

Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak dengan Metode Preloading dan Prefabricated Vertical Drain di Kawasan Ancol Timur

Halimah N S¹, Juniarso², Sulardi³, Dimiyati⁴, Agus Suparman⁵,
Didiek Pramono⁶

¹⁻⁶ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas
Gunadarma

Email: realchy19@gmail.com¹, juniarso29@gmail.com², lardiardi@yahoo.com³,
dimiyati9ku@gmail.com⁴, suparman.agus72@gmail.com⁵,
didiekpramono09@gmail.com⁶

Abstrak

Tanah lunak memiliki daya dukung yang rendah sehingga, apabila tanah diberi beban di atasnya akan terjadi penurunan yang sangat signifikan. Sering kali tanah lunak menjadi permasalahan utama di setiap pekerjaan teknik sipil. Maka dari itu, perbaikan tanah sangat diperlukan pada jenis tanah lunak. Perbaikan yang digunakan pada jenis tanah lunak sendiri berbagai macam, salah satunya dengan penggunaan pre-fabricated vertical drain. Pre-fabricated vertical drain merupakan sistem drainase buatan yang dipasang vertikal pada tanah lunak. Fungsi dari pre-fabricated vertical drain sendiri antara lain, untuk mempersingkat jarak tempuh air pada pori-pori tanah sehingga mengurangi waktu yang diperlukan untuk tanah menjadi padat lebih cepat dibandingkan tanpa penggunaan pre-fabricated vertical drain. Berdasarkan data yang didapat, kedalaman tanah lunak sebesar 12 meter dengan tinggi timbunan yang direncanakan adalah 5 meter diperoleh konsolidasi alamiah pada saat derajat konsolidasi mencapai 90% adalah sebesar 8,942 meter dengan waktu konsolidasi selama 2,97 tahun atau 35,69 bulan atau 1070,71 hari. Berdasarkan variasi pola dan jarak pemasangan PVD, direkomendasikan untuk menggunakan pola segitiga dengan jarak 2 meter yaitu 0,48 tahun, jika dibutuhkan percepatan waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan pola dan jarak pemasangan PVD lainnya. Jika biaya konstruksi yang dipertimbangkan, berdasarkan perhitungan biaya konstruksi dengan acuan Permen PU No. 1 Tahun 2022 di setiap variasi pola dan jarak maka direkomendasikan untuk menggunakan pola segitiga dengan jarak 1 meter karena memiliki biaya yang paling murah diantara variasi pola dan jarak pemasangan PVD lainnya yaitu Rp 1.111.573.557,00.

Kata Kunci: PVD, Tanah Lunak, Permen PU tahun 2022, Konsolidasi

Abstract

The soft ground has a low carrying capacity so that, if the ground is given a charge on it, a very significant decrease will occur. Soft soil is often the main problem in any civil engineering work. Therefore, soil improvement is needed in soft soil types. There are various types of reparations used on soft soils, one of which is the use of prefabricated vertical drains. The prefabricated vertical drain is an artificial drainage system set up vertically in soft soil. The function of the pre-fabricated vertical drain itself, among others, is to shorten the distance water travels through the soil pores, thereby reducing the time required for the soil to solidify faster than without the use of a pre-fabricated vertical drain. According to the data obtained, the soft soil depth is 12 meters and the expected height of the embankment is 5 meters. Natural consolidation when the level of consolidation reaches 90% is 8,942 meters with a consolidation time of 2.97 years or 35.69 months or 1070.71 days. Based on variations in the pattern and distance PVD installation, it is recommended to use a triangular pattern with a distance of 2 meters, which is 0.48 years, if a faster time acceleration is needed compared to other PVD installation patterns and distances. If construction costs are taken into consideration, according to the calculation of construction costs by reference to the Minister of

Public Works No. 1 Year 2022 in every variation of pattern and distance, it is recommended to use a triangular pattern with a distance of 1 meter because it has the cheapest cost among other PVD pattern variations and installation distances, which is Rp. 1,111,573,557.00.

Keywords: Pre-fabricated Vertical Drain, Soft Soil, Permen PU year 2022, Consolidation

PENDAHULUAN

Tanah merupakan material geologi yang berada pada bagian kerak bumi sebagaimana halnya batuan. Tanah membagi bahan-bahan yang menyusun kerak bumi secara garis besar menjadi dua kategori: tanah (*soil*) dan batuan (*rock*), sedangkan batuan merupakan agregat mineral yang satu sama lainnya diikat oleh gaya-gaya kohesif yang permanen dan kuat (Terzaghi, 1996). Berdasarkan letak geografis pada suatu tempat, belum tentu memiliki jenis, karakteristik dan sifat tanah yang sama sehingga tanah tersebut belum tentu bisa digunakan baik untuk kegiatan konstruksi. Tanah mempunyai peranan penting dalam semua pekerjaan pada bidang teknik sipil. Hal ini dikarenakan tanah merupakan struktur bawah yang dapat mendukung beban bangunan di atasnya. Akan tetapi, dalam beberapa pekerjaan konstruksi sering terdapat permasalahan pada tanah.

