tabel 6. Penurunan dengan menggunakan PVD dan beban timbunan 1,5 m.

No	Kedalaman (m)	H (m)	Sc 90%	H ₁ (m)	C _c	e ₀	P ₀ ' (m ²)	ΔP (m ²)	ΔP + P ₀ '	Sc (m)	Sc 90%	Lapisan 1 & 2
1	1	1	0,2128544	0,75	0,87	2,32	0,51	10,85	11,36	0,278012499	0,2502112	1,507216
2	2	1	0,1793767	0,82	0,87	2,32	1,02	10,85	11,87	0,228205549	0,2062832	
3	3	1	0,1570389	0,84	0,87	2,34	1,515	10,85	12,365	0,200205145	0,1801846	
4	4	1	0,1414565	0,86	0,87	2,34	1,995	10,85	12,845	0,188872062	0,1627849	
5	5	1	0,1291386	0,87	0,87	2,34	2,475	10,85	13,325	0,168842128	0,1493579	
6	6	1	0,1190476	0,88	0,87	2,34	2,955	10,85	13,805	0,153625084	0,1382626	
7	7	1	0,105807	0,89	0,87	2,34	3,435	10,85	14,285	0,14396102	0,1290665	
8	8	1	0,1033432	0,9	0,87	2,34	3,915	10,85	14,765	0,143647904	0,1211831	
9	9	1	0,0970688	0,9	0,87	2,34	4,395	10,85	15,245	0,127045042	0,1143405	
10	9,922	1	0,0915598	0,91	0,87	2,34	4,875	10,85	15,68756	0,120900948	0,1088109	
Total (m)										1,733750464	1,5603754	

WAKTU KONSOLIDASI DENGAN PVD PADA PRELOADING TAHAP 1

Tabel 7. Perhitungan derajat konsolidasi gabungan (U_{gab}) Preloading 1.

T (minggu)	H	C _v (m ² /minggu)	C _h (m ² /minggu)	T _v	U _v	(1-U _v)	U _h	1-U _h	U _{gab}	Sc (m)
1	11,6	0,0086963	0,0173925	6,45495E-05	0,009068	0,990932	0,0414662	0,9585338	0,0501581	0,0854405
2	11,6	0,0086963	0,0173925	0,000128241	0,0128241	0,9871759	0,0812129	0,9187871	0,0929955	0,1584107
5	11,6	0,0086963	0,0173925	0,000322747	0,0202767	0,9797233	0,1908347	0,8091653	0,2072419	0,3530206
10	11,6	0,0086963	0,0173925	0,000645495	0,0286755	0,9713245	0,3452516	0,6547484	0,3640268	0,6209916
15	11,6	0,0086963	0,0173925	0,000968242	0,0351202	0,9648798	0,4702003	0,5297997	0,488807	0,832645
20	11,6	0,0086963	0,0173925	0,001299989	0,0405533	0,9594467	0,5713045	0,4286955	0,5886895	1,0027872
25	11,6	0,0086963	0,0173925	0,001613736	0,04534	0,9546	0,6531131	0,3468855	0,6688423	1,1393212
30	11,6	0,0086963	0,0173925	0,001936484	0,0496675	0,9503325	0,7193123	0,2808777	0,7332533	1,2490405
35	11,6	0,0086963	0,0173925	0,002259231	0,053647	0,946353	0,7728772	0,2271228	0,7850617	1,3372921
40	11,6	0,0086963	0,0173925	0,002591878	0,0573511	0,9426489	0,8162201	0,1837799	0,8267601	1,4083221
45	11,6	0,0086963	0,0173925	0,00294726	0,06083	0,93917	0,8512917	0,1487083	0,8603376	1,4655188
50	11,6	0,0086963	0,0173925	0,003227473	0,0641204	0,9358796	0,8796704	0,1202996	0,887386	1,5119396

Tabel 8. Perhitungan derajat konsolidasi gabungan (U_{gab}) Preloading 2.

