

ANALISA PENURUNAN PADA TANAH LUNAK AKIBAT TIMBUNAN (Studi Kasus: Kawasan Wisata Ancol Barat)

ANALYSIS OF DRAINING ON SOFT SOIL CAUSED BY FLOODING (Case Study: West Ancol Tourism Area)

Ellysa¹, Juniarso², Andi Asnur Pranata M. H.³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil Universitas Gunadarma

¹ellysa@staff.gunadarma.ac.id, ²juniarso@staff.gunadarma.ac.id, ³andiforjournal@gmail.com

Abstrak

Permasalahan keterbatasan lahan di wilayah wisata Ancol Barat menjadi kendala seiring berkembangnya wilayah wisata tersebut. Dalam mengatasi keterbatasan lahan tersebut, maka pihak Ancol berencana memperluas lahan parawisata dengan melakukan reklamasi di sekitar perairan pantai wilayah Ancol Barat. Berdasarkan hasil survei penyelidikan tanah didominasi oleh tanah lunak. Pada rencana penimbunan wilayah perairan pantai di wilayah wisata Ancol Barat yang dibangun pada tanah lunak akan digunakan PVD sebagai alat untuk mempercepat penurunan sehingga pelaksanaan konstruksi dapat segera dilaksanakan. Penulisan ini dilakukan berdasarkan data primer yang dilakukan di lokasi rencana wilayah reklamasi dengan melakukan tes tanah di lapangan serta mengambil sampel disturb dan undisturb untuk menguji di laboratorium untuk mendapatkan parameter-parameter yang akan digunakan dalam perhitungan. Berdasarkan hasil yang didapatkan, dapat diketahui bahwa penyelidikan tanah Bore Hole 1 didapatkan perhitungan penurunan tanah tanpa PVD adalah 1,31m, sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% adalah 3,03 tahun. Sementara perhitungan dengan PVD didapatkan waktu penurunan untuk mencapai derajat 90% dengan pola persegi dengan jarak spasi 1m membutuhkan waktu 0,055 tahun (20 hari), pola persegi dengan jarak spasi 1,5m membutuhkan waktu 0,110 tahun (40 hari), pola persegi dengan jarak spasi 2m membutuhkan waktu 0,192 (70 hari), pola segitiga dengan jarak spasi 1m membutuhkan waktu 0,055 tahun (20 hari), pola segitiga dengan spasi 1,5m membutuhkan waktu 0,110 tahun (40 hari), dan pola segitiga dengan jarak spasi 2m membutuhkan waktu 0,164 tahun (60 hari).

Kata Kunci: Penurunan, Konsolidasi, prefabricated Vertical Drain (PVD).

Abstract

The problem of limited land in the West Ancol tourist area is an obstacle as the tourist area develops. In overcoming the land limitation, Ancol plans to expand the tourism land by reclaiming around the coastal waters of the West Ancol area. Based on the results of the soil investigation survey, it is dominated by soft soil. In the plan to fill the coastal waters area in the West Ancol tourist area built on soft soil, PVD will be used as a tool to accelerate the decline so that construction can be carried out immediately. This paper is based on primary data collected at the reclamation site by conducting soil tests in the field and taking disturbed and undisturbed samples for laboratory testing to obtain the parameters to be used in the calculations. Based on the results obtained, it can be seen that the Bore Hole 1 soil investigation obtained the calculation of soil settlement without PVD is 1.31m, while the time required to reach 90% consolidation degree is 3.03 years. While the calculation with PVD obtained the settlement time to reach 90% degree with square pattern with 1m spacing takes 0.055 years (20 days), square pattern with 1.5m spacing takes 0.110 years (40 days), square pattern with 2m spacing takes 0.192 years (70 days), triangular pattern with 1m spacing takes 0.055 years (20 days), triangular pattern with 1.5m spacing takes 0.110 years (40 days), and triangular pattern with 2m spacing takes 0.164 years (60 days).

Keywords: Settlement, Consolidation, Prefabricated Vertical Drain (PVD).

