

PERBAIKAN TANAH MENGGUNAKAN METODE *PRELOADING* KOMBINASI PVD PROYEK AKATARA GAS PLANT FACILITY

Tasya Afkarina^{1*}, Paksitya Purnama Putra², Luthfi Amri Wicaksono³

¹Program Studi Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jln Kalimantan 37 Jember

*Corresponding authors: luthfiamri.teknik@unej.ac.id

Abstract: Soft soil is a major issue in the implementation of the Akatara Gas Plant Facility Project because it has low bearing capacity and undergoes significant settlement. A method that can be used to address the settlement issue is preloading combined with PVD. This study aims to design soil improvement for the construction of the primary road in the Akatara Gas Plant Facility project in Jambi using the preloading method combined with PVD. The PVD design uses non-woven PVD with width and thickness variations of 9.5 cm × 3.5 cm, 10 cm × 0.4 cm, and 10.5 cm × 4.5 cm. The installation patterns used are triangular and square, with spacing variations of 100 cm, 110 cm, 130 cm, and 150 cm. Based on the analysis results, soil preloading could not be applied due to failure, so it was combined with vacuum preloading. The vacuum preloading used has a capacity of 80 kPa, and the required embankment height is 3.93 meters. The planned PVD installation depth is 12 meters. The 90% consolidation time is influenced by the spacing variations and PVD installation patterns. The most effective PVD spacing and installation pattern is 110 cm with a square pattern. The consolidation time calculation after PVD installation resulted in 10.5 weeks. The selection of spacing and installation patterns is adjusted based on the project timeline for soil improvement at the Akatara Gas Plant Facility Project.

Keywords: soft soil, consolidation, preloading, PVD

Abstrak: Tanah lunak merupakan permasalahan besar dalam pelaksanaan Proyek Akatara Gas Plant Facility karena tanah lunak memiliki daya dukung yang rendah dan mengalami penurunan yang besar. Metode yang dapat digunakan untuk menangani masalah penurunan adalah dengan *preloading* kombinasi PVD. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan perbaikan tanah pada pembangunan jalan primer proyek Akatara Gas Plant Facility di Jambi dengan menggunakan metode *preloading* kombinasi PVD. Perencanaan PVD menggunakan PVD *non woven* dengan variasi ukuran lebar 9,5 cm tebal 3,5 cm, lebar 10 cm tebal 0,4 cm, dan lebar 10,5 cm tebal 4,5 cm. Pola pemasangan yang digunakan adalah pola segitiga dan bujur sangkar dengan variasi jarak 100 cm, 110 cm, 130 cm, dan 150 cm. Berdasarkan hasil analisis, *soil preloading* tidak dapat diterapkan karena mengalami keruntuhan sehingga *soil preloading* dikombinasikan dengan *vacuum preloading*. *Vacuum preloading* yang digunakan berkapasitas 80 kPa dan tanah timbunan yang dibutuhkan setinggi 3,93 meter. Kedalaman PVD yang direncanakan sedalam 12 meter. Waktu konsolidasi 90% dipengaruhi oleh variasi jarak dan pola pemasangan PVD. Jarak dan pola pemasangan PVD yang paling efektif adalah jarak 110 cm dengan pola bujur sangkar. Perhitungan waktu konsolidasi setelah digunakan PVD didapatkan 10,5 minggu. Pemilihan jarak dan pola pemasangan disesuaikan dengan waktu pengerjaan untuk perbaikan tanah pada Proyek Akatara Gas Plant Facility.

Kata kunci: tanah lunak, konsolidasi, *preloading*, PVD

1. PENDAHULUAN

Wilayah Desa Bram Itam Raya memiliki 4000 ha tanah sawah (Surati et al., 2019). Proyek Akatara Gas Plant Facility terletak di area sawah yang terbentuk dari endapan aluvial Sungai Bram Itam sehingga tanah di area proyek didominasi oleh tanah lunak berjenis lanau

setebal 12 dengan plastisitas yang tinggi dan kuat geser rendah. Permasalahan yang terjadi di area proyek adalah faktor penurunan, maka metode perbaikan tanah yang dapat dilakukan adalah metode *preloading* (ITS, 2018).

Preloading merupakan metode perbaikan tanah dengan pemberian beban sebesar beban

rencana konstruksi yang dilakukan sebelum dilaksanakannya pembangunan, pemberian beban ini bertujuan untuk mengurangi kemampumampatan tanah dan mencegah terjadinya penurunan berlebihan. Ketebalan lapisan tanah lempung lunak memengaruhi penurunan konsolidasi dan waktu konsolidasi karena tanah lempung lunak memiliki kompresibilitas yang tinggi serta permeabilitas yang rendah (Sosroardsono & Nakazawa, 2000). Ketebalan tanah lunak mengakibatkan waktu konsolidasi tanah berlangsung sangat lama (Masvika et al., 2021), sehingga *preloading* perlu dikombinasikan dengan PVD.

Pemasangan PVD dapat mempercepat hingga 95%. Husni Malik Hasibuan dkk., (2022) membuktikan dalam penelitiannya mengenai perencanaan perbaikan tanah dengan *preloading* kombinasi PVD bahwa perencanaan *preloading* dengan PVD dapat mempercepat waktu konsolidasi. Waktu yang dibutuhkan tanpa PVD selama 2,5 tahun (912 hari) sedangkan waktu yang dibutuhkan setelah menggunakan PVD selama 28-39 hari tergantung dengan jarak pemasangan yang direncanakan.

Berdasarkan permasalahan geoteknik yang terjadi di area Proyek Akatara Gas Plant Facility, perlu dilakukan perbaikan tanah dengan metode yang paling tepat adalah metode *preloading* kombinasi PVD untuk mereduksi atau menghilangkan penurunan tanah dasar dengan waktu yang cepat. Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui perencanaan perbaikan tanah dengan *preloading* kombinasi PVD dan mengetahui perbandingan waktu konsolidasi sebelum menggunakan PVD dengan waktu konsolidasi setelah menggunakan PVD.

2. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan pada perencanaan ini adalah data tanah SPT dan data laboratorium, data perencanaan timbunan, data *time schedule*, serta gambar *layout*. Analisa data tanah dilakukan dengan membuat diag ram stratigrafi tanah dan menentukan parameter-parameter tanah setiap kedalaman berdasarkan data tanah SPT untuk mengetahui karakteristik tanah pada setiap lapisan dan berpengaruh pada perhitungan serta perencanaan metode *preloading* dan PVD.

Perhitungan penurunan untuk merencanakan *preloading* dimulai dengan menghitung

beban yang direncanakan. Beban yang digunakan adalah beban lalu lintas.

Penurunan yang diperhitungkan adalah penurunan segera, penurunan konsolidasi primer, dan penurunan konsolidasi sekunder. Penurunan segera dihitung menggunakan persamaan 1.

$$S_i = \frac{I_v \cdot q \cdot B}{E_u} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

S_i = penurunan segera (m)
 I_v = faktor pengaruh permasalahan geometri
 q = beban yang bekerja (t/m^2)
 B = lebar daerah yang terbebani (m)
 E_u = modulus elastisitas *undrained* (t/m^2)

Penurunan pada tanah yang terkonsolidasi normal dihitung dengan persamaan 2.

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \right) \dots \dots \dots (2)$$

Penurunan tanah yang terkonsolidasi berlebihan dihitung dengan persamaan 3 atau persamaan 4 (Terzaghi & Peck, 1987).

Bila $\sigma'_0 + \Delta\sigma \leq \sigma'_c$, maka:

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \right) \dots \dots \dots (3)$$

Bila $\sigma'_0 + \Delta\sigma > \sigma'_c$, maka:

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} \right) + \frac{C_c \cdot H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_c} \right) \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

H = tebal lapisan *compressible* (m)
 e_0 = angka pori awal (*Initial Void Ratio*)
 C_c = *Compression Index*
 C_s = *Swelling Index*
 $\Delta\sigma$ = nilai tegangan di muka tanah (*surchage*) (t/m^2)
 σ'_0 = tegangan *overburden* efektif (t/m^2)
 σ'_c = tegangan prakonsolidasi efektif (t/m^2)

Penurunan konsolidasi sekunder dihitung dengan persamaan 5.

$$S_s = \frac{C_\alpha \cdot H}{1+e_p} \log \frac{t}{t_p} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

S_s = penurunan konsolidasi sekunder
 C_α = koefisien konsolidasi sekunder
 e_p = angka pori pada saat akhir konsolidasi primer
 t = umur masa layan timbunan (hari)
 t_p = lama konsolidasi primer (hari)

Waktu konsolidasi primer tanpa PVD dapat diperoleh dengan persamaan 6.

$$t = T_v \frac{H_{dr}^2}{C_v} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

t = waktu konsolidasi (detik)
 T_v = faktor waktu
 H_{dr} = panjang aliran air terpanjang (cm)
 C_v = koefisien konsolidasi vertikal (cm²/detik)

Faktor waktu adalah fungsi dari derajat konsolidasi (U_v). Adapun hubungan T_v dan U dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan T_v dan U

Derajat Konsolidasi (U_v)	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	∞

Perencanaan *preloading* dilakukan dengan menghitung tinggi awal timbunan (H_i) dan tinggi akhir timbunan (H_f). Oleh Mochtar (2012) dalam (Nugroho, 2018) H_i diperoleh dari persamaan 7, sedangkan H_f dihitung menggunakan persamaan 8.

$$H_i = \frac{q + S_c \cdot \gamma_w}{\gamma_{timb}} \dots\dots\dots(7)$$

$$H_f = H_i - S_c \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

H_i = tinggi awal timbunan (m)
 H_f = tinggi akhir timbunan (m)
 q = beban rencana (t/m²)
 S_c = *settlement* (m)
 γ_{timb} = berat volume tanah timbunan (t/m³)

Perencanaan PVD dimulai dengan penentuan kedalaman dan spesifikasi PVD dengan variasi lebar PVD 95-105 mm dengan ketebalan 3,5-4,5 mm. Perencanaan ini menggunakan 4 variasi jarak, yaitu 100 cm, 110 cm, 130 cm dan 150 cm. Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan waktu konsolidasi setelah menggunakan PVD dengan menghitung derajat

konsolidasi menggunakan persamaan 9, persamaan 10 atau 11, dan persamaan 13.

Derajat konsolidasi horizontal (U_h):

$$U_h = \left(1 - \frac{1}{\frac{t \times 8 \times C_h}{e D^2 \times 2 \times F(n)}} \right) \dots\dots\dots(9)$$

Derajat konsolidasi vertikal (U_v):

Bila T_v antara 0 s/d 60%, maka:

$$U_v = 2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \times 100\% \dots\dots\dots(10)$$

Bila $T_v > 60\%$, maka:

$$U_v = (100 - 10^a) \% \dots\dots\dots(11)$$

Dengan a dapat dilihat pada persamaan 12.

$$a = \frac{1,781 - T_v}{0,933} \dots\dots\dots(12)$$

Derajat konsolidasi rata-rata (U):

$$U = (1 - (1 - U_h) \cdot (1 - U_v)) \times 100\% \dots\dots\dots(13)$$

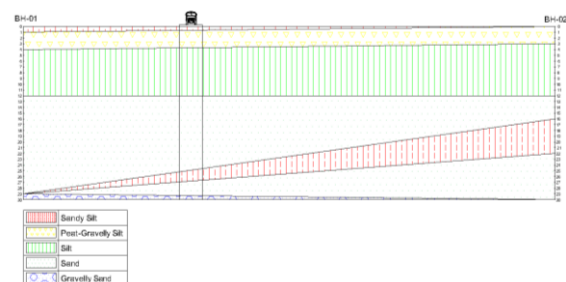
Keterangan:

U_h = derajat konsolidasi horizontal (%)
 t = waktu penyelesaian konsolidasi
 D = diameter daerah pengaruh PVD (cm)
 $D = 1,13 \times$ jarak PVD (pola segiempat)
 $D = 1,05 \times$ jarak PVD (pola segitiga)
 C_h = koefisien konsolidasi horizontal ($1-3 \times C_v$) (m²/tahun)
 $F(n)$ = fungsi hambatan akibat jarak PVD
 U_v = derajat konsolidasi vertikal (%)
 T_v = faktor waktu

Berdasarkan korelasi antara waktu dan derajat konsolidasi maka dipilih jarak dan pola pemasangan PVD yang paling efektif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Stratigrafi tanah dari data BH-01 dan BH-02 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Stratigrafi

Menurut Bowless dkk, partikel tanah terdiri dari berangkal (*boulders*), kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*) dan lempung (*clay*) (Fahriana et al., 2019). Berdasarkan diagram stratigrafi dan data hasil uji laboratorium, tanah dasar mengandung tanah *peat gravelly silt* sedalam 4 meter dengan kadar organik 28%, berdasarkan klasifikasi tanah lapisan ini termasuk jenis tanah lempung organik sehingga penurunan awal dan kompresi sekunder tanah dasar timbunan perlu dipertimbangkan (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2004).

Penurunan dan Waktu Penurunan

Beban yang direncanakan dalam perhitungan penurunan adalah beban lalu lintas sebesar $7,25 \text{ t/m}^2$.

Contoh perhitungan penurunan segera (S_i):

$$\begin{aligned} I_v &= 0,2775 \\ q &= 7,25 \text{ t/m}^2 \\ B &= 4 \text{ m} \\ E_u &= 354,688 \text{ t/m}^2 \\ S_i &= \frac{0,2775 \cdot 7,25 \cdot 4}{354,688} \\ &= 0,0908 \text{ m} \end{aligned}$$

Penurunan segera pada masing-masing lapisan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Penurunan Segera	
Lapisan	S_i (m)
<i>Peat gravelly silt</i>	0,0908
Lanau	0,0626

Contoh perhitungan penurunan konsolidasi primer (S_c):

$$\begin{aligned} q &= 7,25 \text{ t/m}^2 \\ C_s &= 2,061 \\ H &= 1 \text{ m} \\ e_0 &= 9,687 \\ \sigma'_0 &= 0,06 \text{ t/m}^2 \\ \Delta\sigma &= 3,48 \text{ t/m}^2 \\ S_c &= \frac{2,061 \cdot 1}{1 + 9,687} \log \left(\frac{0,06 + 3,48}{0,06} \right) \\ &= 0,3415 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 3. Penurunan Konsolidasi Primer

