

METODE PERBAIKAN TANAH DENGAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN* (PVD) PADA JALAN TOL SERPONG-BALARAJA SEKSI 1B

Shendy¹ dan Gregorius Sandjaja²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
shendy.325190025@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
gregoriuss@ft.untar.ac.id

Masuk: 14-01-2023, revisi: 26-03-2023, diterima untuk diterbitkan: 31-03-2023

ABSTRACT

On the Serpong-Balaraja Toll Road Section 1B there are soft slopes on some of these roads. This soft material has the potential to damage construction due to its high compressibility and low bearing capacity. An alternative soil improvement that will be carried out to overcome this soft soil is to use a Prefabricated Vertical Drain (PVD) to accelerate the settlement that will occur. This PVD can accelerate settlement by shortening the flow of water to the surface. The soft soil considered in this project is located at a depth of 8 m for zone 1 and 10 m for zone 2. The calculation results obtained in zone 1 when loaded by a 2,694 m high embankment is 88,6724 mm and for zone 2 with an embankment load as high as 5.385 m is 162,3204 mm. The PVD method will be installed using a triangular pattern with a distance of 1,25 m which can produce a 90% degree of consolidation within 25 weeks or 181 days taking into account the consolidation time with the PVD in accordance with existing monitoring.

Keywords: consolidation time; soft soil; settlement; Prefabricated Vertical Drain (PVD)

ABSTRAK

Pada Jalan Tol Serpong-Balaraja Seksi 1B terdapat tanah lunak pada sebagian jalan tersebut. Tanah lunak ini memiliki potensi untuk merusak konstruksi dikarenakan kompresibilitas tinggi dan daya dukung rendah. Alternatif perbaikan tanah yang akan dilakukan untuk mengatasi tanah lunak ini adalah dengan menggunakan *prefabricated vertical drain* (PVD) untuk mempercepat penurunan yang akan terjadi. PVD ini dapat mempercepat penurunan dengan memperpendek aliran air ke permukaan. Tanah lunak yang ditinjau pada proyek ini terletak pada kedalaman 8 m untuk zona 1 dan 10 m untuk zona 2. Hasil perhitungan yang didapatkan pada zona 1 apabila dibebani oleh timbunan setinggi 2,694 m adalah sebesar 88,6724 mm dan untuk zona 2 dengan beban timbunan setinggi 5,385 m adalah sebesar 162,3204 mm. Metode PVD yang akan dipasang menggunakan pola segitiga berjarak 1,25 m yang dapat menghasilkan derajat konsolidasi 90% dalam waktu 25 minggu atau 181 hari dengan memperhatikan waktu konsolidasi dengan PVD sesuai dengan monitoring yang ada.

Kata kunci: waktu konsolidasi; tanah lunak; penurunan tanah; *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

1. PENDAHULUAN

Tanah adalah salah satu bagian penting pada suatu konstruksi jalan tol dan merupakan salah satu konstruksi yang langsung ada pada lapangan. Tanah membutuhkan kekuatan daya dukung dan stabilitas yang baik untuk mendukung beban yang ada pada jalan tol tersebut. Apabila daya dukung dan stabilitasnya memenuhi beban rencana pada jalan tol, maka pengerjaan jalan tol bisa berjalan dengan baik dan ekonomis. Namun, banyak tanah yang terdapat pada proyek jalan tol tidak memenuhi beban rencana yang ada pada jalan tol tersebut, sehingga kualitas tanah pada proyek tersebut harus dikontrol agar daya dukung dan stabilitasnya dapat memenuhi beban rencana yang ada.

Menurut Pramudyo et al. (2019), Luas tanah lunak yang ada di Indonesia diperkirakan sekitar 10 persen dari luas total daratan Indonesia. Tanah lunak ini banyak ditemukan di pulau Sumatera, Kalimantan, dan Irian Jaya. Namun, tanah lunak ini tidak asing kita temui pada proyek proyek infrastruktur dikarenakan proyek infrastruktur ini merupakan sebuah proyek yang besar dan waktu pengerjaannya singkat.

Salah satu jenis tanah yang ditemui pada jalan tol adalah tanah lempung lunak yang memiliki tanah berbutir halus. Tanah ini memiliki kuat geser yang rendah sehingga tanah ini tidak menguntungkan apabila ingin dijadikan sebagai pendukung pondasi, bangunan, maupun bangunan infrastruktur lainnya. Apabila tanah ini tidak dikontrol maka bisa terjadi kegagalan pada tanah tersebut dan pada konstruksi yang ada di atasnya. Kerusakan yang ditimbulkan pada

kegagalan ini bersifat fatal dan juga kerugian yang cukup besar. Oleh karena itu perlu diadakannya perbaikan tanah pada jenis tanah ini, salah satu caranya adalah dengan *prefabricated vertical drain*.

Tanah lunak

Tanah lunak ini memiliki ukuran partikel tanah beragam dan partikel ini juga dapat melayang dalam air. Pada selang ukuran tertentu, telah diberikan nama untuk ukuran partikel yang berguna agar dapat diklasifikasikan sesuai dengan ukuran tanahnya. Dalam hal ini ukuran terkecil dari tanah dikategorikan tanah lunak.

Menurut Pramudyo et al. (2019), tanah lunak adalah tanah yang memiliki nilai kompresibilitas yang tinggi dan umumnya terdiri dari lempung yang berumur Holosen (<10.000 tahun). Tanah ini secara alamiah terbentuk dari proses alluvial pantai, sungai, danau, dan rawa.

Menurut Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002), apabila tanah tidak kita selidiki dan kita kenali sifat tanah ini dengan baik maka akan menyebabkan masalah bagi struktur bagian atasnya yakni penurunan dan ketidakstabilan yang tidak bisa ditoleransi yang pada akhirnya akan menyebabkan kegagalan konstruksi yang diakibatkan oleh tanah tersebut hal ini dikarenakan tanah lunak memiliki kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Tanah ini diuraikan menjadi 2 tipe yaitu tanah gambut dan tanah lempung lunak (Tabel 1).