PENDAHULUAN

Permasalahan keterbatasan lahan di wilayah wisata Ancol Barat menjadi kendala seiring berkembangnya wilayah wisata tersebut. Perkembangan pariwisata yang begitu cepat harus disertai pertumbuhan lokasi wisata di lokasi tersebut. Dalam mengatasi keterbatasan lahan tersebut, maka pihak Ancol berencana memperluas lahan pariwisata dengan melakukan reklamasi di sekitar perairan pantai wilayah Ancol Barat.

Rencana penimbunan wilayah perairan pantai perlu dianalisa karena kondisi tanah disekitar perairan pantai Ancol Barat berdasarkan hasil survei penyelidikan tanah didominasi oleh tanah lunak. Tanah lunak apabila dibebani akan mengalami penurunan seiring keluarnya air pori dari tanah tersebut. Selain akan mengalami penurunan akibat pembebanan tanah timbunan, waktu yang dibutuhkan untuk keluarnya air pori dari tanah pun harus diperhitungkan.

Pada rencana penimbunan wilayah perairan pantai di wilayah wisata Ancol Barat yang dibangun pada tanah lunak akan digunakan PVD sebagai alat untuk mempercepat penurunan sehingga pelaksanaan konstruksi dapat segera dilaksanakan.

METODOLOGI PENELITIAN

Penulisan ini didasarkan pada data primer yang diperoleh dari lokasi rencana wilayah reklamasi. Pengumpulan data dilakukan melalui pengujian tanah di lapangan serta pengambilan sampel tanah, baik *disturb* maupun *undisturb*, untuk kemudian diuji di laboratorium. Hasil pengujian ini digunakan untuk menentukan parameter-parameter tanah yang akan diterapkan dalam proses perhitungan.

Distribusi Tegangan Pada Tanah

Akibat beban timbunan pada lapisan tanah lunak, maka akan menimbulkan tambahan tegangan pada lapisan tanah lunak dibawahnya, untuk menentukan tambahan tegangan vertical akibat beban timbunan dinyatakan dengan persamaan berikut:

$\Delta\sigma_z = q \cdot I$ dengan

$$I = \frac{1}{\pi} \left(\left\{ \frac{a+b}{a} \right\} (\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{b}{a} \alpha_2 \right)$$

Keterangan:

$\Delta\sigma_z$ = adalah tambahan tegangan akibat beban luar

q = beban merata akibat timbunan

I = factor pengaruh

Untuk menentukan faktor pengaruh akibat beban timbunan menggunakan grafik sebagai berikut (Gambar 1). Nilai ΔP pada titik tengah timbunan dihitung berdasarkan beban setengah timbunan. Oleh karena itu, untuk timbunan yang simetris, nilai ΔP harus dikalikan dengan faktor 2.

Penurunan Konsolidasi dan Waktu Konsolidasi Alamiah

Besar penurunan konsolidasi primer dapat dihitung dengan persamaan:

- a. Kondisi Konsolidasi Normal ($P_o \geq P_c$)

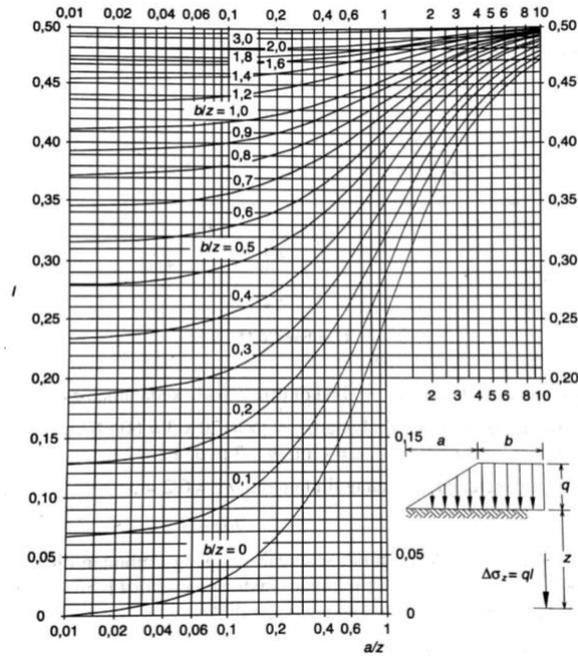
$$S = \frac{C_c}{1 + e_o} H \cdot \log \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right)$$