T (minggu)	H	C _v (m ² /minggu)	C _h (m ² /minggu)	T _v	U _v	(1-U _v)	U _h	1-U _h	U _{gab}	Sc (m)
1	9,9	0,0086823	0,0173646	0,003082499	0,062638	0,937362	0,0411176	0,9588824	0,0758968	0,1146389
2	9,9	0,0086823	0,0173646	0,00614998	0,08862	0,91138	0,028036	0,971964	0,1141714	0,1724511
5	9,9	0,0086823	0,0173646	0,015412494	0,1401205	0,8598795	0,0686231	0,9313769	0,1991281	0,3007745
10	9,9	0,0086823	0,0173646	0,030824988	0,1981603	0,8018397	0,132537	0,867463	0,3044338	0,4598343
15	9,9	0,0086823	0,0173646	0,046237482	0,2426958	0,7573042	0,192065	0,807935	0,3881474	0,5862803
20	9,9	0,0086823	0,0173646	0,061649976	0,2880241	0,7117959	0,247508	0,752492	0,4583871	0,6923743
25	9,9	0,0086823	0,0173646	0,07706247	0,3133189	0,6866811	0,2991463	0,7008537	0,5187371	0,7835304
30	9,9	0,0086823	0,0173646	0,092474964	0,3432237	0,6567763	0,3472411	0,6527589	0,5712834	0,8628994
35	9,9	0,0086823	0,0173646	0,107887458	0,370724	0,629276	0,3920354	0,6079646	0,6174224	0,9325905
40	9,9	0,0086823	0,0173646	0,123299951	0,3963206	0,6036794	0,4337558	0,5662442	0,65817	0,994138
45	9,9	0,0086823	0,0173646	0,138712445	0,4203615	0,5796385	0,4726132	0,5273868	0,6943063	1,0487203
50	9,9	0,0086823	0,0173646	0,154124939	0,4430999	0,5569001	0,5088041	0,4911959	0,726453	1,0972765

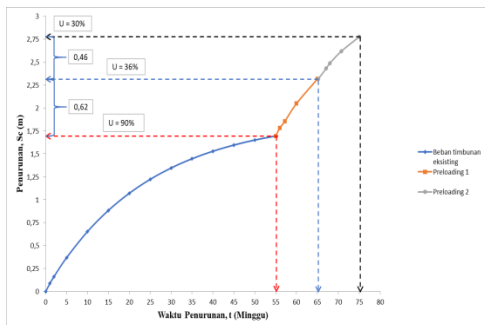
Tabel 9. Perhitungan Kombinasi Preloading dan PVD Jarak 1 m

Pembebanan	t (Minggu)	Sc (m)	U
Eksisting (Sirtu + Batu kapur)	55	1,694573918	90%
Preloading 1	10	0,620091611	36%
Preloading 2	10	0,459834304	30%
Total Penurunan	75	2,774499833	

Tabel 10. Rekap Perhitungan Kombinasi Preloading dan Variasi Jarak PVD

Jarak PVD (m)	Pembebanan	t (Minggu)	Sc (m)	U
1,00	Eksisting (Sirtu + Batu kapur)	55	1,6945739	90%
	Preloading 1	10	0,6200916	36%
	Preloading 2	10	0,46	30%
	Total Penurunan	75	2,7746655	> 2,494
1,20	Eksisting (Sirtu + Batu kapur)	85	1,7013845	90%
	Preloading 1	5	0,2500045	15%
	Preloading 2	5	0,2234074	15%
	Total Penurunan	95	2,1747963	< 2,494
1,30	Eksisting (Sirtu + Batu kapur)	70	1,5041482	80%
	Preloading 1	15	0,5360734	23%
	Preloading 2	10	0,1597471	32%
	Total Penurunan	95	2,1999687	< 2,494
1,40	Eksisting (Sirtu + Batu kapur)	75	1,4433545	76%
	Preloading 1	10	0,3405438	20%
	Preloading 2	10	0,3035965	20%
	Total Penurunan	95	2,0874948	< 2,494
1,50	Eksisting (Sirtu + Batu kapur)	60	1,1931882	63%
	Preloading 1	30	0,7134669	10%
	Preloading 2	5	0,1658741	43%
	Total Penurunan	95	2,0725292	< 2,494
1,60	Eksisting (Sirtu + Batu kapur)	55	1,0394037	55%
	Preloading 1	25	0,564553	33%
	Preloading 2	15	0,3361163	23%
	Total Penurunan	95	1,940073	< 2,494

Jadi dapat disimpulkan perhitungan untuk menghilangkan pemampatan sebesar 2,494 m dengan cara coba-coba maka diperoleh jarak pemasangan PVD, $S = 1$ m. Dengan total penurunan = 2,7744, selama 75 minggu dan waktu yang di tentukan oleh proyek adalah 96 minggu, maka pelaksanaan dilapangan tidak sampai melebihi batas waktu yang ditentukan.

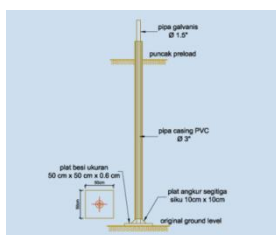


Grafik 2. Hubungan Waktu Penurunan dan Penurunan Kombinasi Preloading dan PVD Jarak 1 m

INSTRUMENT GEOTEKNIK

SETTLEMENT PLATE

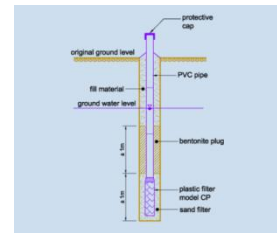
Tujuan pengamatan menggunakan *settlement plate* yaitu untuk memantau deformasi tanah atau penurunan tanah ketika sedang dilakukan pengerjaan.