Lapisan	S_c (m)
<i>Peat gravelly silt</i>	1,3223
Lanau	0,854

Penurunan konsolidasi sekunder (S_s) pada lapisan *peat gravelly silt*:

$$\begin{aligned} H &= 4 \text{ m} \\ t &= 10 \text{ tahun (3650 hari)} \\ t_p &= 483 \text{ hari} \\ C_c &= 1,862 \\ e_0 &= 9,687 \\ C_\alpha &= 0,1117 \\ e_p &= 7,862 \\ S_s &= \frac{0,1117 \cdot 4}{1 + 7,862} \log \frac{3650}{483} \\ &= 0,0443 \text{ m} \end{aligned}$$

Penurunan total lapisan *peat gravelly silt*:

$$\begin{aligned} S_{\text{total}} &= S_i + S_c + S_s \\ &= 0,0908 + 1,3223 + 0,0443 \\ &= 1,4574 \text{ m} \end{aligned}$$

Pada tanah lempung lunak penurunan konsolidasi primer biasanya jauh lebih besar dan lebih lama dibandingkan penurunan segera (Das, 1995). Berdasarkan kadar organik dan hasil perhitungan penurunan, lapisan tanah *peat gravelly silt* termasuk dalam klasifikasi tanah lempung organik.

Contoh perhitungan waktu konsolidasi tanpa PVD:

$$\begin{aligned} T &= 1 \text{ tahun} \\ C_v &= 102492 \text{ cm}^2/\text{th} \\ H_{dr} &= 400 \text{ cm} \\ T_v &= \frac{1 \times 102492}{400^2} \\ &= 0,6406 \\ a &= \frac{1,781 - 0,6406}{0,933} \\ &= 0,5357 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_v &= (100 - 10^{0,5357})\% \\ &= 83,315\% \\ S_c &= U_v\% \times S_c \text{ total} \\ &= 83,315\% \times 1,3223 \\ &= 110,1711 \text{ cm} \end{aligned}$$

Waktu konsolidasi pada lapisan *peat gravelly silt* dan lapisan tanah lanau dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Waktu Konsolidasi Tanah *Peat Gravelly Silt*

Tahun	T_v	$U_{\%}$	S_c (cm)
0	0	0	0
1	0,6406	83,3152	110,1711
2	1,2812	96,5664	127,6937
3	1,9217	99,2934	131,2997
4	2,5623	99,8546	132,0417
5	3,2029	99,9701	132,1944
6	3,8435	99,9938	132,2259
7	4,4840	99,9987	132,2323
8	5,1246	99,9997	132,2337
9	5,7652	99,9999	132,2339
10	6,4058	100	132,2340

Berdasarkan Tabel 4 kondisi lapisan tanah *peat gravelly silt* tanpa PVD mengalami konsolidasi selama 10 tahun dan konsolidasi 90% dapat tercapai pada tahun ke-2.

Tabel 5. Waktu Konsolidasi Tanah Lanau

Tahun	T_v	$U_{\%}$	S_c (cm)
0	0	0	0
1	0,6406	83,3152	110,1711
2	1,2812	96,5664	127,6937
3	1,9217	99,2934	131,2997
4	2,5623	99,8546	132,0417
5	3,2029	99,9701	132,1944
6	3,8435	99,9938	132,2259
7	4,4840	99,9987	132,2323
8	5,1246	99,9997	132,2337
9	5,7652	99,9999	132,2339
10	6,4058	100	132,2340

Berdasarkan Tabel 5 kondisi lapisan tanah lanau tanpa PVD terus mengalami konsolidasi selama 25 tahun dan konsolidasi 90% dapat tercapai pada tahun ke-3.

Batas penurunan konsolidasi timbunan di atas tanah lunak untuk mencegah timbulnya masalah pada perkerasan adalah 100 mm, pencegahan yang dapat dilakukan untuk mengatasi penurunan berlebih adalah dengan prapembebanan (*preloading*) dan drainase vertikal untuk mempercepat konsolidasi (Badan Standardisasi Nasional, 2017). Penurunan dapat ditoleransi apabila kecepatan penurunan konsolidasi rata-rata $\leq 1,5$ cm/tahun (Hardani & Novianti, 2022). Berdasarkan besarnya penurunan dan waktu konsolidasi yang berlangsung lama maka perlu direncanakan perbaikan tanah dengan PVD.

Perencanaan *Preloading*

Tinggi awal timbunan (H_i) diperoleh dari persamaan 7 sedangkan Tinggi akhir timbunan (H_f) dihitung menggunakan persamaan 8. S_c yang digunakan adalah penjumlahan S_c pada lapisan tanah *peat gravelly silt* dan S_c pada lapisan tanah lanau.