Seperti pada proyek pengembangan *ecotourism* yang berlokasi di Ancol timur, terdapat permasalahan pada tanah dengan jenis tanah lunak. Tanah lunak memiliki daya dukung yang rendah sehingga, apabila tanah diberi beban di atasnya akan terjadi penurunan yang sangat signifikan. Sering kali tanah lunak menjadi permasalahan utama di setiap pekerjaan teknik sipil. Maka dari itu, perbaikan tanah sangat diperlukan pada jenis tanah lunak. Perbaikan yang digunakan pada jenis tanah lunak sendiri berbagai macam, salah satunya dengan penggunaan *pre-fabricated vertical drain* atau disingkat menjadi PVD.

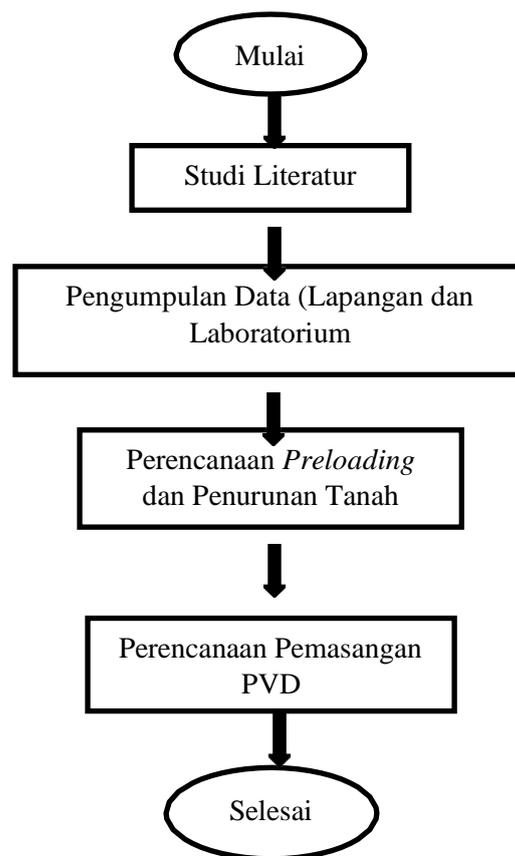
Pre-fabricated vertical drain merupakan sistem drainase buatan yang dipasang vertikal pada tanah lunak. Pemasangan PVD dilakukan dengan ditanam secara vertikal ke dalam tanah untuk mengalirkan air dari lapisan tanah lunak ke permukaan. Penggunaan PVD efektif untuk meningkatkan kuat geser tanah secara cepat dan penurunan primer yang hampir selesai saat konstruksi. Jenis tanah yang cocok dengan penggunaan PVD adalah tanah lempung (*clay*) atau lanau (*silty clay*).

Fungsi dari PVD sendiri antara lain, untuk mempersingkat jarak tempuh air pada pori-pori tanah sehingga mengurangi waktu yang diperlukan untuk tanah menjadi padat lebih cepat dibandingkan tanpa penggunaan *pre-fabricated vertical drain*. Keunggulan dari penggunaan *pre-fabricated vertical drain* selain mempercepat waktu konsolidasi, juga mampu meningkatkan erosititas lereng batuan, lebih ramah lingkungan, serta dianggap lebih ekonomis dan pemasangannya lebih mudah serta mengurangi gangguan yang mengakibatkan berkurangnya stabilitas tanah.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui waktu konsolidasi tanah lunak alamiah / tanpa *Pre-fabricated Vertical Drain*.
2. Mengetahui waktu konsolidasi tanah lunak dengan *Pre-fabricated Vertical Drain*.
3. Membandingkan pola dan jarak PVD yang lebih efektif, sesuai dengan waktu dan biaya.