Gambar 5. Settlement Plate

PIEZOMETER

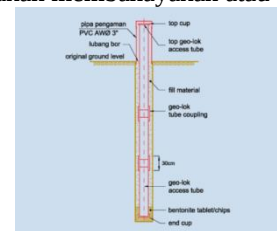
Secara umum, *piezometer* digunakan untuk mengukur tekanan air pori tanah.



Gambar 6. Piezometer

INCLINOMETER

Instrument ini berfungsi untuk mengukur gaya geser tanah, sehingga ketika terjadi pergeseran tanah akibat pengaruh kerja pada saat konstruksi bisa langsung diketahui apakah membahayakan atau tidak.



Gambar 7. Inclinator

5. PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil analisa perhitungan perbaikan tanah dengan metode *preloading* yang dikombinasikan dengan PVD. Maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Untuk mencapai tinggi timbunan rencana akhir 5 m diatas tanah lunak dibutuhkan tinggi timbunan sebesar 6,50 m. Yang artinya dengan berat jenis tanah timbunan rencana 1,8 t/m³, beban *preloading* yang bekerja yaitu 16,25 t/m², ditambah oleh beban bangunan yaitu 25 kPa = 2,5 t/m², menjadi 18,75 t/m².
2. Tinggi timbunan akhir yang didapat adalah 3,725 m.
3. Besar penurunan yang terjadi akibat beban *preloading* tanpa kombinasi PVD adalah $S_c (U_{90\%}) = 2,494$ m dengan waktu yang dibutuhkan 18000 minggu atau 345,2 tahun.
4. a. Perbaikan tanah kombinasi beban *preloading* dengan menggunakan PVD terjadi penurunan dan waktu sebagai berikut :

Variasi jarak PVD (m)	Penurunan yang terjadi (m)	Waktu Penurunan
1,0	2,775	75 minggu
1,2	2,175	95 minggu
1,3	2,199	95 minggu
1,4	2,087	95 minggu
1,5	2,073	95 minggu
1,6	1,94	95 minggu

b. Perbaikan tanah yang dipilih adalah kombinasi beban *preloading* dengan menggunakan PVD pola pemasangan segitiga dan jarak $S = 1,00$ m, waktu yang diperlukan selama 75 minggu atau 1,05 tahun. Terjadi penurunan sebesar 2,775 m,

memenuhi penurunan sebesar 2,494 m dan waktu yang diperlukan proyek 96 minggu).

DAFTAR PUSTAKA

- Barron, R. A. 1948. *Consolidation of Fine Grained Soils by Drain Wells*. Transaction ASCE. Vol. 113
- Bowles, J. E. 1983. *Foundation Analysis and Design Edisi Ketiga*. Erlangga. Jakarta
- Christady, H. 2010. *Mekanika Tanah 2 Edisi Kelima*. Gadjah mada University
- Christady, H. 2013. *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Perancangan dan Aplikasi*
- Terzaghi, K., and Peck, R. B. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice 2nd ed*. Wiley. New York
- Das, M. B. 1991. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip rekayasa Geoteknik)*. Erlangga. Jakarta
- Craig, R. F. 1994. *Mekanika Tanah Edisi Keempat*. Erlangga. Jakarta
- Lambe, T. W., and Whitman, R. V. 1969. *Soil Mechanics*
- Mochtar, B. I. 2000. *Teknik Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan pada Tanah Bermasalah (Problematic Soils)*. Surabaya. Jurusan Teknik Sipil - FTSP ITS
- Zhaifirah, A., Amalia, D. 2019. *Perencanaan Preloading dengan Menggunakan Prefabricated Vertical Drain untuk Perbaikan Tanah Lunak pada Jalan Tol Pejagan-Pemalang*. Jurnal. Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung
- Tomlison. 1957. *The Penetrometer and Soil Exploration*
- Winner, D., Endah, N., Kumalasari, P. T. 2017. *Perbaikan Tanah Dasar Menggunakan Pre-Fabricated Vertical Drain dengan Variasi Kedalaman dan Perkuatan Lereng dengan Turap – Studi Kasus Lapangan Penumpukkan Peti Kemas, Pelabuhan Trisakti Banjarmasin Kalimantan Selatan*. Jurnal. Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember