

Analisa Perbaikan Tanah Menggunakan Metode Preloading Dan PVD Pada Jalan Tol Indrapura – Kuala Tanjung

Muharnanda Husairi¹, Jufriah Sarifah², Bangun Pasaribu

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, FT Universitas Islam Sumatera Utara, Medan

^{2,3} Dosen Jurusan Teknik Sipil, FT Universitas Islam Sumatera Utara, Medan

e-mail: ¹nandahusairi@gmail.com, ²Jufriahsarifah@gmail.com, ³bangun@ft.uisu.ac.id.

Abstrak

Pekerjaan pembangunan jalan tol Indrapura – Kuala Tanjung sta. 0+700 dibangun di atas tanah lempung lunak, maka pemampatan yang terjadi relatif besar serta lama. Untuk mempercepat proses pemampatan maka digunakan metode preloading. Metode preloading tersebut dapat dikombinasikan dengan Prefabricated Vertical Drain (PVD). Timbunan (preloading) yang diberikan di atas tanah dasar akan menghasilkan pemampatan pada lapisan tanah lempung lunak. Analisa pemampatan dihitung berdasarkan data konsolidasi yang didapat dari laboratorium. Hasil pengujian SPT kedalaman tanah lunak mencapai 44.45 m dengan nilai N-SPT 1 s/d < 10 dan pada kedalaman 46.45 m s/d 54.45 N-SPT 32 s/d < 60. Berdasarkan hasil analisa maka didapatkan penurunan yang terjadi akibat preloading dengan beban rencana 11 t/m² untuk mencapai derajat konsolidasi 90% adalah 2700 hari atau 7.4 tahun dengan besar penurunan mencapai 1.88 m, preloading dikombinasikan dengan PVD dengan pola segitiga dengan jarak pemasangan 1 m adalah 50 hari atau 1.5 bulan dengan penurunan mencapai 1.88 m, pola segitiga dengan jarak pemasangan 1.2 m adalah 70 hari atau 2 bulan dengan penurunan mencapai 1.89 m, pola segitiga dengan jarak pemasangan 1.4 m adalah 95 hari atau 3 bulan dengan penurunan mencapai 1.89 m, pola segitiga dengan jarak pemasangan 1.6 m adalah 120 hari atau 4 bulan dan mengalami penurunan mencapai 1.88 m..

Kata kunci— Tanah, Perbaikan, Preloading, Penurunan

Abstract

Construction work on the Indrapura – Kuala Tanjung toll road sta. 0+700 was built on soft clay soil, so the compression that occurred was relatively large and took a long time. To speed up the compression process, the preloading method is used. This preloading method can be combined with Prefabricated Vertical Drain (PVD). Piling (preloading) applied on top of the subgrade will result in compression of the soft clay soil layer. Compression analysis is calculated based on consolidation data obtained from the laboratory. The SPT test results, the depth of soft soil reached 44.45 m with N-SPT values of 1 to < 10 and at depths of 46.45 m to 54.45 N-SPT 32 to < 60. Based on the analysis results, it was found that the settlement occurred due to preloading with The planned load of 11 t/m² to achieve a consolidation degree of 90% is 2700 days or 7.4 years with a settlement reaching 1.88 m, preloading combined with PVD with a triangular pattern with an installation distance of 1 m is 50 days or 1.5 months with a settlement reaching 1.88 m, pattern a triangle with an installation distance of 1.2 m is 70 days or 2 months with a decrease reaching 1.89 m, a triangle pattern with a installation distance of 1.4 m is 95 days or 3 months with a decrease reaching 1.89 m, a triangle pattern with a installation distance of 1.6 m is 120 days or 4 months and experienced a decline reaching 1.88 m.

Keywords— Ground, Improvement, Preloading, Subsidence

1. PENDAHULUAN

Tanah di Indonesia memiliki tekstur yang berbeda beda, terkhusus di daerah Sumatera, untuk daerah pantai barat memiliki tanah bebatuan dan didaerah pantai timur cenderung tanah lunak. Kondisi tanah ini memiliki sifat yang kurang baik ketika akan dimanfaatkan untuk keperluan pembangunan, hal ini dikarenakan material tanah itu terdiri dari air, rongga udara dan butiran partikel yang bilamana diberikan beban di atasnya maka akan terjadi penurunan.