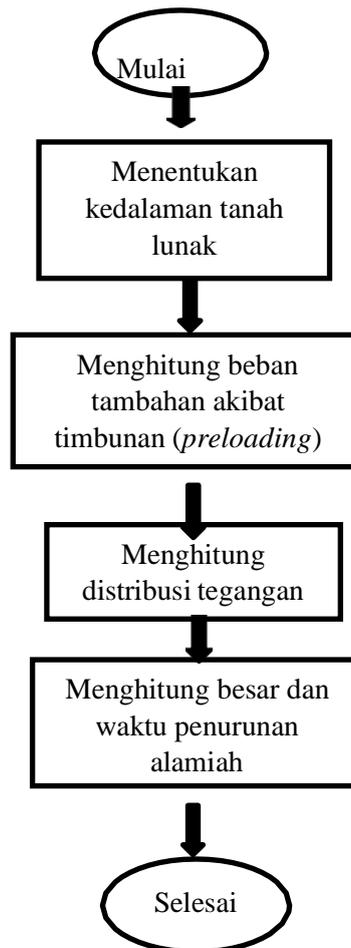
METODE PENELITIAN



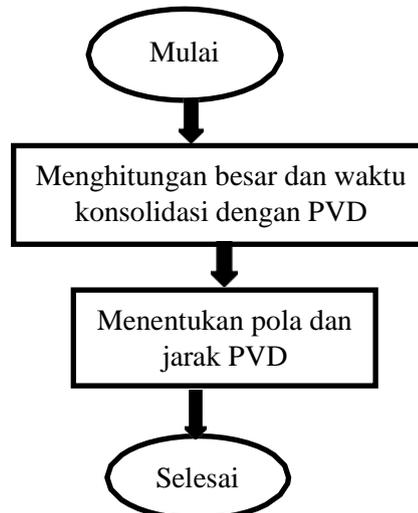
Gambar 1. Diagram Alir Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak dengan PVD

Penyusunan tugas akhir, yang dalam hal ini adalah perencanaan biaya dan waktu dibagimenjadi beberapa tahapan, yaitu:

1. Identifikasi Masalah dilakukan untuk menemukan masalah yang ada, mengidentifikasi sumber permasalahan dan menciptakan kalimat permasalahan yang sudah diidentifikasi.
2. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh referensi yang berkaitan untuk menyelesaikan permasalahan dalam penulisan tugas akhir ini. Studi literatur yang digunakan pada penulisan tugas akhir ini berasal dari buku, jurnal, dan skripsi.
3. Pengumpulan data yang diperlukan dalam perencanaan perbaikan tanah lunak dengan *prefabricated vertical drain*, seperti titik lokasi proyek, data boring log untuk mengetahui jenis karakteristik tanah, serta data laboratorium yang meliputi nilai konsolidasi vertical yang akan digunakan dalam perhitungan besar dan waktu konsolidasi.
4. Perencanaan *preloading* dilakukan setelah tinggi timbunan didapat, dengan mempertimbangkan berat jenis beton yang digunakan. Parameter yang dibutuhkan dalam mendapatkan nilai beban *preloading* adalah tebal perkerasan, berat jenis tanah timbunan dan beton.
5. Perencanaan penurunan tanah untuk mendapatkan besar dan waktu penurunan tanah sebelum pemasangan *prefabricated vertical drain*. Sebelum mendapatkan besar penurunan tanah, akan dilakukan perhitungan distribusi tegangan.
6. Pemasangan *prefabricated vertical drain* dapat dilakukan dengan menghitung besar dan waktu penurunan sebelum dan sesudah pemasangan. Selanjutnya, dapat ditentukan jarak dan pola yang akan digunakan dalam pemasangan *prefabricated vertical drain* serta biaya yang akan dikeluarkan dapat dihitung



Gambar 2 Diagram Alir Perencanaan *Preloading* dan Penurunan Tanah



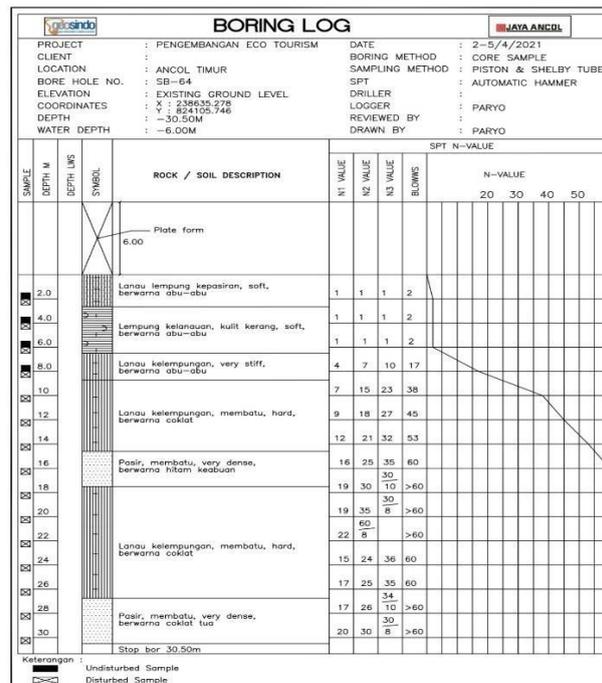
Gambar 3. Diagram Alir Pemasangan PVD

PEMBAHASAN

Proyek pekerjaan penelitian ini adalah proyek pengembangan Kawasan *Ecotourism* Ancol Timur yang terletak di daerah Jakarta Barat. Data timbunan tanah diperlukan dalam perencanaan *prefabricated vertical drain* (PVD) yang dikombinasikan dengan *pre-loading*. Tinggi timbunan yang direncanakan pada lokasi perbaikan tanah pada Kawasan *Ecotourism*

Ancol Timur adalah 5 m dengan hasil perhitungan timbunan kritis sebesar 2,056 m.

Data karakteristik tanah berguna dalam menentukan jenis, karakteristik serta kedalaman PVD yang diinginkan. Selain itu, data karakteristik tanah juga berguna untuk memperkirakan pengaruh yang terjadi pada pemasangan PVD akibat pembebanan. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data dari uji SPT. Uji SPT merupakan uji yang dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai pukulan (N) dari sampel tanah dengan Teknik penumbukan. Data SPT yang mewakili adalah SB (Boring Hole) 64 pada gambar di bawah berikut ini :



Gambar 4. Data SPT (Boring Hole 64) Kedalaman 1-30 m Sumber : PT. Geosindo

Perencanaan Preloading

Prapembebanan (*preloading*) adalah suatu proses pemberian beban diatas tanah sebelum pembangunan struktur guna mengkonsolidasi tanah. Maksud dari pembebanan ini adalah untuk meniadakan atau mereduksi penurunan konsolidasi primer, yaitu dengan membebani tanah lebih dulu sebelum pelaksanaan bangunan. Setelah penurunan konsolidasi primer telah selesai, baru beban tanah dibongkar dan struktur dibangun di atas tanah tersebut. Keuntungan dari pembebanan, kecuali mengurangi penurunan, juga menambah kuat geser tanah. Beban yang digunakan pada perencanaan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) ini merupakan beban statis. Beban statis adalah beban tetap dengan intensitas dan titik bekerjanya tetap. Berikut merupakan perhitungan beban tambahan:

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi timbunan} &= 2,056 \text{ m} & \text{Tebal Lapisan Perkerasan} &= 0,5 \text{ m} \\
 \text{Berat Jenis Tanah Timbunan} &= 17 \text{ kN/m}^3 \\
 \text{Berat Jenis Beton} &= 23,5 \text{ kN/m}^3 \text{ (K-400)} \\
 \text{Beban Preloading (q}_0\text{)} &= (\text{berat jenis tanah timbunan} \times \text{tinggi timbunan}) + \\
 &\quad (\text{berat jenis beton} \times \text{tebal lapisan perkerasan}) \\
 &= (17 \times 2,056) + (23,5 \times 0,5) \\
 &= 46,702 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

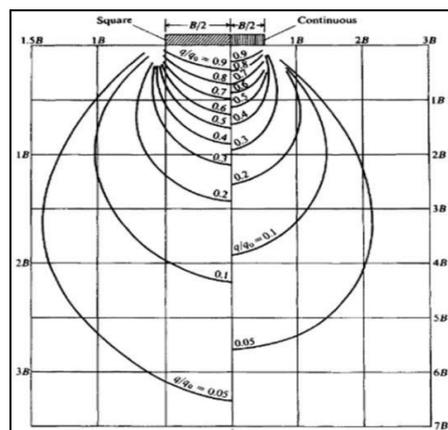
Perencanaan Distribusi Tegangan

Distribusi tekanan dalam tanah akibat timbunan mengacu pada distribusi tekanan akibat beban merata menerus Bulb Pressure dari Boussinesq. Berdasarkan grafik pada gambar dibawah, diketahui bahwa distribusi tegangan pada sampel sampai kedalaman tanah

lunak didapatkan tekanan tanah $0,9q$. Berikut perhitungan beserta parameter yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} H_{maks} &= 5 \text{ meter} \\ \gamma_{\text{timbunan}} &= 17 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Beban Preloading } (q_0) &= 46,702 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Distribusi Tegangan } (\Delta p) &= H_{maks} \times \gamma_{\text{timbunan}} \\ &= 5 \times 17 \\ &= 85 \text{ Kn/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Pengaruh } (I) &= \frac{2 \times q_0}{\Delta p} \\ &= \frac{2 \times 46,072}{85} \\ &= 1,098 \end{aligned}$$



Gambar 5 Grafik Distribusi Tegangan Sumber : Geosindo, 2021

Perencanaan Penurunan Tanah

Penurunan terjadi karena susunan tanah yang berubah dan berkurangnya rongga pori didalam tanah. Parameter penurunan konsolidasi sangat penting untuk analisis stabilitas lereng dan juga perbaikan tanah dengan jenis tanah lempung jenuh. Penurunan konsolidasi primer merupakan penurunan yang terjadi akibat perubahan volume tanah selama air yang keluar dari rongga pori tanah. Banyak ditemukan pada tanah dengan jenis tanah lempung jenuh air, dimana penambahan total akan diteruskan ke air pori dan butiran tanah. Perhitungan besarnya penurunan konsolidasi primer terhadap tanah dilakukan dengan menggunakan rumus *normally consolidated* (terkonsolidasi dengan normal). *Normally consolidated* (terkonsolidasi secara normal), yaitu tegangan *overburden* saat ini merupakan tegangan terbesar yang dialami tanah saat penurunan.

$$S_c = \frac{c}{1+e_0} H \log \frac{P_{0'} + \Delta p}{P_{0'}} \quad (1)$$

Berikut merupakan perhitungan konsolidasi primer beserta parameter yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} \text{Angka pori } (e_0) &= 1,80 \\ \text{Indeks Pemampatan } (C_c) &= 0,80 \\ \text{Tegangan overburden efektif } (P_0) &= 20,593 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Penambahan tegangan akibat beban vertikal } (\Delta P) &= 85 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Tebal lapisan tanah terkonsolidasi } (H) &= 12 \text{ m} \\ \text{Penurunan konsolidasi primer } (S) &= \frac{C_c}{1+e_0} H \log \frac{P_{0'} + \Delta p}{P_{0'}} \\ &= \frac{0,80}{1+1,80} \times 12 \log \frac{85+20,593}{20,593} \\ &= 2,343 \text{ m} \end{aligned}$$

Koefisien konsolidasi digunakan untuk menentukan kecepatan penurunan konsolidasi. Jika penurunan konsolidasi yang terjadi pada struktur diperkirakan besar, maka diperlukan perhitungan kecepatan penurunan. Nilai koefisien konsolidasi dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut :

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

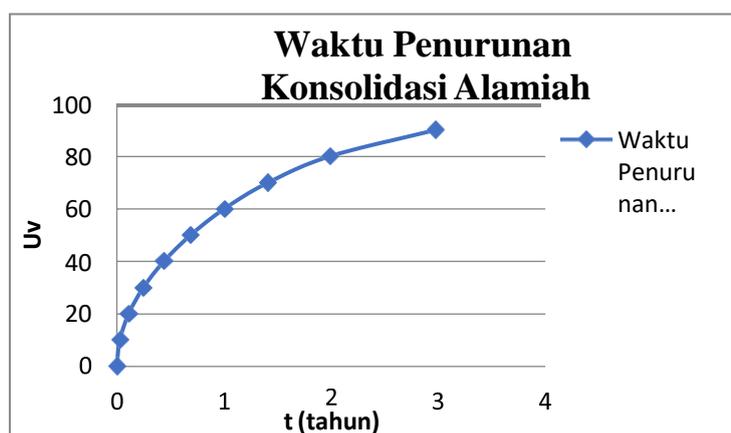
Pemampatan konsolidasi pada lapisan tanah dasar terjadi disebabkan oleh keluarnya air pori ke lapisan yang lebih porus, yaitu ke atas atau ke bawah saja (single drainage) atau ke atas dan ke bawah (double drainage). Menurut Tergazhi dalam Das (1985), waktu konsolidasi dirumuskan sebagai berikut:

$$t = \frac{T_v \cdot H^2}{C_v} \quad (3)$$

Grafik dan hasil perhitungan waktu konsolidasi alamiah selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1 Perhitungan Waktu Penurunan Konsolidasi Alamiah

U _v (%)	T _v	C _v (m ² /hari)	H _{dr}	t (hari)	t (bulan)	t (tahun)
0	0,000	0,028512	6	0,00	0,00	0
10	0,008	0,028512	6	9,91	0,33	0,03
20	0,031	0,028512	6	39,65	1,32	0,11
30	0,071	0,028512	6	89,20	2,97	0,25
40	0,126	0,028512	6	158,59	5,29	0,44
50	0,196	0,028512	6	247,79	8,26	0,69
60	0,286	0,028512	6	361,46	12,05	1,00
70	0,403	0,028512	6	508,64	16,95	1,41
80	0,567	0,028512	6	716,08	23,87	1,99
90	0,848	0,028512	6	1070,71	35,69	2,97



Grafik 1 Waktu Penurunan Konsolidasi Alamiah

Perencanaan dan Pemasangan Prefabricated Vertical Drain

Material PVD yang lentur dapat dimasukkan ke dalam tanah dengan menggunakan selongsong besi (*mandrel*) yang dipancangkan ke dalam tanah dengan menggunakan alat berat. Agar PVD dapat tertinggal di dalam tanah digunakan sepatu pelat (*anchor plate*) yang dipasang pada ujung bawah material PVD. Pemasangan PVD dimulai dengan membuat pola pemasangan PVD di lapangan.

Perencanaan PVD yang dilakukan pada kedalaman tanah lunak 3,5 m di titik SB-64.

Pilihan pola pemasangan PVD yang dihitung adalah pola segitiga dan bujur sangkar dengan jarakspasi 1 meter, 1,5 meter dan 2 meter. Tipe PVD yang digunakan pada perencanaan ini adalah Alidrain dengan spesifikasi untuk tebal 6,1 mm, lebar 100 mm dan panjang untuk 1 roll PVD sebesar 250 m.