Contoh perhitungan tinggi awal dan tinggi akhir timbunan:

$$\gamma_{\text{timb}} = 1,9 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$$

$$q = 7,25 \text{ t/m}^2$$

$$S_c = 2,176 \text{ m}$$

$$H_i = \frac{7,25 + 2,176 \cdot 1}{1,9}$$

$$= 4,9611 \text{ m}$$

$$H_f = 5,5705 - 2,176$$

$$= 2,785 \text{ m}$$

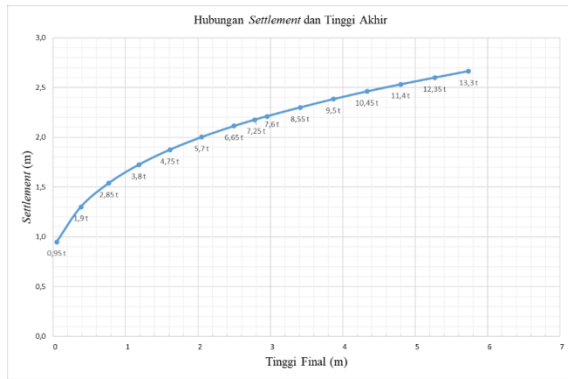
Ketinggian timbunan yang dibutuhkan untuk perencanaan *preloading* setinggi 4,9611 meter.

Rekapitulasi nilai S_c , H_i dan H_f dapat dilihat pada Tabel 6.

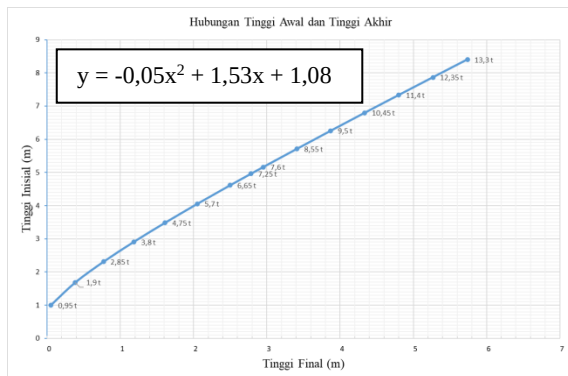
Tabel 6. Rekapitulasi S_c , H_i dan H_f

q (t/m ²)	S_c (m)	H_i (m)	H_f (m)
0,95	0,9492	0,999579533	0,0504
1,9	1,3010	1,684725174	0,3837
2,85	1,5401	2,310568724	0,7705
3,8	1,7240	2,907374063	1,1834
4,75	1,8744	3,486505505	1,6121
5,7	2,0019	4,05361752	2,0517
6,65	2,1128	4,611975096	2,4992
7,25	2,1761	4,961079051	2,7850
7,6	2,2109	5,163649472	2,9527
8,55	2,2991	5,710043384	3,4110
9,5	2,3829	6,254145576	3,8713
10,45	2,4601	6,794791484	4,3347
11,4	2,5314	7,33229466	4,8009
12,35	2,5987	7,867721708	5,2691
13,3	2,6643	8,402264131	5,7380

Grafik penurunan per 0,5 meter dapat dilihat pada Gambar 2. Perhitungan H_i dan H_f dapat dijadikan sebagai penentuan H_i pelaksanaan timbunan dengan membuat grafik (Gambar 3).



Gambar 2. Grafik Hubungan Antara S_c dan H_f



Gambar 3. Grafik Hubungan Antara H_i dan H_f

Gambar 3 digunakan untuk memprediksi tinggi awal timbunan rencana. Elevasi yang direncanakan adalah 1,5 m sehingga tinggi awal timbunan yang dibutuhkan dihitung menggunakan persamaan yang dihasilkan dari grafik, yaitu:

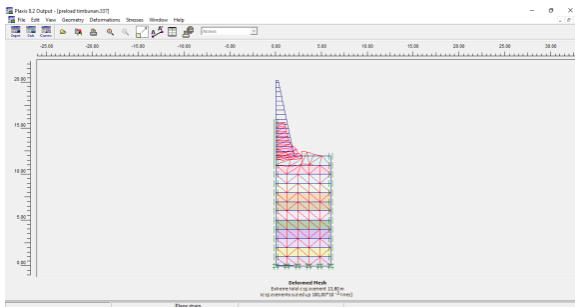
$$\begin{aligned} y &= -0,05x^2 + 1,53x + 1,08 \\ &= -0,05(1,5)^2 + 1,53(1,5) + 1,08 \\ &= 3,26 \text{ m} \end{aligned}$$

Ketinggian timbunan yang dilaksanakan merupakan penjumlahan tinggi timbunan untuk perencanaan elevasi dan tinggi timbunan *preloading*. Jumlah ketinggian timbunan yang diperlukan yaitu: $3,26 + 4,9611 = 8,2211 \text{ m}$.

Pemodelan dilakukan menggunakan program bantu Plaxis 2D (Gambar 4) dengan memasukkan beberapa parameter seperti yang ada pada Tabel 7.