Penurunan menyebabkan kerusakan pada suatu konstruksi yang berada diatas tanah tersebut. Untuk memperbaiki sifat tanah lunak dapat dilakukan beberapa metode perbaikan tanah yang salah satunya adalah metode preloading atau pemberian beban awal. Metode ini dilakukan dengan cara memberikan beban diatas permukaan tanah sehingga dapat menyebabkan lapisan tanah dibawahnya mengalami pemampatan (kompresi). Pemadatan tersebut disebabkan oleh keluarnya air dan udara dari dalam pori-pori [1]. Namun pemampatan yang terjadi akan membutuhkan waktu yang sangat lama sehingga perlu dikombinasikan PVD (Prefabricated Vertical Drain) untuk mempercepat proses pemampatan pada tanah.

Analisis perhitungan penurunan konsolidasi dan waktu dilakukan dengan teori terzaghi [2]. Untuk mengetahui besarnya kecepatan penurunan konsolidasi dapat dihitung secara analisis. perhitungan mengenai besarnya penurunan dan lamanya waktu konsolidasi tanah lunak dengan menggunakan metode pembebanan awal (preloading) dikombinasikan dengan PVD menggunakan data parameter tanah yang terdapat pada lokasi proyek jalan tol Indrapura – Kuala Tanjung, kemudian akan dilakukan analisis terhadap besar penurunan dan lamanya waktu konsolidasi preloading dengan menggunakan PVD dan preloading tanpa menggunakan PVD.

Tanah didefinisikan sebagai material padat yang terdiri dari partikel mineral, bahan organik, air, dan udara. Tanah merupakan salah satu bahan konstruksi yang paling umum digunakan dalam proyek-proyek teknik sipil, seperti konstruksi jalan, jembatan gedung, bendungan, saluran drainase dan lain sebagainya. Tanah memiliki sifat mekanik yang penting dalam rekayasa sipil, termasuk kekuatan, deformabilitas, stabilitas dan permeabilitas. Stabilitas merupakan proses memperbaiki sifat tanah dengan menambahkan suatu bahan tambah (additive) kedalam tanah tersebut [3]. Sedangkan Permeabilitas adalah kualitas tanah untuk meloloskan air atau udara yang diukur berdasarkan besarnya aliran melalui satuan tanah yang telah dijenuhi terlebih dahulu persatuan waktu tertentu [4]. Sifat - sifat ini mempengaruhi desain konstruksi struktur.

Tanah merupakan campuran partikel-partikel yang terdiri dari semua atau salah satu jenis tanah berikut: Berangkal (boulders) potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 – 300 mm [5]. Tanah umumnya diklasifikasikan berdasarkan sifat-sifat teknisnya. Klasifikasi tanah dalam teknik sipil sering menggunakan system yang dikenal sebagai Unified Soil Classification System (USCS). Berikut adalah klasifikasi tanah menurut USCS dalam teknik sipil:

1. Pasir (Sands - S): Adalah tanah dengan butiran kasar yang ukurannya antara 0,05 mm hingga 2 mm. Pasir diklasifikasikan berdasarkan distribusi ukuran butiran dan sifatnya seperti kepadatan, kekuatan dan plastisitas.
2. Lempung (Clays - C): Adalah tanah dengan butiran halus yang ukurannya kurang dari 0,002 mm. Lempung memiliki sifat plastis dan mudah membentuk endapan lumpur saat basah, lempung diklasifikasikan berdasarkan sifat konsistensinya, plastisitas dan kepadatan.
3. Silt (Silt - M): Adalah tanah dengan ukuran butiran antara pasir dan lempung.

Butirannya lebih kecil dari pasir, tetapi lebih besar dari lempung. Silt cenderung memiliki sifat yang mirip dengan lempung dalam hal konsistensi dan plastisitas.

4. Pasir Lempung (Silty Sands - SM): Adalah campuran antara pasir dan silt. Tanah ini memiliki kandungan pasir yang lebih tinggi daripada lempung.
5. Pasir Berlanau (Sandy Silts - SC): Adalah campuran antara pasir dan lempung dengan kandungan lempung yang lebih tinggi dari pasir lempung, dan tanah ini memiliki sifat yang mirip dengan lempung.

Sistem klasifikasi tanah merupakan suatu sistem penggolongan yang sistematis dari jenis – jenis tanah yang mempunyai sifat – sifat yang sama kedalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya.