Grafik dan hasil perhitungan waktu konsolidasi menggunakan PVD selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2 Waktu Konsolidasi menggunakan PVD dengan Pola Segitiga Jarak 1 meter

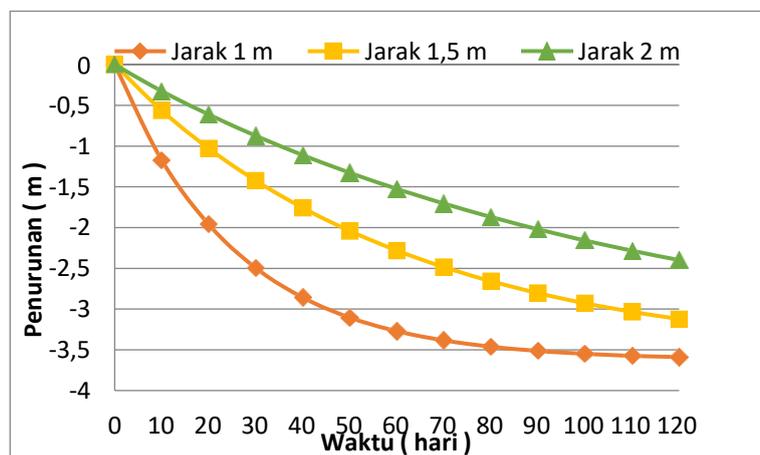
t		U _v	1 - U _v	T _r	U _r	1 - U _r	U %	S	t _c
tahun	hari								
0,000	0	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
0,027	10	0,005	0,995	0,388	0,320	0,680	0,324	1,174	0,023
0,055	20	0,007	0,993	0,776	0,538	0,462	0,541	1,962	0,045
0,082	30	0,009	0,991	1,164	0,686	0,314	0,689	2,497	0,068
0,110	40	0,011	0,989	1,552	0,786	0,214	0,789	2,859	0,091
0,137	50	0,012	0,988	1,940	0,855	0,145	0,857	3,105	0,113
0,164	60	0,013	0,987	2,328	0,901	0,099	0,903	3,272	0,136
0,192	70	0,014	0,986	2,715	0,933	0,067	0,934	3,385	0,158
0,219	80	0,015	0,985	3,103	0,954	0,046	0,955	3,462	0,181
0,247	90	0,016	0,984	3,491	0,969	0,031	0,969	3,514	0,203
0,274	100	0,017	0,983	3,879	0,979	0,021	0,979	3,550	0,226
0,301	110	0,017	0,983	4,267	0,986	0,014	0,986	3,574	0,248
0,329	120	0,018	0,982	4,655	0,990	0,010	0,990	3,590	0,271

Tabel 3 Waktu Konsolidasi menggunakan PVD dengan Pola Segitiga Jarak 1,5 meter

t		U _v	1 - U _v	T _r	U _r	1 - U _r	U %	S	t _c
tahun	hari								
0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
0,027	10	0,005	0,995	0,172	0,151	0,849	0,155	0,562	0,023
0,055	20	0,007	0,993	0,345	0,279	0,721	0,284	1,029	0,046
0,082	30	0,009	0,991	0,517	0,387	0,613	0,393	1,424	0,069
0,110	40	0,011	0,989	0,690	0,480	0,520	0,485	1,759	0,092
0,137	50	0,012	0,988	0,862	0,558	0,442	0,563	2,042	0,115
0,164	60	0,013	0,987	1,034	0,625	0,375	0,629	2,282	0,138
0,192	70	0,014	0,986	1,207	0,681	0,319	0,686	2,485	0,161
0,219	80	0,015	0,985	1,379	0,729	0,271	0,733	2,658	0,184
0,247	90	0,016	0,984	1,552	0,770	0,230	0,774	2,804	0,207
0,274	100	0,017	0,983	1,724	0,805	0,195	0,808	2,929	0,230
0,301	110	0,017	0,983	1,896	0,834	0,166	0,837	3,034	0,252
0,329	120	0,018	0,982	2,069	0,859	0,141	0,862	3,124	0,275

Tabel 4 Waktu Konsolidasi menggunakan PVD dengan Pola Segitiga Jarak 2 meter

t		Uv	1 - Uv	Tr	Ur	1 - Ur	U %	S	tc
tahun	hari								
0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
0,027	10	0,005	0,995	0,097	0,085	0,915	0,090	0,326	0,024
0,055	20	0,007	0,993	0,194	0,163	0,837	0,169	0,613	0,048
0,082	30	0,009	0,991	0,291	0,234	0,766	0,241	0,873	0,071
0,110	40	0,011	0,989	0,388	0,299	0,701	0,306	1,111	0,094
0,137	50	0,012	0,988	0,485	0,359	0,641	0,366	1,327	0,117
0,164	60	0,013	0,987	0,582	0,413	0,587	0,421	1,525	0,141
0,192	70	0,014	0,986	0,679	0,463	0,537	0,471	1,706	0,164
0,219	80	0,015	0,985	0,776	0,509	0,491	0,516	1,870	0,187
0,247	90	0,016	0,984	0,873	0,550	0,450	0,558	2,021	0,210
0,274	100	0,017	0,983	0,970	0,589	0,411	0,595	2,159	0,233
0,301	110	0,017	0,983	1,067	0,624	0,376	0,630	2,284	0,256
0,329	120	0,018	0,982	1,164	0,656	0,344	0,662	2,399	0,279