Tabel 1. Definisi kuat geser lempung lunak (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002)

Konsistensi	Kuat Geser (kN/m ²)
Lunak	12,5 – 25
Sangat Lunak	< 12,5

Konstruksi yang dibangun diatas tanah lunak dapat menyebabkan kerusakan pada badan jalan. Hal ini dikarenakan daya dukung yang rendah pada tanah lunak dan juga memiliki kompresibilitas yang tinggi. Hal ini membuat penurunan tanah lunak dapat membahayakan struktur di atasnya. Oleh karena itu, diperlukan adanya perbaikan tanah maupun pergantian tanah untuk mencegah terjadinya kerusakan dan memperpanjang atau menyesuaikan lama dari pemakaian struktur tersebut.

Penurunan tanah

Penurunan tanah terjadi karena disebabkan oleh desain, dimensi fondasi, dan beban bangunan yang besar sehingga terjadi keruntuhan atau kegagalan geser. Hal ini menyebabkan daya dukung tanah gagal dan lapisan tanah di bawah fondasi tersebut menyebabkan penurunan yang disebabkan oleh perubahan angka pori dan berpermeabilitas rendah. Pada tanah lunak, penurunan konsolidasinya dibagi menjadi dua jenis yaitu *normally consolidated* dan *over consolidated*. untuk tanah *normally consolidated* dapat dihitung dengan menggunakan teori konsolidasi satu dimensi oleh Terzaghi (1943) menggunakan Persamaan 1. Sedangkan untuk tanah *over consolidated*, memakai Persamaan 2-3.

$$S_c = \left[\frac{C_c H}{1 + e_0} \right] \log \left[\frac{P'_0 + \Delta P}{P'_0} \right] \quad (1)$$

$$P'_0 + \Delta P \leq P'_c; \text{ maka } S_c = \left[\frac{C_s H}{1 + e_0} \right] \log \left[\frac{P'_0 + \Delta P}{P'_c} \right] \quad (2)$$

$$P'_0 + \Delta P > P'_c; \text{ maka } S_c = \frac{C_s H}{1 + e_0} \log \frac{P'_c}{P'_0} + \frac{C_c H}{1 + e_0} \log \left(\frac{P'_0 + \Delta P}{P'_c} \right) \quad (3)$$

dengan C_c = *compression index*, e_0 = *void ratio*, P'_0 = tegangan *overburden* efektif, P'_c = tegangan prakonsolidasi, C_s = *swelling index*, ΔP = tegangan tambahan akibat beban luar, S_c = penurunan konsolidasi, H = tebal tanah pada lapisan yang ditinjau

Koefisien konsolidasi

Pada pemakaian PVD terdapat dua koefisien konsolidasi yang digunakan yaitu arah vertikal (C_v) dan arah horizontal (C_h). Koefisien konsolidasi untuk arah vertikal digunakan untuk menentukan laju aliran vertikal air pada tanah. Sedangkan untuk koefisien konsolidasi arah horizontal digunakan untuk menentukan laju aliran air arah horizontal pada tanah dengan bantuan PVD dan setelah itu baru aliran air ini akan bergerak secara vertikal.

Pada analisis untuk mencari koefisien konsolidasi arah vertikal akan menggunakan korelasi parameter oleh Biarez & Favre (1976) pada Tabel 2.

Tabel 2. Korelasi parameter tanah (Biarez dan Favre, 1976)

Sifat tanah	γ_d g/cm ³	e	n	W _{sat} %	γ_{sat} g/cm ³	K		C _v		δ		mv = I/E		
						cm/s	ft/year	cm ² /s	ft ² /year	bars	psi	cm ² /kg	ft ² /ton	
Silt, Clay	Lunak	0,5	4,4	0,8	163	1,31	1E-09	0,001	0,00001		0,01	0,142	100	97,6
		0,6	3,5	1,78	129,6	1,38					0,05	0,71	20	19,52
		0,7	2,86	0,74	105,8	1,44	1E-08	0,0103	0,0001	3,4				
		0,8	2,38	0,7	88	1,5			0,0002	6,8	0,1	1,42	10	9,76
		0,9	2	0,67	74,1	1,57	1E-07	0,0103	0,0003	10,1	0,5	7,05	2	1,952
	Rata-rata								0,0004	11,1	1	14,2	1	0,976
		1	1,7	0,63	63	1,63	1E-06	1,03	0,0005	16,9	2	28,4	0,5	0,488
		1,1	1,45	0,59	53,9	1,69	2E-06	2,06	0,0006	20,3	3	42,6	0,33	0,322
		1,2	1,25	0,56	46,3	1,76	3E-06	3,4	0,0007	23,6	4	56,9	0,25	0,244
		1,3	1,08	0,52	39,9	1,82	4E-06	4,13	0,0008	27	5	71	0,2	0,195
Gravel, Sand	Sand	1,4	0,93	1,48	34,4	1,88	5E-06	5,17	0,0009	30,4	6	85,3	0,17	0,1659
		1,5	0,8	0,44	29,6	1,94	6E-06	6,2	0,001	338	7	99,5	0,14	0,1366
		1,6	0,69	0,41	25,5	2,04	7E-06	7,24			8	113	0,12	0,1171
		1,7	0,59	0,37	21,8	2,07	8E-06	8,26			9	127	0,11	0,1074
		1,8	0,5	0,33	18,5	2,13	9E-06	9,3	0,01	3380	10	142	0,1	0,0976
	Gravel	1,9	0,42	0,3	15,6	2,2	1E-05	10,33			11	156	0,091	0,0888
							1E-04	103	0,1	338000	12	170	0,083	0,081
		2	0,35	0,26	13	2,26	1E-03	1030			13	185	0,077	0,0752
		2,1	0,29	0,22	10,6	2,32	1E-02	10300			14	199	0,073	0,07125
		2,2	0,23	0,19	8,4	2,39	1E-01	103000			15	213	0,064	0,0625
	2,3	0,17	0,15	6,4	2345					20	284	0,05	0,0488	
	2,4	0,13	0,11	4,63	2,51					50	710	0,02	0,0195	
	2,5	0,08	0,074	2,96	2,57					100	1420	0,01	0,0098	
	2,6	0,038	0,037	1,42	5,64					500	7100	0,002	0,00195	
	2,7	0	0	0	2,7					1000	14200	0,001	0,00098	

Koefisien konsolidasi arah horizontal dapat kita cari melalui perbandingan C_h/C_v pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan C_h/C_v (Jamiolkowski et al., 1983)

Sifat lapisan tanah lempung	C _h /C _v
Relatif homogen (hampir tidak ada lapisan permeabel	1 – 1,5
Lempung endapan (terdapat lensa-lensa dan lapisan pasir yang tidak kontinu	2 – 4
Lempung berlapis (<i>varved clay</i>) atau lempung dengan lapisan pasir yang kurang kontinu	3 – 15

Kecepatan penurunan konsolidasi

Kecepatan penurunan konsolidasi arah vertikal dapat dihitung dengan Persamaan 4 (Terzaghi, 1943).

$$T_V = \frac{C_v t}{H^2} \quad (4)$$

dengan T_v = faktor waktu vertikal, C_v = koefisien konsolidasi vertikal, H = tebal lapisan aliran air, dan t = waktu konsolidasi.

Kecepatan penurunan konsolidasi arah horizontal dapat dihitung dengan Persamaan 5.

$$T_h = \frac{C_h t}{D^2} \quad (5)$$

dengan C_h = koefisien konsolidasi horizontal, T_h = faktor waktu horizontal, D = diameter pengaruh drainase, dan t = waktu konsolidasi

Pola segiempat dengan Persamaan 6.

$$D = 1,13 S \quad (6)$$

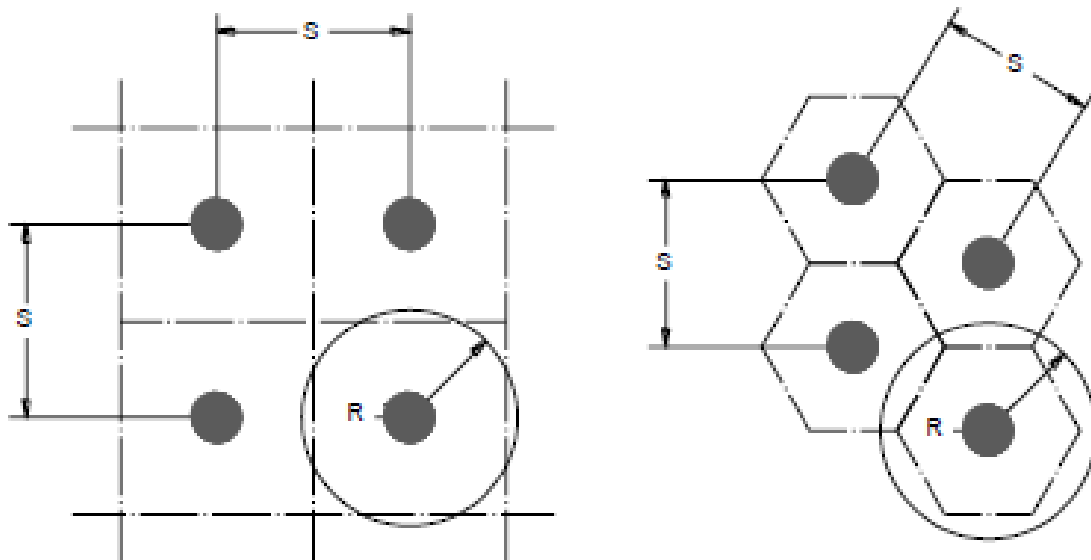
Pola segitiga dengan Persamaan 7.

$$D = 1,05 S \quad (7)$$

dengan D = diameter pengaruh drainase dan S = jarak antar PVD

Prefabricated vertical drain

Waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi cukup lama, maka akan dibutuhkan PVD untuk mempercepat waktu konsolidasinya. PVD ini berfungsi untuk memperpendek jalur air untuk keluar dari dalam tanah. Pola untuk pemasangan PVD ini menggunakan pola segitiga dan pola segiempat (Gambar 1).



Gambar 1. Pola pemasangan PVD (Hardiyatmo, 2002)

Derajat konsolidasi

Untuk derajat konsolidasi dibagi menjadi 2 yakni antara 0 – 60 % dan diatas 60 % yang dapat dirumuskan pada Persamaan 8-10.

$$UV < 60 \% ; \text{ maka } U_v = \sqrt{\frac{4T_v}{\pi}} 100\% \quad (8)$$

$$UV > 60 \% ; \text{ maka } U_v = (100 - 10^a)\% \quad (9)$$

$$a = \frac{1,781 - T_v}{0,933} \quad (10)$$

Untuk derajat konsolidasi arah horizontal dapat dicari dengan metode *equal strain consolidation* (Barron, 1948) dengan Persamaan 11-13.

$$U_h = 1 - e^{\left(\frac{-8T_h}{2r(n)}\right)} \quad (11)$$

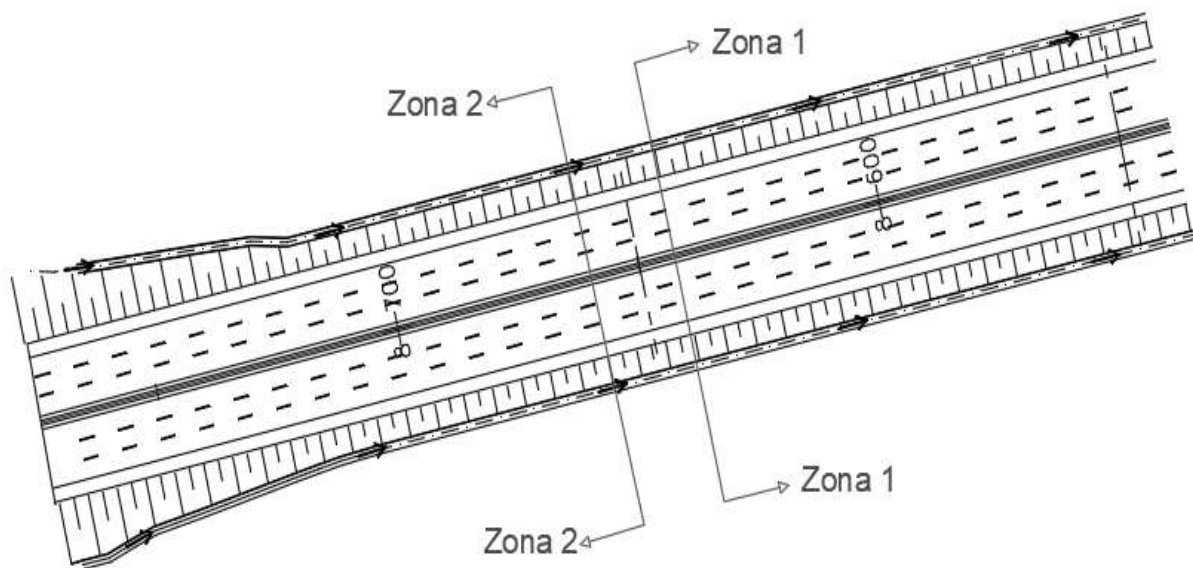
$$F(n) = \ln\left(\frac{D}{d_w}\right) - \frac{3}{4} \quad (12)$$