Selain klasifikasi tersebut, USCS juga mencakup klasifikasi tambahan seperti tanah organik (organic soils - O) dan campuran tanah (peat - Pt). Klasifikasi tanah dalam teknik sipil penting karena sifat-sifat teknik yang berbeda dapat mempengaruhi desain pondasi, analisis stabilitas, drainase, dan perencanaan konstruksi secara keseluruhan.

Standart Penetration Test (SPT) dilakukan dengan mengacu pada standart ASTM D-1586. Korelasi antara nilai N-SPT dengan kepadatan relatif (relatif density) dari tanah pasir pertama-tama diperkenalkan oleh Terzaghi dan Peck, kemudian Gibbs dan Holtz menambahkan nilai D_r untuk defenisi kepadatan yang dikemukakan Terzaghi dan Peck tersebut [6] [7].

Bentuk akhir korelasi yang diberikan mereka adalah seperti yang disajikan pada tabel 1. [8]

Kepadatan Relatif	D_r	N
Sangat Lepas	< 0.15	< 4
Lepas	$< 0.15 - < 0.35$	4 – 10
Sedang	$< 0.35 - < 0.65$	10 – 30
Padat	$< 0.65 - < 0.85$	30 – 50
Sangat padat	$< 0.85 - < 1.00$	> 50

Tanah lunak adalah istilah yang digunakan dalam geoteknik untuk menggambarkan jenis tanah yang memiliki sifat-sifat tertentu. Secara umum tanah lunak adalah tanah yang memiliki daya dukung yang rendah ,deformabilitas yang tinggi dan konsistensi yang rendah. Umumnya lapisan tanah yang disebut lapisan lunak adalah lempung (clay) atau lanau (silt) yang mempunyai harga pengujian penetrasi standart (standart penetration test) N yang lebih rendah dari 4 atau tanah organis seperti gambut yang memiliki kadar air yang sangat tinggi. Demikian pula dengan lapisan tanah berpasir yang dalam keadaan lepas memiliki harga N kurang dari 10, dan diklasifikasi sebagai lapisan yang lunak. Sifat yang dimiliki tanah lempung [9] adalah sebagai berikut: Ukuran butir kurang dari 0,002 mm ; Permeabilitas rendah ; Kenaikan air kapiler tinggi ; Bersifat sangat kohesif ; Kadar kembang susut yang tinggi ; Proses konsolidasi lambat.

Tanah lunak dalam konstruksi sering terjadi permasalahan. Hal ini disebabkan karena daya dukung tanah tersebut rendah. Daya dukung yang rendah dapat menimbulkan kerugian dari sisi biaya konstruksi yang semakin mahal hingga terancamnya keselamatan konstruksi dimana struktur tidak bisa menahan beban serta tidak dapat berdiri secara stabil dan kokoh sehingga berpotensi roboh. Berdasarkan permasalahan tersebut para insinyur berusaha untuk mencari inovasi untuk mengatasi persoalan tersebut. Salah satu contohnya adalah penurunan yang terjadi akibat beban bangunan yang terlalu besar dan daya dukung

tanah yang kurang baik.

Proses stabilisasi tanah terdapat beragam metode alternatif yang bisa dilakukan, diantaranya adalah [10]:

1. Menaburkan semen di tanah (*Soil Cement*)
2. Pencampuran tanah dengan kapur (*Soil Lime*)
3. Mencampur tanah dengan abu (*Soil Ash*)
4. Pencampuran larutan kimia (*Solvent Stabilization*)
5. Stabilisasi tanah dengan pelapisan dan pemadatan

Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab-sebab lain. Beberapa atau semua faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan.

$$St = Si + Sc + Ss$$

(1)

Dimana :

St = Penurunan Total (m)

Si = Penurunan Segera (m)

Sc = Penurunan Konsolidasi *Primer* (m)

Ss = Penurunan Konsolidasi *Sekunder* (m)

Penurunan konsolidasi dapat dibedakan menjadi *normally consolidated* dan *overlly consolidated*.

Perhitungan untuk mencari nilai penurunan *normally consolidated* dapat dilakukan dengan persamaan.

$$Sp = \frac{Cc \times H}{1+e0} \log \frac{Po+\Delta P}{Po} \quad (2)$$

Dimana :

Cc = Indeks kompresi tanah

Po = Tekanan *overbunden* efektif

Δp = Tambahan tegangan vertikal

$e0$ = Angka pori

H = Tebal lapisan tanah

Sp = Penurunan primer

Metode prapembebanan (*preloading*) ialah suatu proses pemberian beban di atas tanah sebelum pembangunan strukturnya, guna mengkonsolidasi tanah tanah atau bisa disebut juga dengan beban sementara yang diletakkan pada suatu lahan kosntruksi, Pada penggunaan *Preloading* menggunakan timbunan, beban timbunan direncanakan dengan ketinggian tertentu agar penurunan konsolidasi dapat tercapai.

