

ANALISIS DERAJAD KONSOLIDASI PADA PERBAIKAN TANAH DENGAN METODE *PRE-FABRICATED VERTICAL DRAIN* (PVD) PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL SEMARANG – DEMAK PAKET 2

Hastari Dita Ningrum¹⁾, Ririn Anassari²⁾

Hartopo³⁾, Totok Apriyanto⁴⁾

Prodi Sipil Fakultas Teknik Sipil Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman Guppi

E-mail: hastaridita02@gmail.com¹⁾, ririnanassari@gmail.com²⁾,

hartopo67@yahoo.com³⁾, apri.totok@gmail.com⁴⁾

ABSTRACT

Soft soil is a type of soil that has low shear strength, small coefficient of permeability, compressibility and low soil bearing capacity. 1-D consolidation theory by Terzaghi (1925), assumes that during the consolidation process the value of the consolidation coefficient (C_v) is constant. Flow is only vertical direction. The analysis carried out is to know magnitude of decline and time required to achieve 90% consolidation. Quantitative data is used to analysis numerical data and calculated using existing formulas. Value of settlement using Terzaghi method and principle of normal consolidation is 1.68834 m. To achieve a degree of consolidation of 90% without PVD is 274350 days with a decrease of 1.5196 m. With triangular pattern PVD installation on distance of 0.9 m is 75 days with a large reduction of 1.523 m. Based on the result, time required to achieve a degree of 90% consolidation using PVD is only 75 days, while on same day without using PVD consolidation results are around 0.017%. This shows that PVD can speed up the time required for soil consolidation.

Keywords: *soft soil, settlement, consolidation time, PVD*

ABSTRAK

Tanah lunak merupakan jenis tanah yang memiliki kuat geser yang rendah, koefisien permeabilitas yang kecil, kompresibilitas dan daya dukung tanah yang rendah. Teori konsolidasi 1-D yang ditemukan oleh Terzaghi (1925), menganggap selama proses konsolidasi berlangsung nilai koefisien konsolidasi (C_v) yang konstan dan pengaliran yang terjadi satu arah yaitu arah vertikal. Analisis yang dilakukan yaitu menganalisis besar penurunan dan waktu yang diperlukan untuk mencapai konsolidasi 90%. Teknik analisis yang digunakan adalah analisis data kuantitatif dimana menggunakan data numerik yang dihitung dengan menggunakan rumus – rumus yang telah ada. Diperoleh hasil perhitungan penurunan dengan konsolidasi primer metode Terzaghi, menggunakan prinsip terkonsolidasi normal adalah sebesar 1,68834 m. Untuk mencapai derajat konsolidasi 90% tanpa disertai penggunaan PVD adalah 274350 hari dengan penurunan sebesar 1,5196 m. Dengan penggunaan PVD pemasangan pola segitiga dan jarak pemasangan 0,9 m adalah 75 hari dengan besar penurunan 1,523 m. Berdasarkan analisis waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dengan menggunakan PVD adalah 75 hari, sedangkan pada hari yang sama tanpa menggunakan PVD didapatkan hasil konsolidasi sekitar 0,017%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan PVD dapat mempercepat waktu yang diperlukan untuk konsolidasi tanah.

Kata Kunci : *tanah lunak, penurunan, waktu konsolidasi, PVD*

PENDAHULUAN

Pertumbuhan ekonomi di Kota Semarang yang semakin berkembang, ditandai dengan pesatnya pembangunan berbagai infrastruktur guna menunjang kebutuhan kelancaran transportasi. Tanah mempunyai peranan penting sebagai dasar pembangunan dalam bidang konstruksi. Tanah lunak merupakan jenis tanah yang memiliki kuat geser yang rendah, koefisien permeabilitas yang kecil, kompresibilitas dan daya dukung tanah yang rendah. Penurunan akibat proses konsolidasi tanah pendukung menjadi salah satu aspek penting dalam bidang geoteknik.

Pada Proyek Jalan Tol Semarang – Demak berdasarkan hasil penelitian tanah pada lokasi tersebut adalah tanah berlempung lunak dan mengandung banyak air. Dalam mengatasi permasalahan penurunan tanah tersebut maka perlu dilakukan perbaikan tanah. Adapun salah satu metodenya adalah dengan metode *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* [1] [2] [3] [4] [5] [6].