$$d_w = \frac{a + b}{2} \quad (13)$$

dengan T_v = faktor waktu arah vertikal, T_h = faktor waktu arah horizontal, D = diameter pengaruh drainase, d_w = diameter *vertical drain*.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi analisis perbaikan tanah lunak ini adalah Jl. Ciakar, Situ Gadung, Kec. Pagedangan, Kab. Tangerang, Banten, 15336 dengan koordinat geografi 6°19'09.91" S 106°36'54.95"E. Panjang jalan yang akan ditinjau untuk perbaikan tanah adalah sepanjang ± 193 meter yaitu pada STA 8+550 – STA 8+650 sebagai zona 1 dan STA 8+650 – STA 8+743 sebagai zona 2 (Gambar 2).



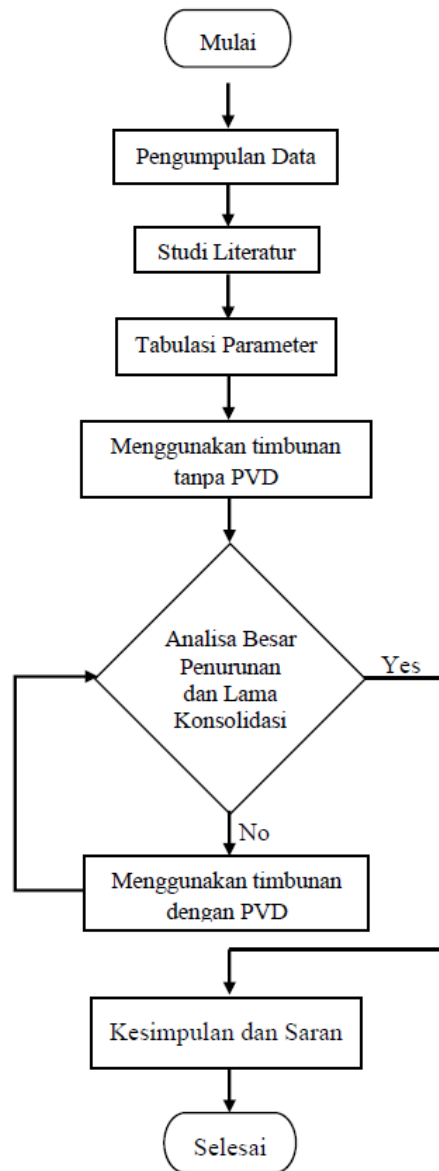
Gambar 2. Pembagian zona pada proyek perbaikan tanah jalan tol

Metode penelitian yang akan digunakan sebagai berikut:

1. Mencari dan mengumpulkan data penelitian yang relevan dengan topik pembahasan yang telah ditentukan bisa berupa buku, literatur, jurnal, artikel, dan data tanah yang ada.
2. Mengolah data penelitian yang ada untuk dilakukan analisis.
3. Mengtabulasi parameter tanah yang ada yang berguna untuk melengkapi data yang dibutuhkan untuk melakukan analisis.
4. Menganalisis timbunan yang akan menggunakan PVD
5. Menghitung besarnya penurunan dan lamanya konsolidasi apabila tidak menggunakan PVD
6. Menganalisis apakah perlu diadakannya penggunaan PVD untuk mempercepat waktu konsolidasi
7. Apabila diperlukan, hitung besar penurunan dan lamanya konsolidasi apabila menggunakan PVD
8. Membuat kesimpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian yang telah dibuat.

Diagram alir penelitian

Gambar 3 merupakan diagram alir dari penelitian yang telah dilakukan untuk menjelaskan tahapan penelitian mulai dari pengumpulan data hingga pengambilan kesimpulan.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis data tanah

Pada penelitian ini hasil dari pengujian di lapangan yang didapatkan berupa pengujian borlog dan sondir. Diperoleh data penyelidikan tanah sebanyak 2 titik bor dan 4 titik sondir dan didapatkan parameter (Tabel 4-5).

Tabel 4. Parameter zona 1 (STA 8+550 – STA 8+650)

Elevasi (m)		Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	qc (kg/cm ²)
0	6	3	Lanau kelepungan	4	10
6	8	9	Lanau dengan sedimentasi	8	35

Tabel 5. Parameter zona 2 (STA 8+650 – STA 8+743)

Elevasi (m)		Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	qc (kg/cm ²)
0	6	3	Lanau kelepungan	2	10
6	10	9	Lanau dengan sedimentasi	4	15

Setelah membuat summary pada borlog dan sondir, maka bisa dicari tabulasi parameter yang akan digunakan pada perhitungan selanjutnya berikut tabulasi parameternya (Tabel 6-7).