Tinggi timbunan umumnya [11] berkisar antara 3 – 8 meter dengan penurunan yang akan terjadi umumnya 0,3 – 2 meter. Penentuan tinggi timbunan disesuaikan dengan nilai penurunan. Penentuan tinggi timbunan ini bertujuan agar tanah timbunan tidak terbuang sia-sia dan. Tinggi timbunan kritis beban *preloading* ini dihitung berdasarkan daya dukung tanah lempung mula-mula, kemudian dibandingkan dengan tinggi timbunan atau beban yang mampu diterima oleh tanah dasar yaitu H kritis (Hcr).

Daya dukung tanah lempung dalam perencanaan beban *preloading* dihitung sebagai berikut:

$$qu = 2 \cdot Cu, \quad (3)$$

(Nilai C_u diambil dari kohesi tanah dasar dari tipe jenis material tanah yang dipakai untuk timbunan).

$$q = \gamma_{\text{timb}} \cdot H_{\text{cr}} \quad (4)$$

maka :

$$H_{\text{cr}} = \frac{q}{\gamma_{\text{timb}}} \quad (5)$$

Dimana :

q = Beban rencana (t/m^2)

C_u = kohesi tanah dasar (t/m^2)

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

H_{cr} = tinggi timbunan rencana (m)

Maka :

$$H_{t \text{ awal}} = \frac{(q_0 + (S_t \times \gamma_{\text{timb}}) + (S_t \times \gamma_{\text{timb}}))}{\gamma_{\text{timb}}} \quad (6)$$

$$H_{t \text{ akhir}} = H_{t \text{ awal}} - S_t \quad (2.16)$$

Dimana :

$H_{t \text{ awal}}$ = Tinggi timbunan awal (m)

$H_{t \text{ akhir}}$ = Tinggi timbunan akhir (m)

H_{sg} = Tinggi timbunan rencana (m)

S_t = Penurunan Total (m)

q_0 = Beban Total (Kn/m^3)

γ_w = Beban Lalu Lintas (Kn/m^3)

γ_{timb} = Volume Timbunan (Kn/m^3)

PVD adalah lembaran plastik untuk *drainase* vertikal yang panjang dan merupakan kombinasi antara bahan inti *polypropylene* berkekuatan mekanik tinggi. PVD adalah lembaran plastik untuk *drainase* vertikal yang panjang dan merupakan kombinasi antara bahan inti *polypropylene* berkekuatan mekanik tinggi dan lapisan pembungkus dari bahan geotekstil [12].

Material tanah jenis lempung homogen maka nilai koefisien konsolidasi horizontal (Ch) dapat dicari dengan menggunakan Persamaan berikut [13].

$$Ch = (1 - s/d^2) \times Cv \quad (7)$$

Dengan :

Ch = Koefisien arah radial

Cv = Koefisien arah vertikal

Nilai faktor hambatan $F(n)$ akibat jarak PVD dicari dengan menggunakan Persamaan berikut .

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1^2} \right) \left[\ln(n) - \frac{3}{4} - \left(\frac{1}{4n^2} \right) \right] \quad (8)$$

Pada umumnya $n > 20$ sehingga dapat dianggap bahwa $1/n = 0$ dan $\left(\frac{n^2}{n^2 - 1^2} \right) \approx 1$. Jadi :

$$F(n) = \ln(n) - \frac{3}{4} \text{ atau } F(n) = \ln\left(\frac{D}{dw}\right) - \frac{3}{4} \quad (9)$$

Dimana :

$F(n)$ = Faktor hambatan

D = Diameter jangkauan kerja PVD

Dw = Diameter lingkaran ekivalen PVD

Derajat konsolidasi tanah (U) adalah perbandingan penurunan tanah pada waktu tertentu dengan penurunan total. Persamaan derajat konsolidasi pada tanah yang distabilisasi dengan menggunakan sistem PVD [14] dapat menggunakan Persamaan berikut.

$$U = 1 - (1 - Uv)(1 - Uh) \quad (10)$$

Dimana :

U = Derajat konsolidasi rata-rata

U_v = Derajat konsolidasi arah vertikal

U_h = Derajat konsolidasi arah radial

Pada perhitungan PVD, penampang dari PVD akan dimodelkan menjadi berbentuk lingkaran dengan perhitungan diameter ekivalen yang diasumsikan sebagai keliling persegi panjang dibagi μ [15]. "Asumsi tersebut didasarkan pada Persamaan 11 dan Persamaan 12 .