Proyek Jalan Tol Semarang – Demak ini meneruskan pembangunan Jalan Tol Semarang Seksi C mulai dari Kaligawe (*on off* jalan tol *existing*) sampai dengan Demak. Proyek ini dibagi menjadi dua paket yang mana paket 2 dikerjakan oleh PT.PP – WIKA Konsorsium. Terdapat tiga jenis pekerjaan dalam pembangunan

Proyek tol Semarang – Demak Paket 2 yaitu pekerjaan SOP (Slab On Pile), pekerjaan Timbunan (PVD & Preloading) dan pekerjaan Jembatan.

Studi ini mempunyai tujuan untuk mengetahui lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dan besarnya penurunan yang terjadi setelah terjadinya konsolidasi 90% pada tanah, dengan menggunakan PVD dengan pola pemasangan segitiga dan jarak 90 - 100 cm. Penelitian ini bermanfaat untuk:

1. Memberi informasi mengenai perbaikan tanah dengan metode PVD.
2. Sebagai referensi dan acuan baru untuk kalangan akademisi dalam analisis lebih lanjut mengenai perencanaan perbaikan tanah menggunakan PVD.

LANDASAN TEORI

Tanah Lunak

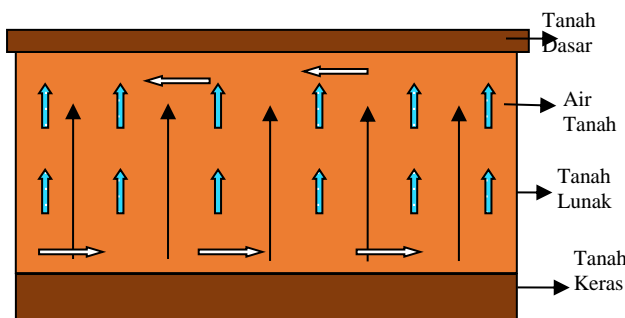
Tanah lunak terdiri atas lempung dan lanau. Tanah lempung atau tanah lunak adalah tanah dengan ukuran mikrokonis sampai dengan sub mikrokonis yang berasal dari pelapukan unsur kimiawi penyusun batuan. Pada saat kering, plastik dan dengan kadar air sedang tanah lempung bersifat sangat keras, sedangkan pada saat kadar air lebih tinggi tanah lempung akan bersifat kohesif (lengket) dan sangat lunak [7].

Prefabricated Vertical Drain (PVD)

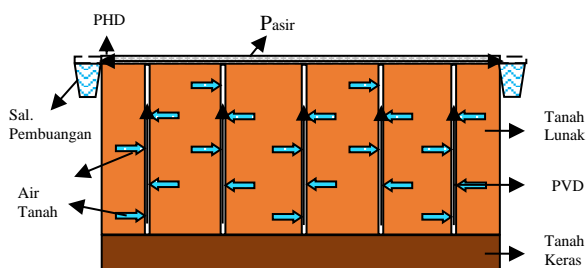
PVD adalah lembaran plastik untuk drainase vertikal yang panjang berbentuk sirip dan

berkantung yang merupakan kombinasi antara bahan inti (*core*) *polypropylene* berkekuatan mekanik tinggi dan lapisan pembungkus dari bahan geotekstil atau jaket dari bahan polimer. PVD berfungsi untuk mempercepat proses konsolidasi tanah, terutama pada jenis tanah lempung dengan cara ditanam secara vertikal ke dalam tanah untuk mengalirkan air dari lapisan tanah lunak ke permukaan. PVD terbuat dari bahan geosintetik yang diproduksi dalam pabrik.

Konsep Dasar PVD



Gambar 1. Potongan Melintang Tanah Tanpa PVD

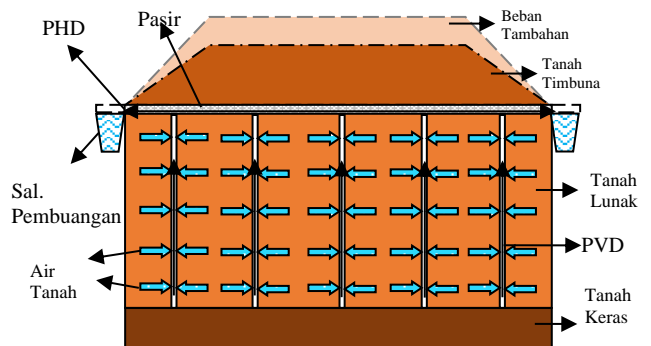


Gambar 2. Potongan Melintang Tanah dengan PVD

Tanah lunak sebelum adanya perbaikan tanah, air bergerak secara acak. Ketika dilakukan perbaikan tanah dengan PVD air tanah mulai menemukan rongga