Tabel 6. Parameter zona 1 (STA 8+550 – STA 8+650)

Elevasi (m)		Kedalaman (m)	Jenis Tanah	γ_{sat} (kN/m ³)	e _o	C _c	C _s
0	6	3	Lanau kelepungan	18,5	1,05	0,09	0,06
6	8	9	Lanau dengan sedimentasi	18	1,05	0,09	0,06

Tabel 7. Parameter zona 2 (STA 8+650 – STA 8+743)

Elevasi (m)		Kedalaman (m)	Jenis Tanah	γ_{sat} (kN/m ³)	e _o	C _c	C _s
0	6	3	Lanau kelepungan	18,75	1,05	0,1	0,06
6	10	9	Lanau dengan sedimentasi	18,75	1,05	0,085	0,06

Analisis kedalaman tanah lunak

Data tanah yang diperoleh dari data sondir dan borlog akan dianalisis, analisis yang dilakukan adalah membuat klasifikasi tanah pada kedalaman tanah yang terdapat pada BH 8+600 dan BH 8+700 untuk data borlognya dan S 8+500 sampai S 8+750 sebagai data sondirnya. Setelah didapatkan data tersebut maka dapat digambarkan stratigrafi tanah untuk mengetahui kedalam tanah lunak yang ada berdasarkan data borlog dengan nilai N-SPT < 10 dan data sondir dengan nilai qc < 40 kg/cm². Setelah digambarkan stratifikasi dengan menarik kedalaman tanah lunak, didapatkan kedalaman tanah lunak untuk setiap Zona sebagai berikut:

- Zona 1 (STA 8 + 550 – STA 8+650) = dengan kedalaman Tanah Lunak 8 m
- Zona 2 (STA 8 + 650 – STA 8+743) = dengan kedalaman Tanah Lunak 10 m

Data tanah timbunan

Data rencana awal timbunan penampang jalan adalah sebagai berikut:

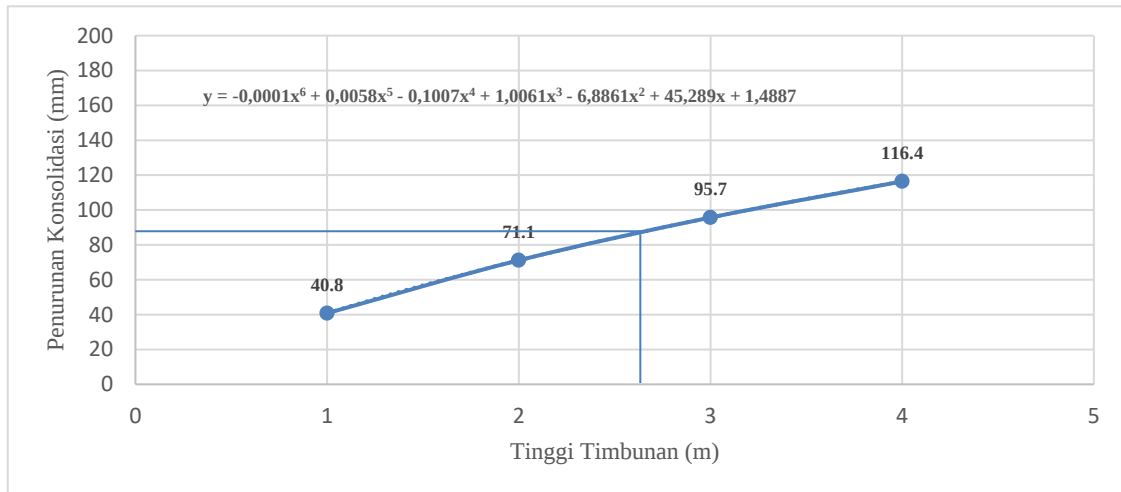
- Htimbunan = Zona 1 = 2,694 m (STA 8+590)
Zona 2 = 5,385 m (STA 8+675)
- γ_{dry} timbunan = 1,39 t/m³
- Lebar Timbunan = 28,3 m

Data rencana awal timbunan akan digunakan dalam perhitungan besar penurunan dan jarak pemasangan PVD.

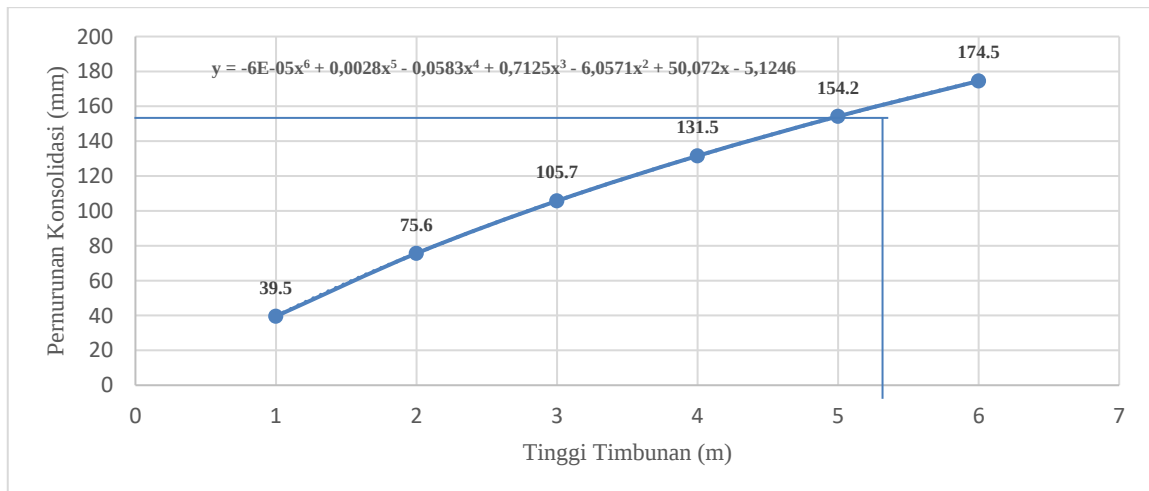
Penurunan konsolidasi dan waktu konsolidasi

Pada perhitungan konsolidasi awal, akan dihitung besar penurunan yang terjadi akibat dari timbunan sesuai dengan tabulasi parameter yang telah ditentukan. Apabila sudah ditemukan besarnya penurunan yang terjadi, akan dihitung

waktu konsolidasi alami dan akan dibandingkan dengan waktu konsolidasi dengan PVD (Gambar 4-5). Waktu konsolidasi dengan PVD menggunakan data monitoring *settlement plate*. Dari perhitungan waktu konsolidasi alami ini akan ditentukan apakah perlu diadakannya perbaikan tanah dengan PVD atau tidak untuk mempercepat penurunan yang terjadi pada lapangan. Berdasarkan dengan yang tertera pada monitoring bahwa penurunan yang telah dianalisis dengan pengadaan yang telah ada cukup sesuai dimana Gambar 6 untuk zona 1 penurunan sebesar 88,6 mm sedangkan monitoring penurunan sebesar 86 mm (SP-12) dengan tinggi timbunan 2,693 m selama 181 hari dan Gambar 7 untuk zona 2 penurunan sebesar 162,3 mm sedangkan Tabel 8 monitoring penurunan sebesar 160 mm (SP-16) dengan tinggi timbunan 5,385 m selama 181 hari.