Keliling lingkaran = Keliling Persegi Panjang

$$\mu d_w = \pi r^2 = 2(p+l) \quad (11)$$

$$d_w = 2(p+l)/\pi$$

(12)

Dimana :

d_w = Diameter PVD

p = Panjang PVD

l = Lebar PVD

2. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi yang dipilih untuk penelitian ini adalah proyek pembangunan jalan tol Indrapura-Kuala Tanjung. Jalan Tol Indrapura-Kuala Tanjung merupakan rangkaian dari jalan tol trans Sumatera .

Lokasinya yang terletak di Kabupaten Batubara dan merupakan daerah yang strategis dikarenakan lokasinya yang tidak jauh dari ibukota Sumatera Utara dan dekat dengan Pelabuhan Tanjung Tiram yang memiliki peranan penting sebagai daerah perdagangan dan perikanan dengan titik geografis garis lintang $3^{\circ}22'10.42''\text{U}$ dan garis bujur $99^{\circ}25'5.16''\text{T}$. Daerah ini berjarak ± 108 km dari kota Medan. Peta lokasi dari penelitian ini dapat dilihat di Gambar 1 berikut ini.



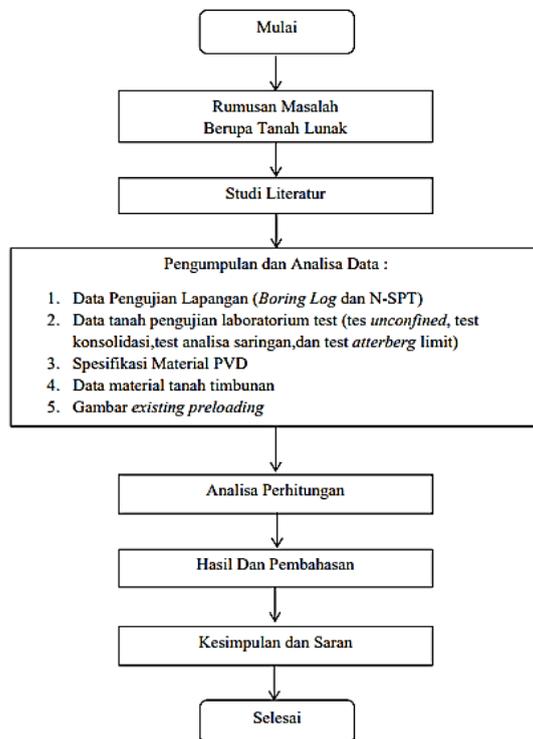
Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2 Jenis dan Tahapan Penelitian

Ada beberapa tahapan dalam penulisan tugas akhir ini, dan tahapan yang dikerjakan penulis yaitu :

- 1) Tahapan Pertama : Mengumpulkan berbagai jenis literatur dalam bentuk tulisan ilmiah yang berhubungan dengan tugas akhir ini
- 2) Tahapan Kedua : Mengumpulkan data-data yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini, data tersebut didapat dari pihak kontraktor (PT.Hutama Karya), Konsultan (PT. Bina Karya, PT. Indra Karya, PT.Eskapindo Matra,JO)
- 3) Tahapan Ketiga : Melakukan analisa data-data yang telah di dapat di lapangan dengan literatur-literatur yang berkaitan dengan penulisan tugas akhir ini.
- 4) Tahapan Keempat : Melakukan kegiatan menghitung besarnya waktu penurunan dan membandingkan waktu konsolidasi pada tanah Preloading dengan menggunakan PVD dan tanpa PVD dengan menggunakan metode terzaghi 1-D.

Adapun bagan alir penelitian ini ditunjukkan di Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan disajikan analisis penurunan tanah lunak dan waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan derajat konsolidasi (U) = 90% dengan hanya menggunakan metode preloading dan kombinasi metode preloading dan prefabricated vertical drain (PVD), Analisis akan dilakukan dengan cara analitik. Perhitungan secara analitik penurunan yang terjadi akibat preloading akan dihitung dengan menggunakan metode Terzaghi.