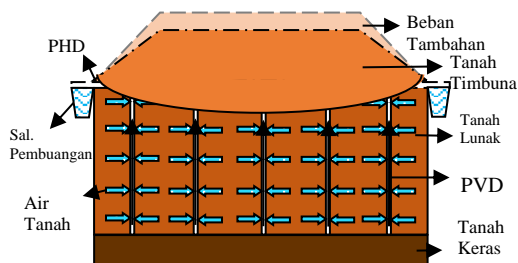
untuk keluar.

Setelah PVD dipasang, dilanjutkan dengan pemasangan PHD dan juga pemberian pasir khusus. Sebelum diberikan tanah timbunan terlebih dahulu dipasang geotek non woven sebagai pemisah antara PVD dan PHD dengan tanah timbunan.



Gambar 3. Potongan Melintang Tanah dengan PVD dan Timbunan

Dengan adanya beban tambahan tanah akan menjadi mampat dan air tanah akan mencari jalan keluar melalui PVD. PHD berfungsi sebagai penyalir air dari PVD ke saluran Pembuangan. Waktu tunggu pembebanan untuk mendapatkan hasil konsolidasi sesuai yang diharapkan kurang lebih 6 bulan sampai 1 tahun.

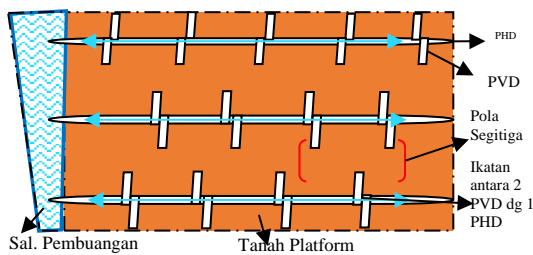


Gambar 4. Potongan Melintang Tanah dengan PVD dan Timbunan Setelah Terjadi Penurunan

Potongan melintang tanah dengan PVD dan timbunan setelah terjadi penurunan.

Konsep Dasar PHD

PHD (*Prefabricated Horizontal Drain*) atau penyalir horizontal merupakan material dengan inti atau *core* berbentuk silinder berongga yang terbuat dari *polypropylene* yang dibungkus dengan jaket dari bahan polimer. PHD dipasang dengan suatu metode pemasangan tertentu yang berfungsi sebagai penyalir.



Gambar 5. Tampak Atas Pola Ikatan PVD dengan PHD

2 PVD diikat ke 1 PHD kemudian air yang dibawa PVD akan diteruskan ke PHD kemudian PHD menerima air dari PVD diteruskan ke saluran pembuangan.

Preloading

Selain digunakan untuk mempercepat penurunan dengan terdispersinya air pori dalam tanah *preloading* juga dapat meningkatkan daya dukung pada tanah serta kuat gesernya [8]. Tinggi timbunan kritis dihitung berdasarkan daya dukung

tanah lempung mula-mula, kemudian dibandingkan dengan beban yang mampu diterima tanah dasar yaitu H kritis (H_{cr}). Timbunan harus diletakkan secara bertahap. Perencanaan beban *preloading* dihitung dengan persamaan berikut :

$$q_0 = 2 \cdot C_u$$

$$q_0 = \gamma_{\text{timbunan}} \cdot H_{cr}$$

Konsolidasi Tanah

Konsolidasi adalah suatu proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori secara perlahan pada tanah jenuh dengan permeabilitas rendah akibat pembebanan, dimana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya air pori yang keluar dari rongga pori tanah [9].