Gambar 4. Grafik hubungan penurunan konsolidasi dengan tinggi timbunan zona 1



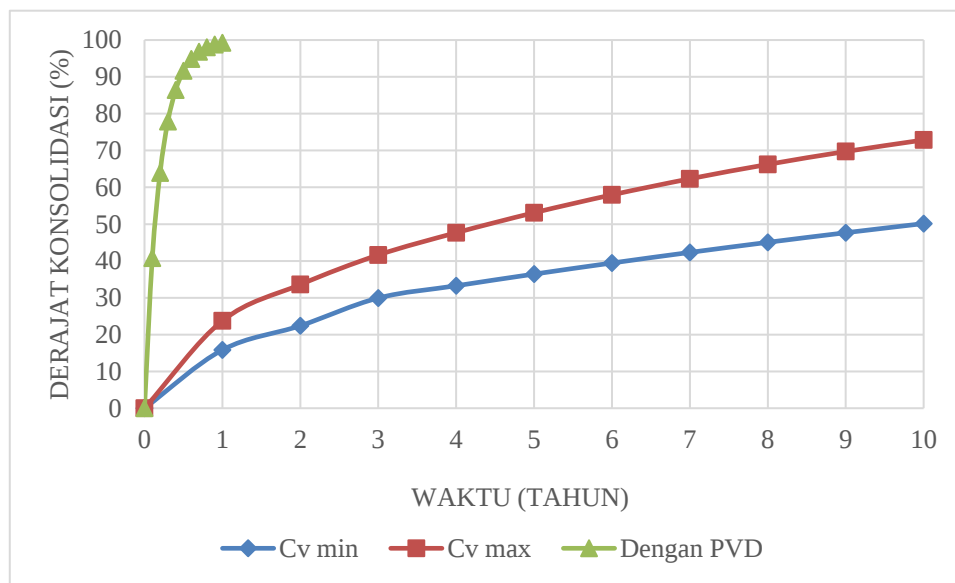
Gambar 5. Grafik hubungan penurunan konsolidasi dengan tinggi timbunan zona 2

Tabel 8. Monitoring penurunan pada proyek jalan tol dengan *settlement plate*

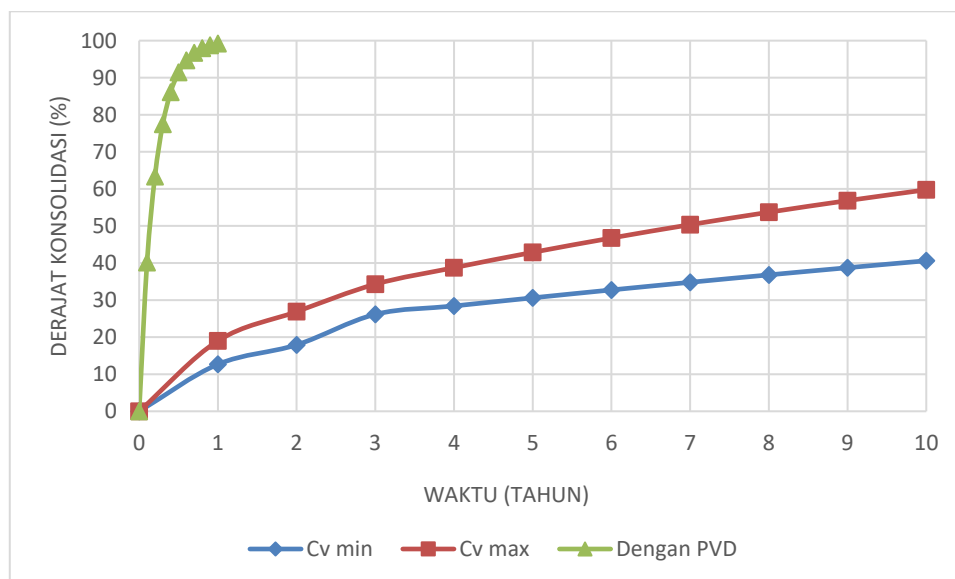
Kode SP	Lokasi	Waktu Penurunan Tanah (hari)	Elevasi pelat (m)	Elevasi Permukaan Tanah (m)	Tinggi Timbunan Tanah (m)	Total Perurunan Berdasarkan <i>Settlement Plate</i> (mm)
SP-10	STA 8+590	181	49,494	51,667	2,173	- 71
SP-11	STA 8+590	181	48,762	51,419	2,657	- 77
SP-12	STA 8+590	181	48,494	51,187	2,693	- 86
SP-13	STA 8+625	181	49,692	52,542	2,850	- 105

Tabel 9 (lanjutan). Monitoring penurunan pada proyek jalan tol dengan *settlement plate*

Kode SP	Lokasi	Waktu Penurunan Tanah (hari)	Elevasi pelat (m)	Elevasi Permukaan Tanah (m)	Tinggi Timbunan Tanah (m)	Total Perurunan Berdasarkan <i>Settlement Plate</i> (mm)
SP-14	STA 8+625	181	49,180	52,453	3,273	- 94
SP-15	STA 8+625	181	48,913	52,270	3,357	- 100
SP-16	STA 8+675	181	48,569	53,954	5,385	- 160



Gambar 6. Grafik antara waktu dengan derajat konsolidasi zona 1



Gambar 7. Grafik antara waktu dengan derajat konsolidasi zona 2

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan PVD dapat mempercepat waktu konsolidasi sehingga hanya dalam waktu 181 hari saja dibandingkan dengan tanpa menggunakan PVD.