3.1 Menghitung Waktu Konsolidasi Tanpa Menggunakan PVD

Perhitungan untuk menghitung lama waktu konsolidasi yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% tanpa menggunakan PVD dilakukan dengan menggunakan metode konsolidasi 1-D Terzaghi. Sebelum menghitung derajat konsolidasi (U_v) terlebih dahulu melakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai koefisien konsolidasi vertikal gabungan (C_v gab).

Hasil analisis derajat konsolidasi arah vertikal (U_v) tanpa menggunakan PVD dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil percobaan waktu konsolidasi tanpa PVD.

t (hari)	H_t (m)	C_v (m^2 /hari)	T_v	U_v	S
1	27.25	0.074	0,000107392	0,0118	0,0209

10	27.25	0.074	0,001073923	0,0381	0,0836
100	27.25	0.074	0,010739229	0,1278	0,2717
500	27.25	0.074	0,053696145	0,3158	0,6688
700	27.25	0.074	0,075174603	0,3854	0,8151
1000	27.25	0.074	0,10739229	0,4784	1,0032
2000	27.25	0.074	0,21478458	0,7401	1,5466
2700	27.25	0.074	0,289959184	0,9008	1,881

Maka, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 0,90 adalah 2700 hari atau sama dengan 7.4 tahun dan mengalami penurunan sebesar 1.88 m.

3.2 Menghitung Waktu Konsolidasi Menggunakan PVD

Perhitungan derajat konsolidasi dilakukan dengan pola segitiga. Sedangkan untuk jarak antar PVD diterapkan antara 1-1.6 m dan ukuran PVD yaitu 100 mm x 4 mm.

1. Pola segitiga dengan jarak pemasangan 1 m

Perhitungan waktu konsolidasi yang dibutuhkan untuk mencapai nilai derajat konsolidasi rata-rata (U) mencapai 0.9 (90%).

Tabel 2. Nilai daerah ekuivalen (De) pada setiap jarak

Jarak (m)	1	1.2	1.4	1.6
De	1.05	1.26	1.47	1.68

Maka Hasil analisis faktor hambatan akibat jarak PVD (Prefabricated Vertical Drain) untuk jarak 1,0 - 1,6 m dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai faktor hambatan akibat jarak PVD

Jarak (m)	1	1.2	1.4	1.6
F(n)	2.02	2.18	2.34	2.47

Hasil analisis derajat konsolidasi menggunakan PVD dengan pola segitiga dan jarak 1 m dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Percobaan waktu konsolidasi dengan PVD jarak 1 m

T (hari)	T _v	U _v	Ch	T _h	U _h	U	S
1	0,0001074	0,0118	0,111	0,012235	0,04730	0,05854	0,1254
20	0,0021480	0,0545	0,111	0,244708	0,62059	0,64127	1,2958
30	0,0032220	0,0673	0,111	0,367063	0,76629	0,78202	1,6093
40	0,0042960	0,0783	0,111	0,489417	0,85604	0,86732	1,7765

50	0,0053701	0,0881	0,111	0,582640	0,90048	0,90925	1,881
----	-----------	--------	-------	----------	---------	---------	-------

Maka, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 0,90 adalah 50 hari atau sama dengan 1.5 bulan dan mengalami penurunan sebesar 1.88 m.

2. Pola segitiga dengan jarak pemasangan 1.2 m

Hasil analisis derajat konsolidasi menggunakan PVD dengan pola segitiga dan jarak 1.2 m dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Percobaan waktu konsolidasi dengan PVD jarak 1.2 m

T (hari)	T _v	U _v	Ch	T _h	U _h	U	S
1	0,0001074	0,0118	0,111	0,0080922	0,0315403	0,042968	0,090
10	0,0010740	0,0381	0,111	0,0809222	0,2742023	0,301854	0,631
15	0,0016110	0,0469	0,111	0,1213834	0,3816657	0,410664	0,858
40	0,0042960	0,0783	0,111	0,3236891	0,7225005	0,744227	1,555
50	0,0053701	0,0881	0,111	0,4046114	0,7985915	0,816334	1,706
60	0,0064441	0,0971	0,111	0,4855337	0,8538182	0,868011	1,814
70	0,0075181	0,1055	0,111	0,5664560	0,8939016	0,905094	1,892

Maka, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 0,90 adalah 70 hari atau sama dengan 2 bulan dan mengalami penurunan sebesar 1.89 m.