Grafik 2 Waktu Penurunan Konsolidasi menggunakan PVD dengan pola segitiga

Tabel 5 Waktu Konsolidasi menggunakan PVD dengan Pola Bujur Sangkar Jarak 1 meter

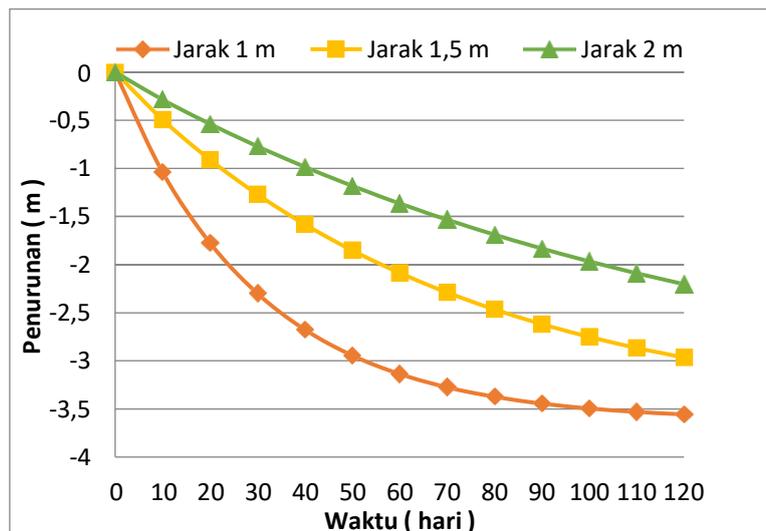
t		Uv	1 - Uv	Th	Uh	1 - Uh	U %	S	tc
tahun	hari								
0,000	0	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
0,027	10	0,005	0,995	0,335	0,283	0,717	0,287	1,039	0,023
0,055	20	0,007	0,993	0,670	0,486	0,514	0,490	1,775	0,046
0,082	30	0,009	0,991	1,005	0,631	0,369	0,635	2,300	0,069
0,110	40	0,011	0,989	1,340	0,735	0,265	0,738	2,676	0,091
0,137	50	0,012	0,988	1,675	0,810	0,190	0,813	2,945	0,114
0,164	60	0,013	0,987	2,010	0,864	0,136	0,866	3,138	0,137
0,192	70	0,014	0,986	2,345	0,902	0,098	0,904	3,276	0,160
0,219	80	0,015	0,985	2,679	0,930	0,070	0,931	3,375	0,182
0,247	90	0,016	0,984	3,014	0,950	0,050	0,951	3,446	0,205
0,274	100	0,017	0,983	3,349	0,964	0,036	0,965	3,497	0,228
0,301	110	0,017	0,983	3,684	0,974	0,026	0,975	3,533	0,251
0,329	120	0,018	0,982	4,019	0,981	0,019	0,982	3,559	0,273

Tabel 6 Waktu Konsolidasi menggunakan PVD dengan Pola Bujursangkar Jarak 1,5 meter

t		Uv	1 - Uv	Tr	Ur	1 - Ur	U %	S	tc
tahun	hari								
0,000	0	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
0,027	10	0,005	0,995	0,149	0,131	0,869	0,136	0,492	0,024
0,055	20	0,007	0,993	0,298	0,245	0,755	0,251	0,909	0,047
0,082	30	0,009	0,991	0,447	0,344	0,656	0,350	1,270	0,070
0,110	40	0,011	0,989	0,595	0,430	0,570	0,436	1,582	0,093
0,137	50	0,012	0,988	0,744	0,505	0,495	0,511	1,852	0,116
0,164	60	0,013	0,987	0,893	0,570	0,430	0,576	2,087	0,140
0,192	70	0,014	0,986	1,042	0,626	0,374	0,632	2,290	0,163
0,219	80	0,015	0,985	1,191	0,676	0,324	0,680	2,466	0,186
0,247	90	0,016	0,984	1,340	0,718	0,282	0,723	2,619	0,209
0,274	100	0,017	0,983	1,489	0,755	0,245	0,759	2,752	0,232
0,301	110	0,017	0,983	1,637	0,787	0,213	0,791	2,867	0,255
0,329	120	0,018	0,982	1,786	0,815	0,185	0,819	2,967	0,278

Tabel 7 Waktu Konsolidasi menggunakan PVD dengan Pola Bujur Sangkar Jarak 2 meter

t		Uv	1 - Uv	Tr	Ur	1 - Ur	U %	S	tc
tahun	hari								
0,000	0	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
0,027	10	0,005	0,995	0,084	0,074	0,926	0,079	0,285	0,025
0,055	20	0,007	0,993	0,167	0,142	0,858	0,148	0,538	0,048
0,082	30	0,009	0,991	0,251	0,205	0,795	0,212	0,770	0,072
0,110	40	0,011	0,989	0,335	0,264	0,736	0,271	0,984	0,095
0,137	50	0,012	0,988	0,419	0,318	0,682	0,326	1,182	0,119
0,164	60	0,013	0,987	0,502	0,368	0,632	0,376	1,364	0,142
0,192	70	0,014	0,986	0,586	0,415	0,585	0,423	1,533	0,166
0,219	80	0,015	0,985	0,670	0,458	0,542	0,466	1,689	0,189
0,247	90	0,016	0,984	0,754	0,498	0,502	0,506	1,833	0,212
0,274	100	0,017	0,983	0,837	0,535	0,465	0,543	1,967	0,236
0,301	110	0,017	0,983	0,921	0,569	0,431	0,577	2,090	0,259
0,329	120	0,018	0,982	1,005	0,601	0,399	0,608	2,204	0,282