Perencanaan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Setelah menemukan waktu konsolidasi alami, kita dapat mengambil kesimpulan bahwa perlu diadakannya perbaikan tanah agar waktu konsolidasi yang terjadi pada lapangan bisa berlangsung lebih cepat yaitu dengan menggunakan PVD. PVD ini merupakan metode perbaikan tanah yang cocok dalam kasus ini dikarenakan luas tanah yang perlu diperbaiki cukup besar dan juga mengingat waktu yang diperlukan untuk memperbaiki tanah tersebut.

Pada analisis kedalaman tanah lunak, diketahui kedalaman tanah untuk zona 1 pada 8 m dan zona 2 pada 10 m. Jarak pemasangan PVD yang akan digunakan mulai dari 0,8 m, 1 m, 1,25 m, 1,5 m, 1,75 m, dan 2 m. Pola yang akan digunakan dalam pemasangan PVD adalah dengan pola segitiga dan segiempat. Setelah dibuat analisis tersebut, ditentukan konfigurasi yang paling sesuai dan paling efektif dengan waktu pelaksanaan dengan monitoring pada *settlement plate*. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 9-10.

Tabel 10. Perbandingan lama waktu untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dengan variasi jarak dan pola PVD dengan nilai $C_v 0,0009 \text{ cm}^2/\text{det}$

Nilai Pengali Ch	Jarak Pemasangan PVD (cm)	Lama Waktu untuk Konsolidasi 90% (minggu)			
		Zona 1		Zona 2	
		Segitiga	Segiempat	Segitiga	Segiempat
2	80	8	9	8	9
	100	13	15	13	15
	125	21	26	22	26
	150	32	38	33	39
	175	45	53	46	55
	200	60	71	62	73
4	80	4	5	4	5
	100	7	8	7	8
	125	11	14	11	13
	150	17	20	17	20
	175	24	28	24	28
	200	32	37	32	38

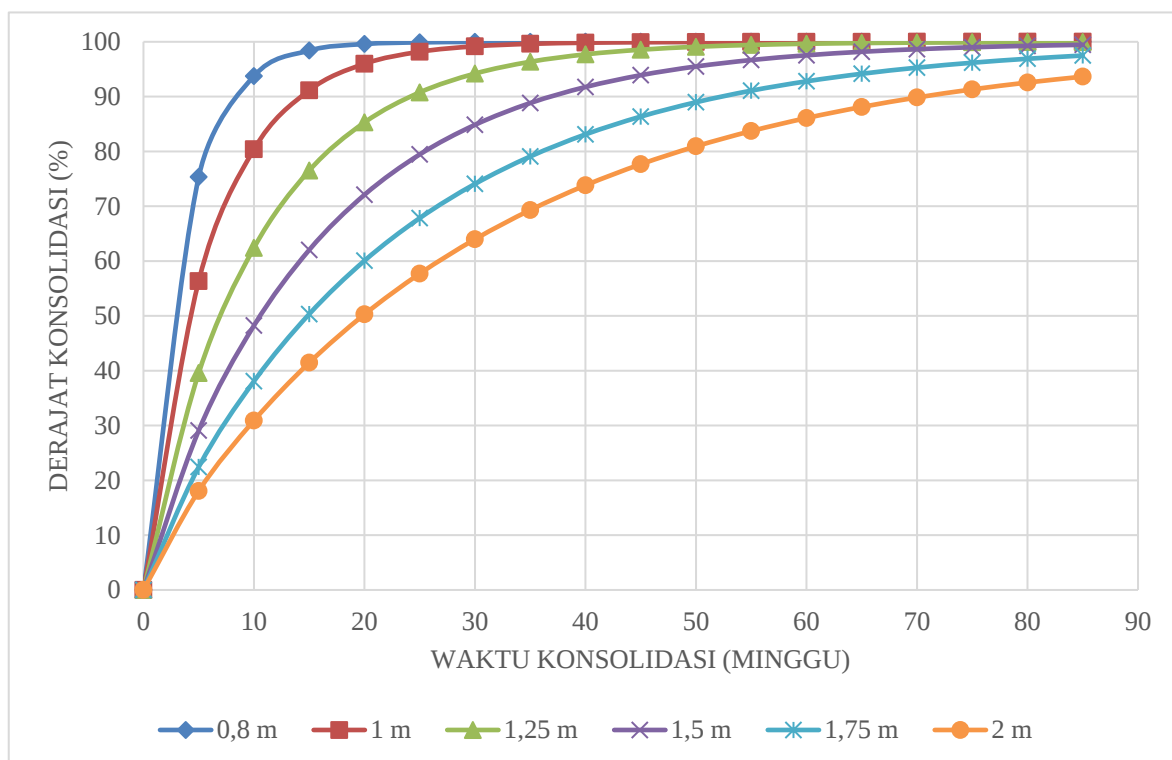
Tabel 11. Perbandingan lama waktu untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dengan variasi jarak dan pola PVD dengan nilai $C_v 0,0004 \text{ cm}^2/\text{det}$

Nilai Pengali Ch	Jarak Pemasangan PVD (cm)	Lama Waktu untuk Konsolidasi 90% (minggu)			
		Zona 1		Zona 2	
		Segitiga	Segiempat	Segitiga	Segiempat
2	80	17	20	17	20
	100	28	34	29	34
	125	48	56	48	57
	150	72	85	73	87
	175	101	119	104	122
	200	135	158	140	164