Penurunan Tanah

1. *Immediate Settlement* / penurunan segera
2. *Consolidation settlement* / penurunan konsolidasi
3. Penurunan konsolidasi primer/*consolidation primer settlement (Scp)*,

Persamaan yang digunakan untuk menghitung penurunan / *settlement* akibat konsolidasi tanah dasar yaitu [10] [11] :

- Untuk tanah terkonsolidasi normal / *normally consolidated (NC-soil)*

$$S_{c\sim} = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \left[\log \left(\frac{p_0' + \Delta p}{p_0'} \right) \right]$$

Parameter Perhitungan Penurunan Konsolidasi

1. Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal (C_v).

$$Cv = \frac{Tv \cdot H^2}{t}$$

2. Koefisien Konsolidasi Arah Radial (Cr/Ch).

$$Cr = (1 \text{ s. d } 2) Cv$$

3. Koefisien Konsolidasi Vertikal Gabungan

Rumus yang digunakan untuk mencari Cv gabungan, yaitu :

$$Cv \text{ Gabungan} = \frac{(H_1 + H_2 + H_3 + H_4)^2}{\left[\left(\frac{H_1}{\sqrt{Cv_1}} \right) + \left(\frac{H_2}{\sqrt{Cv_2}} \right) + \left(\frac{H_3}{\sqrt{Cv_3}} \right) + \left(\frac{H_4}{\sqrt{Cv_4}} \right) \right]^2}$$

4. Indeks Pemampatan (Cc)

$$Cc = 0,009 (LL-10)$$

$$Cc = 0,007 (LL-10)$$

5. Tekanan Overburden Efektif (p_0')

$$Po' = \gamma \cdot H$$

6. Distribusi Tegangan Tanah (Δp)

$$\Delta P = 2q_0 \cdot I$$

7. Faktor Waktu Konsolidasi Arah Vertikal (Tv)

$$Tv = \frac{Cv \cdot t}{H^2}$$

8. Faktor Waktu Konsolidasi Arah Radial (Tr/Th)

$$Tr = \frac{Ch \cdot t}{de^2}$$

9. Kecepatan Waktu Konsolidasi (t)

$$t = \frac{Tv(H_{dr})^2}{Cv}$$

10. Derajat Konsolidasi Arah Vertikal (Uv)

$$Uv = \frac{\sqrt{\frac{4Tv}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4Tv}{\pi} \right)^{2.8} \right)^{0.179}}$$

11. Derajat Konsolidasi Arah Radial (Ur/Uh)

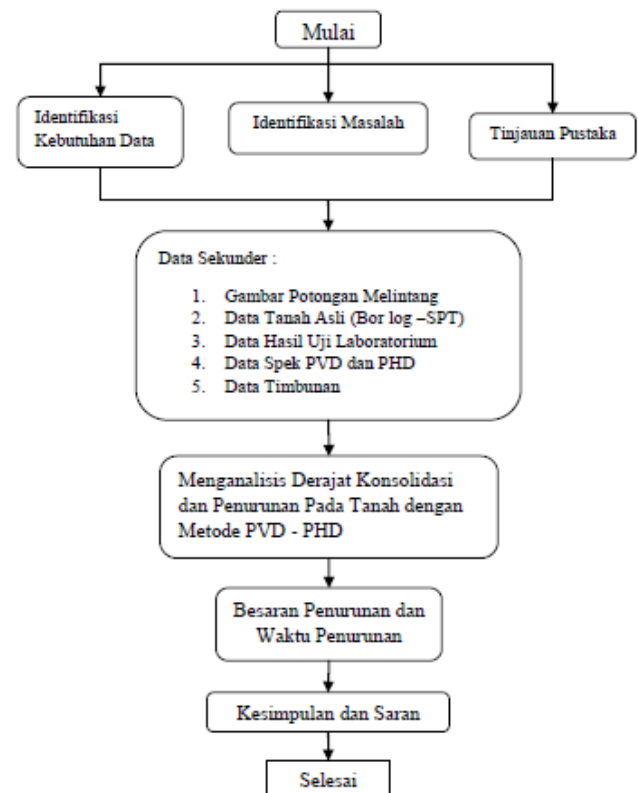
$$Ur = 1 - \frac{u_{av}}{ui} = 1 - \exp \exp \left(\frac{-8Tr}{F(n)} \right)$$

12. Derajat Konsolidasi Rata – Rata (U)

$$U = 1 - (1 - Uv) (1 - Ur)$$

METODOLOGI PENELITIAN

Bagan Alir Penelitian



Gambar 6. Bagan Alir Penelitian

Dalam penelitian ini data sekunder yang digunakan adalah gambar potongan melintang, data tanah dasar, data tanah timbunan dan data spesifikasi PVD.