Tabel 7. Parameter Pemodelan Timbunan Menggunakan Plaxis 2D

Lapisan	Parameter Material										
	Model	Type	γ_{unsat} (kN/m^3)	γ_{sat} (kN/m^3)	K_x (m/day)	K_y (m/day)	E_{ref} (kN/m^2)	ν	C_{ref} (kN/m^2)	Φ ($^\circ$)	Ψ ($^\circ$)
1	Mohr-Columb	Undrained	4	11	0,002	0,001	1438	0,35	5	16	0
2	Mohr-Columb	Undrained	5	10	0,002	0,001	3565	0,35	5	16	0
3	Mohr-Columb	Undrained	11	12	0,002	0,001	5243	0,35	5	16	0
4	Mohr-Columb	Undrained	9	12	0,002	0,001	4051	0,35	10	13	0
5	Mohr-Columb	Undrained	7	12	0,1	0,1	1996	0,33	10	13	0
6	Mohr-Columb	Undrained	7	12	0,1	0,1	1996	0,33	10	13	0
7	Mohr-Columb	Undrained	11	14	0,1	0,1	17221	0,33	5	12,5	0
8	Mohr-Columb	Undrained	12	15	0,1	0,1	2948	0,33	5	12,5	0
9	Mohr-Columb	Undrai-ned	12	15	0,1	0,1	2948	0,33	5	12,5	0
10	Mohr-Columb	Undrained	13	15	0,1	0,1	3035	0,33	5	8	0
11	Mohr-Columb	Undrained	12	15	0,1	0,1	2646	0,33	5	8	0
12	Mohr-Columb	Undrained	12	15	0,1	0,1	2646	0,33	5	8	0
Timbunan	Mohr-Columb	Drained	16	19	1	1	3000	0,3	10	30	0



Gambar 4. Deformasi pada Timbunan *Soil Pre-loading*

Berdasarkan Gambar 4 timbunan *preloading* tidak dapat dilakukan setinggi 8,2211 m karena terjadi keruntuhan pada tahap timbunan ke-10 (5 meter) sehingga dikombinasikan dengan *vacuum preloading*.

Tekanan vakum yang digunakan pada metode *vacuum preloading* umumnya sebesar 80 kPa (Hardiyatmo, 2017). Penggunaan *vacuum preloading* memerlukan koreksi tekanan atmosfer untuk menentukan besar tekanan yang dapat digunakan di lokasi (Fadhillah, 2018). Tekanan vakum yang digunakan dikonversi menjadi tinggi timbunan tanah dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_{\text{vakum}} &= 80 \text{ kPa} \\ &= 8,158 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{vakum}} &= \frac{q_{\text{vakum}}}{\gamma_{\text{timb}}} \\ &= \frac{8,158}{1,9} \end{aligned}$$

Maka tinggi awal timbunan yang dibutuhkan menjadi:

$$\begin{aligned} H_{\text{pelaksanaan}} &= H_i - H_{\text{vakum}} \\ &= 8,2211 - 4,29 \\ &= 3,9311 \text{ m} \end{aligned}$$

Perencanaan PVD

Kedalaman PVD direncanakan sedalam 12 meter dengan variasi ukuran tebal PVD 3,5-4,5 mm dan lebar PVD 95-105 mm. Variasi jarak yang digunakan yaitu 100 cm, 110 cm, 130 cm dan 150 cm.

Contoh perhitungan derajat konsolidasi setelah menggunakan PVD:

$$\text{Lebar PVD} = 9,5 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal PVD} = 0,35 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak PVD} = 110 \text{ cm}$$

Pola pemasangan PVD = bujur sangkar

$$H = \frac{1}{2} H_i \text{, karena lapisan dibawahnya berjenis pasir (terjadi drainase 2 arah)}$$

$$= \frac{1}{2} \times 1200 \text{ cm}$$

$$= 600 \text{ cm}$$

$$C_v = 0,00156 \text{ cm}^2/\text{detik}$$

$$C_h = 2 \times C_v$$

$$= 2 \times 0,00156$$

$$= 0,0031 \text{ cm}^2/\text{detik}$$

$$d_w = \frac{(a + b)}{2}$$

$$= \frac{(9,5 + 0,35)}{2}$$

$$= 4,925 \text{ cm}$$

$$D = 1,13 \times \text{jarak PVD}$$

$$= 1,13 \times 110$$

$$= 124,3 \text{ cm}$$

$$n = D/d_w$$

$$= 124,3/4,925$$

$$= 25,2386$$

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

$$= \ln(25,2386) - \frac{3}{4}$$

$$= 2,4784$$

Perhitungan derajat konsolidasi arah horizontal (U_h):

$$\begin{aligned} U_h &= \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{1 \times 7 \times 24 \times 3600 \times 8 \times 0,0031}{124,3^2 \times 2 \times 2,4784}}} \right) \\ &= 0,1789 \end{aligned}$$