3. Pola segitiga dengan jarak pemasangan 1.4 m

Hasil analisis derajat konsolidasi menggunakan PVD dengan pola segitiga dan jarak 1.4 m dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Percobaan waktu konsolidasi dengan PVD jarak 1.4 m.

T (hari)	T _v	U _v	Ch	T _h	U _h	U	S
1	0,0001074	0,0118	0,111	0,0059453	0,023270	0,0347961	0,073
50	0,0053701	0,0881	0,111	0,2972655	0,691886	0,7190317	1,503
60	0,0064441	0,0971	0,111	0,3567186	0,756526	0,7801675	1,631
70	0,0075181	0,1055	0,111	0,4161717	0,807604	0,8279025	1,730
80	0,0085921	0,1133	0,111	0,4756248	0,847967	0,8651928	1,808
95	0,0102031	0,1243	0,111	0,5648045	0,893205	0,9064799	1,895

Maka, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 0,90 adalah 95 hari atau sama dengan 3 bulan dan mengalami penurunan sebesar 1.89 m.

4. Pola segitiga dengan jarak pemasangan 1.6 m
 Hasil analisis derajat konsolidasi menggunakan PVD dengan pola segitiga dan jarak 1.6 m dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Percobaan waktu konsolidasi dengan PVD jarak 1.6 m.

T (hari)	T_v	U_v	Ch	T_h	U_h	U	S
1	0,0001074	0,0118	0,111	0,004552	0,0178657	0,029454	0,06061
10	0,0010740	0,0381	0,111	0,045518	0,1649572	0,196772	0,41173
20	0,0021480	0,0545	0,111	0,091037	0,3027035	0,340706	0,71269
40	0,0042960	0,0783	0,111	0,182075	0,5137776	0,551848	1,15368
50	0,0053701	0,0881	0,111	0,227593	0,5939835	0,629753	1,3167
80	0,0085921	0,1133	0,111	0,364150	0,7635878	0,790373	1,6511
95	0,0102031	0,1243	0,111	0,432428	0,8196014	0,842025	1,75978
100	0,0107402	0,1278	0,111	0,455187	0,8351506	0,856218	1,78904
120	0,0128882	0,1412	0,111	0,546225	0,8850511	0,901281	1,88309

Maka, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 0,90 adalah 120 hari atau sama dengan 4 bulan dan mengalami penurunan sebesar 1.88 m.

Berdasarkan hasil analisa perbaikan tanah menggunakan metode preloading yang dikombinasikan dengan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) maka didapat hasil :

1. Berdasarkan hasil data SPT (*Standart Penetration Test*) pada lokasi sta. 0+700 tol Kuala Tanjung – Indrapura, kondisi tanah dominan mengandung lempung lunak dengan kedalaman mencapai 44.55 m.
2. Penurunan yang terjadi akibat preloading dengan beban rencana 11 t/m³ menggunakan perhitungan teori konsolidasi 1-D Terzaghi adalah sebesar 2.09 m.
3. Besarnya penurunan dan lamanya waktu yang terjadi akibat konsolidasi menggunakan preloading tanpa PVD (*Prefabricate Vertical Drain*) hingga mencapai derajat konsolidasi U= 90% adalah 1.881 m dalam waktu mencapai 2700 hari atau 7.4 tahun.
4. Besarnya penurunan dan lamanya waktu yang terjadi akibat konsolidasi menggunakan preloading dikombinasikan dengan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) dengan jarak 1 m hingga mencapai derajat konsolidasi U= 90% adalah 1.881 m dalam waktu 50 hari.
5. Besarnya penurunan dan lamanya waktu yang terjadi akibat konsolidasi menggunakan preloading dikombinasikan dengan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) dengan jarak 1.2 m hingga mencapai derajat konsolidasi U= 90% adalah 1.892 m dalam waktu 70 hari.

6. Besarnya penurunan dan lamanya waktu yang terjadi akibat konsolidasi menggunakan preloading dikombinasikan dengan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) dengan jarak 1.4 m hingga mencapai derajat konsolidasi $U=90\%$ adalah 1.895 m dalam waktu 95 hari.