Grafik 3 Waktu Penurunan Konsolidasi menggunakan PVD dengan pola persegi

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dalam perencanaan perbaikan tanah lunak yang menggunakan metode preloading dan prefabricated vertical drain (PVD) pada proyek Kawasan Ecotourism Ancol Timur pada titik L-64, maka dapat diambil kesimpulan :

1. Berdasarkan data yang didapat, kedalaman tanah lunak sebesar 12 meter dengan tinggi timbunan yang direncanakan adalah 5 meter diperoleh konsolidasi alamiah pada saat derajat konsolidasi mencapai 90% adalah sebesar 2,343 meter dengan waktu konsolidasi selama 2,97 tahun atau 35,69 bulan atau 1070,71 hari.
2. Berdasarkan hasil perhitungan waktu konsolidasi setelah pemasangan PVD dengan derajat konsolidasi 90% adalah sebagai berikut
 - a. Waktu konsolidasi setelah PVD untuk pola segitiga dengan jarak 1 m adalah 1,762 tahun.
 - b. Waktu konsolidasi setelah PVD untuk pola segitiga dengan jarak 1,5 m adalah 1,793 tahun.
 - c. Waktu konsolidasi setelah PVD untuk pola segitiga dengan jarak 2 m adalah 1,824 tahun.
 - d. Waktu konsolidasi setelah PVD untuk pola persegi dengan jarak 1 m adalah 1,779 tahun.
 - e. Waktu konsolidasi setelah PVD untuk pola persegi dengan jarak 1,5 m adalah 1,812 tahun.
 - f. Waktu konsolidasi setelah PVD untuk pola persegi dengan jarak 2 m adalah 1,845 tahun.
3. Rencana anggaran biaya (RAB) untuk perencanaan perbaikan tanah dengan metode preloading dan prefabricated vertical drain (PVD) memiliki harga yang bervariasi tergantung pola pemasangan dan jaraknya. Berikut adalah total biaya berdasarkan masing-masing pola pemasangan dan jaraknya :
 - a. Total biaya untuk pola segitiga jarak 1 m adalah Rp. 1.161.317.858,00
 - b. Total biaya untuk pola segitiga jarak 1,5 m adalah Rp. 1.111.984.132,00
 - c. Total biaya untuk pola segitiga jarak 2 m adalah Rp. 1.109.132.382,00
 - d. Total biaya untuk pola persegi dengan jarak 1 m adalah Rp. 1.152.682.858,00
 - e. Total biaya untuk pola persegi dengan jarak 1,5 m adalah Rp. 1.107.592.382,00
 - f. Total biaya untuk pola persegi dengan jarak 2 m adalah Rp. 1.135.907.120,00
4. Berdasarkan variasi pola dan jarak pemasangan PVD, direkomendasikan untuk menggunakan pola segitiga dengan jarak 1 meter jika dibutuhkan percepatan waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan pola dan jarak pemasangan PVD lainnya.

5. Jika biaya konstruksi yang dipertimbangkan, berdasarkan perhitungan biaya konstruksi pada setiap variasi pola dan jarak maka direkomendasikan untuk menggunakan pola persegi dengan jarak 1,5 meter karena memiliki biaya yang paling murah diantara variasi pola dan jarak pemasangan PVD lainnya.

SARAN

Berdasarkan dari hasil Tugas Akhir ini, penulis menyarankan hal-hal sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan perhitungan untuk perencanaan dimensi dan desain saluran drainase untuk aliran air dari drainase horizontal ke tempat pembuangan air.
2. Perlu dilakukan analisa finansial untuk saluran drainase, sehingga biaya konstruksi dapat diketahui secara keseluruhan.
3. Perlu dilakukan analisa tinggi kritis terhadap tinggi timbunan awal (preloading), untuk menentukan apakah perlu dilakukannya timbunan secara bertahap (stepped preloading).

DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja M.. 1995. Mekanika Tanah. Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis. Penerbit Erlangga.
- Das, Braja M.. 1995. Mekanika Tanah 2. Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis. Penerbit Erlangga.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. Mekanika Tanah 2 Edisi Keenam. Gajah Mada University Press.
- Hakam, Dr. Abdul. 2010. Stabilitas Lereng dan Dinding Penahan Tanah. CV. Ferila.