Perhitungan derajat konsolidasi arah vertikal (U_v):

$$T_v = \frac{1 \times 7 \times 24 \times 3600 \times 0,00156}{600^2}$$

$$= 0,0026$$

$$U_v = 2 \sqrt{\frac{0,0026}{\pi}}$$

$$= 0,0578$$

Perhitungan derajat konsolidasi rata-rata (U):

$$U = (1 - (1 - U_h) \cdot (1 - U_v)) \times 100\%$$

$$= (1 - (1 - 0,1789) \cdot (1 - 0,0578)) \times 100\%$$

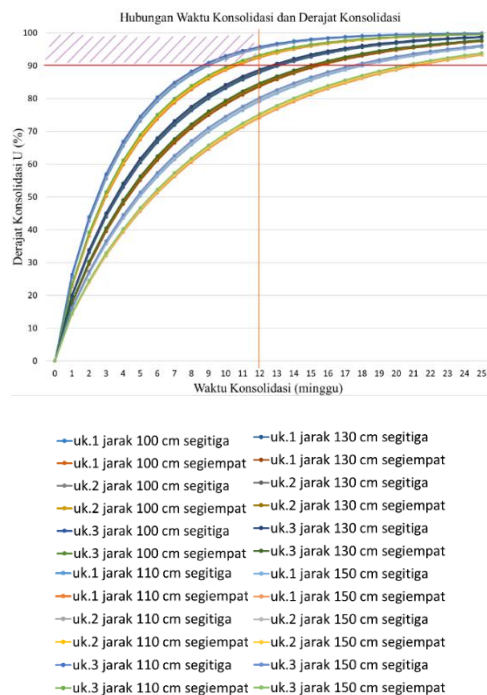
$$= 22,6334\%$$

Derajat konsolidasi yang terjadi per minggu dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Derajat Konsolidasi

t (minggu)	T _v	U _v	x	U _h	U _%
1	0,0026	0,0578	0,1971	0,1789	22,6334
2	0,0052	0,0817	0,3942	0,3258	38,0877
3	0,0079	0,1001	0,5913	0,4464	50,1804
4	0,0105	0,1155	0,7885	0,5455	59,7968
5	0,0131	0,1292	0,9856	0,6268	67,4983
6	0,0157	0,1415	1,1827	0,6935	73,6907
7	0,0183	0,1528	1,3798	0,7484	78,6828
8	0,0210	0,1634	1,5769	0,7934	82,7145
9	0,0236	0,1733	1,7740	0,8304	85,9751
10	0,0262	0,1827	1,9711	0,8607	88,6148
11	0,0288	0,1916	2,1683	0,8856	90,7536
12	0,0314	0,2001	2,3654	0,9061	92,4878
13	0,0341	0,2083	2,5625	0,9229	93,8948
14	0,0367	0,2161	2,7596	0,9367	95,0368
15	0,0393	0,2237	2,9567	0,9480	95,9642
16	0,0419	0,2311	3,1538	0,9573	96,7175
17	0,0446	0,2382	3,3509	0,9649	97,3297
18	0,0472	0,2451	3,5481	0,9712	97,8273
19	0,0498	0,2518	3,7452	0,9764	98,2319
20	0,0524	0,2583	3,9423	0,9806	98,5609
21	0,0550	0,2647	4,1394	0,9841	98,8285
22	0,0577	0,2709	4,3365	0,9869	99,0462
23	0,0603	0,2770	4,5336	0,9893	99,2234
24	0,0629	0,2830	4,7307	0,9912	99,3676
25	0,0655	0,2888	4,9278	0,9928	99,4850

Rekapitulasi waktu konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 9.

**Gambar 5.** Grafik Waktu Konsolidasi dengan PVD**Tabel 9.** Rekapitulasi Waktu Konsolidasi

Ukuran PVD	Jarak PVD	Pola PVD	Waktu Konsolidasi 90%
9,5 cm x 0,35 cm	100	segitiga	13 minggu
9,5 cm x 0,35 cm	100	bujur	15,5 minggu
9,5 cm x 0,35 cm	110	sangkar	9 minggu
9,5 cm x 0,35 cm	110	segitiga	10,5 minggu
9,5 cm x 0,35 cm	130	sangkar	13 minggu
9,5 cm x 0,35 cm	130	segitiga	15 minggu
9,5 cm x 0,35 cm	150	sangkar	18 minggu
9,5 cm x 0,35 cm	150	segitiga	21 minggu
10 cm x 0,4 cm	100	bujur	13 minggu
10 cm x 0,4 cm	100	sangkar	15,5 minggu
10 cm x 0,4 cm	110	segitiga	9 minggu
10 cm x 0,4 cm	110	bujur	10,5 minggu
10 cm x 0,4 cm	130	sangkar	13 minggu
10 cm x 0,4 cm	130	segitiga	15 minggu
10 cm x 0,4 cm	150	sangkar	18 minggu
10 cm x 0,4 cm	150	segitiga	21 minggu
10,5 cm x 0,45 cm	100	segitiga	13 minggu
10,5 cm x 0,45 cm	100	bujur	15,5 minggu
10,5 cm x 0,45 cm	110	segitiga	9 minggu
10,5 cm x 0,45 cm	110	bujur	10,5 minggu
10,5 cm x 0,45 cm	130	sangkar	13 minggu
10,5 cm x 0,45 cm	130	segitiga	15 minggu
10,5 cm x 0,45 cm	150	sangkar	18 minggu
10,5 cm x 0,45 cm	150	bujur	21 minggu
10,5 cm x 0,45 cm	150	sangkar	