Besarnya penurunan dan lamanya waktu yang terjadi akibat konsolidasi menggunakan preloading dikombinasikan dengan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) dengan jarak 1.6 m hingga mencapai derajat konsolidasi $U=90\%$ adalah 1.883 m dalam waktu 120 hari.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa metode perbaikan tanah menggunakan preloading dikombinasikan dengan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) pada lokasi Sta 0+700 Jalan tol Tebing Tinggi – Indrapura ruas Indrapura – Kuala Tanjung didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Dikarenakan Kondisi tanah pada lokasi Sta 0+700 jalan tol Indrapura – Kuala Tanjung berkarakteristik lempung lunak, menurut SNI 8460 : 2017 : Persyaratan Perancangan Geoteknik maka perlu dilakukan perbaikan tanah menggunakan metode preloading.
2. Pemampatan yang terjadi akibat preloading membutuhkan waktu yang sangat lama dikarenakan arah aliran air yang tidak beraturan sehingga diperlukan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) untuk mempersingkat jalannya air secara vertikal.
3. Dapat diketahui bahwa dalam hasil analisis penggunaan PVD dapat disimpulkan bahwa semakin dekat jarak pemasangannya maka waktu penurunannya juga akan menjadi semakin cepat.

5. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka perlu diberikan beberapa saran antara lain :

1. Untuk mendapatkan data yang lebih akurat sebaiknya dilakukan pengujian SPT tanah yang beragam, agar hasil pengujian yang diperoleh dapat menggambarkan kondisi lapangan yang sebenarnya.
2. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat membandingkan antara pola segitiga dengan pola segi empat pada pemasangan PVD.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Braja M. Das, Noor & Indrasuryah . Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis (Mekanika Tanah) Jilid 1. Jakarta: Erlangga. 1995.
- [2] Dhuha, Sinarta, I. N., & Wahyuni, P. I. Perencanaan Konstruksi Perbaikan Tanah Pondasi Reservoir Dengan Metode PVD , Paduraksa, 1(1),1-10. 2013
- [3] Hardiyatmo. Mekanika Tanah I Edisi Ke V Gadjah Mada University Press. 2010.
- [4] Lilabsari, Zaika, & Rachmansyah. Evaluasi kinerja perbaikan tanah lunak dengan menggunakan preloading dan prefabricated vertical drain (PVD). Rekayasa Sipil, 12(2), 112-117. 2018.
- [5] Hardiyatmo. , H.C. *Perbaikan Tanah*. Gadjah Mada University Press Yogyakarta. 2020
- [6] Geoteknik, S. N. I. 8460: 2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. 2017.
- [7] Kuswanda. Perbaikan Tanah Lempung Lunak Metoda Preloading Pada Pembangunan Infrastruktur Transportasi Di Pulau Kalimantan. INFO-TEKNIK, 188-207. 2016.
- [8] Rayes. Morfologi dan klasifikasi tanah. Malang : Universitas Brawijaya Press. 2017.

-
- [9] Lewinsky. Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Dengan Metode Preloading Menggunakan Prefabricated Vertical Drain (Pvd) Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Padang–Lubuk Alung–Sicincin Sta 3+ 550–3+ 750”. Abstract of Undergraduate Research, Faculty of Civil and Planning Engineering, Bung Hatta University, 2(1), 9-10. 2021.
- [10] CLAY. Kombinasi Preloading dan Penggunaan Pre-Fabricated Vertical Drain untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung Lunak (Study Kasus Tanah Lempung Suwung Kangin). Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol.12(2). 2008.
- [11] Ahmad. Analisa Metode Perbaikan Tanah Lunak dan Kohesif. Menara: Jurnal Teknik Sipil, 2(2), 9-9. 2007.
- [12] Kuswanda. Perbaikan Tanah Lempung Lunak Metoda Preloading Pada Pembangunan Infrastruktur Transportasi Di Pulau Kalimantan. INFO-TEKNIK, 188-207. 2016
- [13] Lilabsari. Zaika. & Rachmansyah. Evaluasi kinerja perbaikan tanah lunak dengan menggunakan preloading dan prefabricated vertical drain (PVD). Rekayasa Sipil, 12(2), 112-117. 2018.
- [14] R. Nur, Analisis Perbaikan Tanah Lunak Metode Preloading dan Metode Kombinasi Preloading dan Prefabricated Vertical Drainage (PVD) dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga Tiga Dimensi Studi Kasus Pembangunan Jalan Tol di Sumatera, Lampung Selatan: ITERA. 2020.
- [15] Zhafirah, A., & Amalia, D. Perencanaan Preloading Dengan Penggunaan Prefabricated Vertical Drain Untuk Perbaikan Tanah Lunak Pada Jalan Tol Pejagan-Pemalang. Potensi: Jurnal Sipil Politeknik, 21(1), 10-18. 2019