ANALISIS DAN PERHITUNGAN

Perhitungan Menggunakan Metode Terzaghi

Menentukan nilai Cv pada setiap lapisan tanah dengan cara interpolasi :

$$C_v = \frac{(9 \times 10^{-4} - 8 \times 10^{-4}) \times (1,31 - 1,3)}{1,4 - 1,3} + 8 \times 10^{-4}$$

$$C_v = 0,000810$$

Menentukan nilai Cc pada setiap lapisan tanah sebagai berikut :

$$C_c = 0,009 (27 - 10) = 0,153$$

Tabel 2. Rekapitulasi Nilai Cv dan Cc

H (cm)	γdry (gr/cm ³)	LL	Cv (cm ² /s)	Cc (cm ² /s)
450	1,31	27	0,000810	0,153
550	0,964	22	0,000428	0,108
650	1,002	33	0,000502	0,207
1250	1,185	29	0,000685	0,171
100	1,194	36	0,000694	0,234
1000	1,006	41	0,000506	0,279
200	0,908	37	0,000316	0,243
700	1,031	29	0,000531	0,171
100	0,853	37	0,000253	0,243
600	1,136	39	0,000636	0,261
250	1,076	32	0,000576	0,198
350	0,865	37	0,000265	0,243
600	0,929	24	0,000158	0,126
250	0,986	35	0,000272	0,225

Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer

Perhitungan penurunan konsolidasi primer pada setiap lapisan tanah:

$$C_c = 0,153 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$e = 1,012$$

- Perhitungan tekanan *overburden* efektif (Po')

$$P_o' = \gamma' \cdot H = 1,799 \times 450 = 809,55 \text{ gr/m}^2$$

- Perhitungan distribusi tegangan tanah (ΔP)

$$q_o = \gamma_t \cdot H_p = 1,900 \times 480 = 912 \text{ gr/cm}^2$$

Menentukan nilai I dengan menggunakan Grafik Osterberg (1957).

$$a/z = 850/450 = 1,8$$

$$b/z = 1950/450 = 4,3$$

$$\text{Nilai I} = 0,5$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 2q_o \cdot I \\ &= 2 \times 912 \times 0,5 \\ &= 912 \text{ gr/cm}^2 \end{aligned}$$

Penurunan tanah yang terjadi pada lapisan tanah

1:

$$S = \frac{0,153 \times 450}{1 + 1,012} \log \frac{809,55 + 912}{809,55} = 11,213 \text{ cm}$$

Tabel 3. Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer

Lapisan Tanah	H (cm)	Cc (cm ² /s)	eo	γsat	Po' (gr/cm ²)	ΔP (gr/cm ²)	S (cm)
1	450	0,153	1,012	1,799	809,55	912	11,213
2	550	0,108	1,67	1,555	855,25	912	7,012
3	650	0,207	1,602	1,617	1051,05	912	14,029
4	1250	0,171	1,216	1,699	2123,75	912	14,967
5	100	0,234	1,172	1,700	170	912	8,659
6	1000	0,279	1,591	1,544	1544	912	21,706
7	200	0,243	1,87	1,609	321,8	912	9,884
8	700	0,171	1,528	1,600	1120	912	12,250
9	100	0,243	2,061	1,437	143,7	912	6,875
10	600	0,261	1,303	1,643	985,8	912	19,343
11	250	0,198	1,421	1,563	390,75	912	10,693
12	350	0,243	1,997	1,45	507,5	912	12,677
13	600	0,126	1,835	1,565	939	912	7,860
14	250	0,225	1,64	1,443	360,75	912	11,666
Total Penurunan							168,83

Perhitungan Derajat Konsolidasi Tanah Tanpa PVD

Menghitung nilai Cv gabungan

$$Cv\ Gabungan = \frac{(H_1 + H_2 + H_3 + H_4)^2}{\left[\left(\frac{H_1}{\sqrt{Cv_1}}\right) + \left(\frac{H_2}{\sqrt{Cv_2}}\right) + \left(\frac{H_3}{\sqrt{Cv_3}}\right) + \left(\frac{H_4}{\sqrt{Cv_4}}\right)\right]^2}$$

$Cv\ Gabungan = 0,00385\ m^2/hari$

Analisis perhitungan derajat konsolidasi

➤ Perhitungan faktor waktu (Tv)

$$Tv = \frac{Cv\ gab \times t}{H^2} = \frac{0,00385 \times 1}{\left(\frac{70,5}{2}\right)^2} = 0,00000310$$