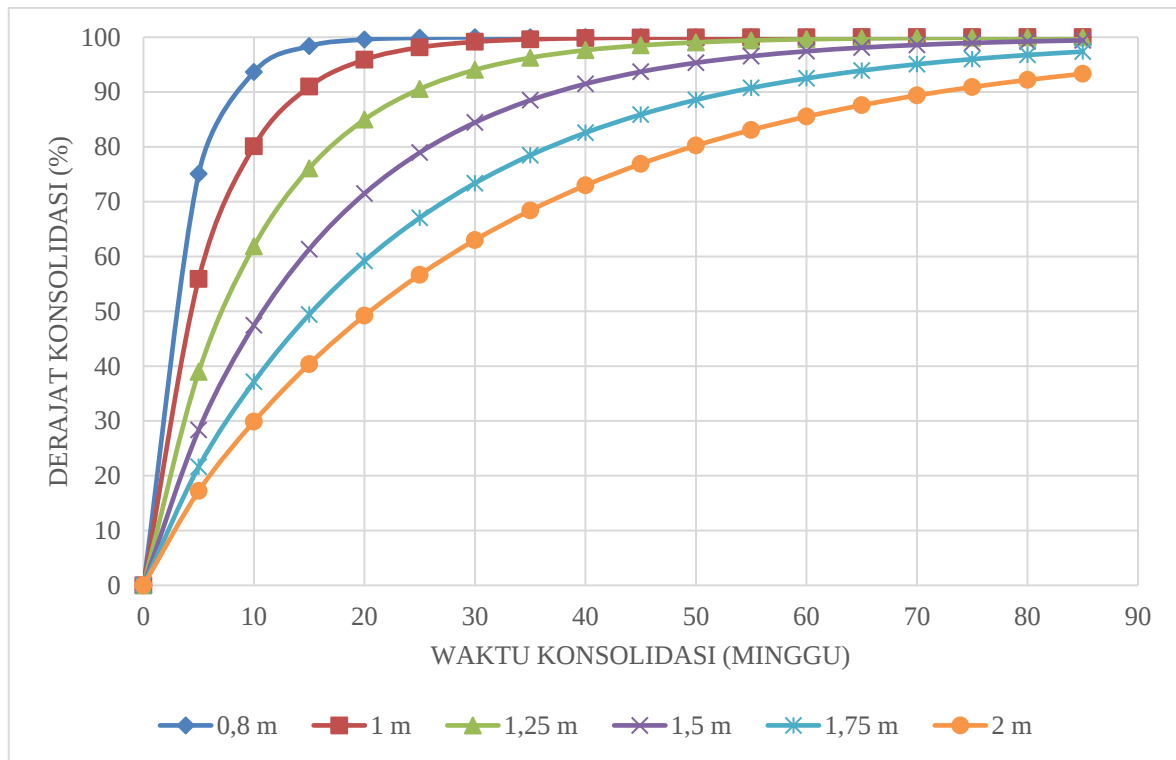
Tabel 12 (lanjutan). Perbandingan lama waktu untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dengan variasi jarak dan pola PVD dengan nilai C_v 0,0004 cm²/det

Nilai Pengali C_h	Jarak Pemasangan PVD (cm)	Lama Waktu untuk Konsolidasi 90% (minggu)			
		Zona 1		Zona 2	
		Segitiga	Segiempat	Segitiga	Segiempat
4	80	9	10	9	10
	100	15	17	15	18
	125	25	29	25	29
	150	37	44	38	45
	175	53	62	54	63
	200	71	83	72	85

Berdasarkan dari data yang ada di proyek, batas waktu rencana tunggu untuk *preloading* pada proyek adalah 181 hari atau sekitar 25 minggu dengan spasi 1,25 m, sehingga apabila melihat dari tabel di atas, kemungkinan terbesar adalah antara menggunakan C_v 0,0004 cm²/det dengan pengali C_h 4 kali dengan pola segitiga karena memiliki waktu konsolidasi yang dialami cukup mendekati dengan kenyataan di lapangan. Dalam penggunaan PVD, jarak pemasangan 80 cm bisa digunakan apabila ingin mempercepat waktu konsolidasi sebanyak 18 minggu (Gambar 8-9).



Gambar 8. Grafik hubungan antara waktu dengan derajat konsolidasi pola segitiga untuk faktor pengali C_h 4 dan C_v 0,0004 cm²/det pada Zona 1



Gambar 9 Grafik hubungan antara waktu dengan derajat konsolidasi pola segitiga untuk faktor pengali Ch 4 dan C_v $0,0004 \text{ cm}^2/\text{det}$ pada Zona 2

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada pemasangan PVD zona 1 dan zona 2 memakai pola segitiga dengan nilai C_v $0,0004 \text{ cm}^2/\text{det}$ dan faktor pengali Ch 4. Apabila menggunakan jarak 1,25 m, untuk mencapai derajat konsolidasi 90 % memerlukan waktu 25 minggu. Sedangkan dengan jarak 0,8 m untuk mencapai derajat konsolidasi 90 % memerlukan waktu 9 minggu
2. Pola pemasangan PVD menggunakan pola segitiga dengan jarak 1,25 m merupakan opsi yang paling tepat setelah memperhitungkan efisiensi waktu yang ada.

Saran pada penelitian ini adalah untuk penelitian selanjutnya diharapkan untuk mendapatkan hasil laboratorium terutama nilai koefisien konsolidasi arah vertikal (C_v), karena merupakan data yang sangat penting untuk merencanakan PVD dan sangat sulit untuk mengestimasi angka dari nilai C_v ini. Koefisien konsolidasi arah vertikal (C_v) juga berfungsi untuk menentukan nilai koefisien konsolidasi arah horizontal (C_h).

DAFTAR PUSTAKA

- Barron, R. A. (1948). Closure of Consolidation of Fine-Grained Soils by Drain Wells. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 113, 751–754. <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0006098>
- Biarez, J., & Favre, J. (1976). *CorrÈlations de paramÈtres en mÈcanique des sols*. Ecole Centrale des Arts et Manufactures.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2002). *Panduan Geoteknik 1: Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak* (Pedoman Kimpraswil No: Pt T-8-2002-B).
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I* (Edisi ketiga). PT Gramedia Pustaka Utama.
- Jamiolkowski, M., Lancellota, R., & Wolski, W. (1983). Improvement of Ground. *Proceedings of the Eighth European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, USA*.
- Pramudyo, T., Sollar, W. P., Hermawan, W., Defrizal, Wahyudin, Wiyono, Hasibuan, G., & Sidarta, B. (2019). *Atlas Sebaran Batu Lempung Bermasalah Indonesia*. Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. https://onemap.esdm.go.id/public_assets/images/file/6a135-content-atlas-sebaran-batu-lempung-bermasalah-compressed.pdf
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. Wiley.