Berdasarkan hasil analisa di atas menunjukkan bahwa perencanaan PVD yang dapat diterapkan adalah PVD dengan jarak 110 cm dengan pola segitiga atau pola bujur

sangkar. Putra et al., (2018) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa pada luas yang sama, penggunaan PVD dengan pola segitiga membutuhkan biaya yang lebih desar dengan waktu konsolidasi lebih cepat dibandingkan dengan pola bujur sangkar. Oleh karena itu, jarak dan pola pemasangan yang dipilih adalah jarak 110 cm dengan pola bujur sangkar.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa perencanaan perbaikan tanah menggunakan metode *preloading* dan PVD dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode *preloading* dikombinasikan dengan *vacuum preloading* dengan tekanan sebesar 80 kPa dan tinggi timbunan yang dibutuhkan untuk perencanaan *soil preloading* setinggi 3,93 meter.
Kedalaman PVD yang direncanakan sedalam 12 meter. PVD merupakan produk dari PT. Asia Plastik jenis *non woven* dengan lebar 9,5 cm dan tebal 0,35 cm. Pola pemasangan yang paling efektif adalah pola bujur sangkar dengan jarak sebesar 110 cm.
2. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi 90% tanpa PVD adalah 2,76 tahun. Pemasangan PVD dapat mempercepat waktu konsolidasi 90% menjadi 10,5 minggu sehingga tanah akan memampat sebelum pekerjaan konstruksi dilaksanakan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2017). Persyaratan perancangan geoteknik Standar Nasional Indonesia SNI 8460:2017. *Badan Standardisasi Nasional*, 8460, 1–323.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Penerbit Erlangga, 1–300.
- Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah. (2004). *Perencanaan konstruksi timbunan jalan di atas gambut dengan metode prapembebanan*.
- Fadhillah, H. M. (2018). *Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Pada Pembangunan Cluster D Kawasan Kota Summarecon Bandung Menggunakan Kombinasi Metode Vacuum Consolidation Dengan Prefabricated Vertical Drain*. 1–57.
- Fahriana, N., Ismina, Y., Lydia, E. N., & Ariesta, H. (2019). Analisis Klasifikasi Tanah Dengan Metode Usks (Meurandeh Kota Langsa). *Jurnal Ilmiah Jurutera*, 6 (2), 005–013.
- Hardani, M., & Novianti, R. T. (2022). Analisis Percepatan Konsolidasi Tanah Lunak Dengan PVD, PHD dan Geotextile Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang Demak STA 20+400. *Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung : Semarang*.
- Hardiyatmo, H. C. (2017). Metode Vacuum Preloading Sebagai Salah Satu Alternatif Solusi Pembangunan Timbunan Di Atas Tanah Lunak. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 1(1), 47–55.
- Husni Malik Hasibuan, M., Pasaribu, B., & Ingriyana Utami, F. (2022). Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain (PVD) pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera Seksi Tebing Tinggi-Inderapura. *Jurnal Teknik Sipil (Jtsip)*, 1(1), 78–83.
- ITS, D. T. I. S. (2018). *Mengatasi Tanah Lunak dengan Prakompresi*. ITS NEWS.
- Masvika, H., Cahyono, D. B., & Wanto, S. (2021). Pemodelan Kondisi Geologi Teknik Daerah Amblesan Tanah Jalan Semarang Outer Ring Road (SORR). *Pengembangan Rekayasa dan Teknologi*, 17(2), 53–61.
- Nugroho, M. F. (2018). Perencanaan Perbaikan Tanah Dasar dan Perkuatan Stabilitas Timbunan Jalan Tol Terbanggi Besar-Pematang Panggang STA 46+900 s.d STA 51+100. *Tugas Akhir - RC14-1501*.
- Putra, H. R., Zulhendra, R., Permata, R., & Hadi, D. F. (2018). Studi Efisiensi Konfigurasi Pemasangan Pvd Dari Segi Teknis Dan Biaya Konstruksi. *ACE Conference*, 47–55.
- Sosrodarsono, S., & Nakazawa, K. (2000). *MEKANIKA TANAH & TEKNIK PONDASI* (S. Sosrodarsono & K. Nakazawa (ed.); 7 ed.). Perpustakaan Nasional: katalog dalam terbitan(KDT).
- Surati, S., Irawanti, S., Hidayat, D. C., Handoyo, H., Ariawan, K., Kurniawan, A. S., & Mulyadin, R. M. (2019). ANALISIS MATA PENCAHARIAN DI LAHAN GAMBUT: KASUS KABUPATEN TANJUNG JABUNG BARAT. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 16(2), 81–93. <https://doi.org/10.20886/jpsek.2019.16.2.81-93>
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1987). *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Penerbit Erlangga, 2, 1–373.