➤ Perhitungan derajat konsolidasi vertikal

$$Uv = \frac{\sqrt{\frac{4 \times Tv}{\pi}}}{\left(1 + \left(\frac{4 \times Tv}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$$

$$= \frac{\sqrt{\frac{4 \times 0,00000310}{3,14}}}{\left(1 + \left(\frac{4 \times 0,00000310}{3,14}\right)^{2,8}\right)^{0,179}}$$

$= 0,0020$

$S = Uv \times S_{total} = 0,002 \times 1,688 = 0,0034\ m$

Tabel 4. Rekapitulasi Derajat Konsolidasi Arah Vertikal Tanpa PVD

Tahun	t (Hari)	Cv gab (m2/hari)	Tv	Uv (%)	S (m)
	1	0,00385	0,000	0,0020	0,0034
	10	0,00385	0,000	0,0063	0,0106
	15	0,00385	0,000	0,0077	0,0130
	100	0,00385	0,000	0,0199	0,0335
	1000	0,00385	0,003	0,0628	0,1061
	10	3650	0,00385	0,011	0,1200
	20	7300	0,00385	0,023	0,1698
	27	10000	0,00385	0,031	0,1987
	30	10950	0,00385	0,034	0,2079
	40	14600	0,00385	0,045	0,2401
	50	18250	0,00385	0,057	0,2684
	273	100000	0,00385	0,310	0,6203
	410	150000	0,00385	0,465	0,7414

Tahun	t (Hari)	Cv gab (m2/hari)	Tv	Uv (%)	S (m)
	547	200000	0,00385	0,620	0,8247
	684	250000	0,00385	0,775	0,8804
	698	255000	0,00385	0,790	0,8847
	712	260000	0,00385	0,806	0,8889
	739	270000	0,00385	0,837	0,8968
	751	274350	0,00385	0,850	0,9000

Perhitungan Derajat Konsolidasi Tanah Menggunakan PVD

Perhitungan derajat konsolidasi tanah menggunakan PVD adalah sebagai berikut :

Koefisien konsolidasi horizontal

$Ch = (1 - 2) \times Cv = (1,5) \times 0,00385 = 0,00578\ m^2/hari$

Diameter ekuivalen

$Dw = \frac{2 \times (a+b)}{\pi} = \frac{2 \times (0,098+0,032)}{3,14} = 0,0828\ m$

Faktor hambatan akibat jarak PVD

$F(n) = \ln\left(\frac{De}{Dw}\right) - \frac{3}{4}$

$= \ln\left(\frac{0,945}{0,0828}\right) - \frac{3}{4} = 1,68$

Jika diambil t = 1 (hari)

Faktor waktu horizontal

$Th = \frac{Ch \times t}{de^2} = \frac{0,00578 \times 1}{0,945^2} = 0,0065$

Derajat konsolidasi horizontal

$Uh = 1 - \exp\left(\frac{-8Th}{F(n)}\right)$

$= 1 - \exp\left(\frac{-8 \times 0,0065}{1,68}\right)$

$= 0,030$

Derajat konsolidasi tanah

$U = 1 - (1 - Uv)(1 - Uh)$

$= 1 - (1 - 0,0020)(1 - 0,030)$

$= 0,032$
 $S = U \times S_{tot} = 0,032 \times 1,688 = 0,054 \text{ m}$

Tabel 6. Hasil Perhitungan Untuk Mencapai Derajat Konsolidasi 90%

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Analisis Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD

T (hari)	Cv (m2/hari)	Tv	Uv	Ch (m2/hari)	Th	Uh	U	S (m)
1	0,00385	0,0000031	0,0020	0,00578	0,0065	0,030	0,032	0,054
10	0,00385	0,0000310	0,0063	0,00578	0,0647	0,265	0,270	0,455
20	0,00385	0,0000620	0,0089	0,00578	0,1293	0,460	0,465	0,794
30	0,00385	0,0000930	0,0109	0,00578	0,1940	0,603	0,607	1,025
40	0,00385	0,0001239	0,0126	0,00578	0,2587	0,708	0,712	1,202
50	0,00385	0,0001549	0,0140	0,00578	0,3233	0,786	0,789	1,331
60	0,00385	0,0001859	0,0154	0,00578	0,3880	0,842	0,845	1,425
70	0,00385	0,0002169	0,0166	0,00578	0,4527	0,884	0,89	1,496
75	0,00385	0,0002324	0,0172	0,00578	0,4850	0,90	0,902	1,523
80	0,00385	0,0002479	0,0178	0,00578	0,5173	0,915	0,916	1,547
100	0,00385	0,0003098	0,0199	0,00578	0,6467	0,954	0,955	1,612
200	0,00385	0,0006197	0,0281	0,00578	1,2934	0,998	0,998	1,685
300	0,00385	0,0009295	0,0344	0,00578	1,9400	1,000	1,000	1,688
365	0,00385	0,0011309	0,0380	0,00578	2,3604	1,000	1,000	1,688

Kondisi	Derajat Konsolidasi 90%	
	Waktu(Hari)	Besar Penurunan(m)
Tanpa PVD	274.350	1,5196
Menggunakan PVD	75	1,523

**PENUTUP
Kesimpulan**

- Menggunakan Metode Terzaghi penurunan konsolidasi primer yang dihitung dengan prinsip terkonsolidasi normal adalah sebesar 1,688 m.
- Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% tanpa disertai penggunaan PVD adalah 274.350 hari dan besarnya penurunan adalah 1,5196 m.
- Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dengan disertai penggunaan PVD adalah 75 hari dan besarnya penurunan adalah 1,523 m.
- Hasil analisis waktu untuk mencapai derajat konsolidasi (U) 90% tanpa menggunakan dan dengan menggunakan PVD, didapatkan hasil bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dengan menggunakan PVD adalah 75 hari. Sementara pada hari yang sama, tanpa menggunakan PVD nilai derajat konsolidasi masih sekitar 0,017%. Hal ini menunjukkan bahwa metode preloading dan PVD secara

Rekapitulasi Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil analisis diperoleh hasil total perhitungan penurunan dengan konsolidasi primer metode Terzaghi ,menggunakan prinsip terkonsolidasi normal sebesar 1,68834 m. Perbandingan pada perhitungan manual tanpa menggunakan PVD dan dengan menggunakan PVD untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dapat dilihat pada tabel berikut:

signifikan mempercepat waktu yang diperlakukan untuk konsolidasi tanah.

Saran

1. Diperlukan ketelitian dalam melakukan perhitungan secara manual dengan Metode Terzaghi, karena kesalahan dalam perhitungan awal dapat mempengaruhi hasil akhir.
2. Diperlukan penyelidikan tanah secara mendetail dan lebih dalam sebelum pembangunan suatu konstruksi dilaksanakan.
3. Diperlukan studi lanjutan untuk mengetahui perbandingan antara kombinasi metode preloading dan PVD dalam meningkatkan daya dukung tanah dan dalam mempercepat waktu konsolidasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hidayati, Anissa Maria & Made Dodiek Wirya Ardana, 2008. *Kombinasi Preloading Dan Penggunaan Pre-Fabricated Vertical Drains Untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung Lunak*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol. 12, No. 2.
- [2] Manihuruk, Jeremy Natama, 2019. *Evaluasi Derajat Konsolidasi Timbunan Menggunakan Preloading Dan PVD Dengan Metode Asaoka*. Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- [3] Munthe, Daniel Anderson dkk, 2021. *Analisis Pengaruh Jarak Pemasangan Pvd Terhadap Derajat Konsolidasi Pada Konstruksi Timbunan*. Jurnal Syntax Admiration. Volume 2, Nomor 3.
- [4] Nakhe, Fetra Yahya, 2021. *Analisis Perbaikan Tanah Dengan Metode Prefabricated Vertical Drain (PVD)*. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
- [5] Susiazti, Heny dkk, (2020), *Analisis Penurunan Konsolidasi Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain (Pvd)*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil. Volume 4, Nomor 2.
- [6] Barimbing, Fanny Rumintha Br. & Rudi Iskandar. 2017. *Analisa Penurunan Dan Waktu Konsolidasi Tanah Lunak Dengan Menggunakan Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain*
- [7] K. Terzaghi, "Principles of Soil Mechanics: I—Phenomena of Cohesion of Clays," Engineering News-Record, Vol. 95, No. 19, 1925.
- [8] Ningsih, Ana Crosita, (2018),

Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode Preloading dan Prefabricated Vertical Drain (PVD). Program Studi S1 Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember

- [9] Hardiyatmo, H. C., 2018. ***Mekanika Tanah 2***, Edisi Keenam. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- [10] Das, B., M., ***Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) 1***, Jakarta :Erlangga 1995
- [11] Das, B., M., ***Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) 2***, Jakarta :Erlangga 1995.