- b. Kondisi Konsolidasi Lebih

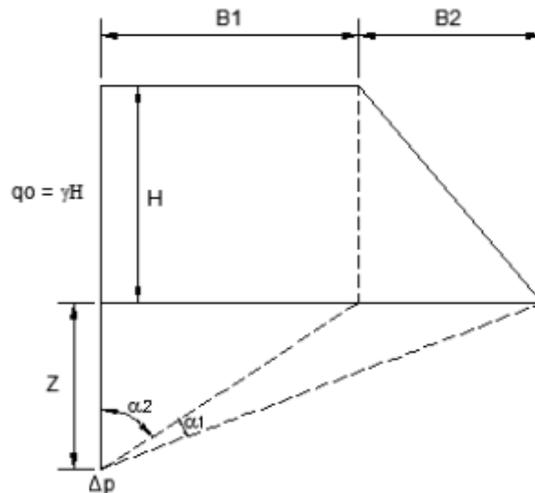
- 1) Konsolidasi Lebih I :

$$P_o + \Delta P < P_c$$

$$S = \frac{C_s}{1 + e_o} H \cdot \log \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right)$$



Gambar 1 Grafik Osterberg (1957)
(Sumber: US Navy, 1971)



Gambar 2. Pengaruh Timbunan Pada Titik Tinjauan di dalam Tanah pada Kedalaman (z)

2) Kondolidasi Lebih II :

$$P_o < P_c < P_o + \Delta P$$

S

$$= \frac{C_s}{1 + e_o} H \cdot \log\left(\frac{P_c}{P_o}\right) + \frac{C_c}{1 + e_o} H \cdot \log\left(\frac{P_o + \Delta P}{P_c}\right)$$

Lama waktu konsolidasi pada kondisi alamiah dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan:

S = Besarnya penurunan akibat konsolidasi

C_c = Indeks kompresi

C_s = Indeks muai
 C_v = Koefisien konsolidasi
 e_o = Angka pori mula-mula
 H = Tebal lapisan yang terkompresi
 P_o = Tekanan *overburden* tanah
 P_c = Tekanan prekonsolidasi
 ΔP = Tambahan tekanan dari beban luar
 T_v = Faktor waktu (bersesuaian dengan derajat konsolidasi)

D = Diameter silinder pengaruh PVD
 Ch = Koefisien konsolidasi untuk drainase horizontal (1,2 - 3 x C_v)
 F_n = Faktor jarak vertikal drain
 F_s = Faktor untuk tanah terganggu
 Fr = Faktor untuk ketahanan drainase vertikal

sedangkan

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

Keterangan:

d_w = diameter ekuivalen vertikal drain

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

atau

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

Derajat Konsolidasi

Derajat konsolidasi tanah (U) didefinisikan sebagai rasio antara penurunan tanah yang terjadi pada waktu tertentu dengan total penurunan tanah.

Untuk $0\% < U < 60\%$:

$$T_v = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U\%}{100}\right)^2$$

Untuk $U > 60\%$:

$$T_v = 1,781 - 0,933 \log(100 - U\%)$$

Metode Drainase Vertikal

Metode drainase vertikal umumnya diterapkan bersamaan dengan pembebanan secara bertahap atau menggunakan metode pembebanan. Terdapat beberapa jenis metode drainase vertikal, di antaranya adalah drainase pasir dan *prefabricated vertical drain* (PVD). Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah PVD.

Analisa Penurunan metode PVD dengan formula *Hansbo*

$$t = \left(\frac{D^2}{8c_h}\right) [F(n) + F_s + Fr] \ln\left(\frac{1}{1-U_h}\right)$$

Keterangan:

t = Waktu yg dibutuhkan untuk menerima rerata derajat konsolidasi pada

kedalaman z untuk horizontal drainase

U_h = Rerata derajat konsolidasi pada kedalaman z untuk horizontal drainase

Efek *Smear*

Dalam pemasangan drainase vertikal, diasumsikan bahwa sifat-sifat tanah di sekitarnya tidak mengalami perubahan. Namun pada kenyataannya, pemasangan drainase vertikal dapat mengganggu kondisi tanah di sekitarnya, tergantung pada tingkat sensitivitas tanah tersebut (Rowe, 1968). Gangguan ini dikenal dengan istilah *Smear* dan efek *Smear* dirumuskan sebagai berikut:

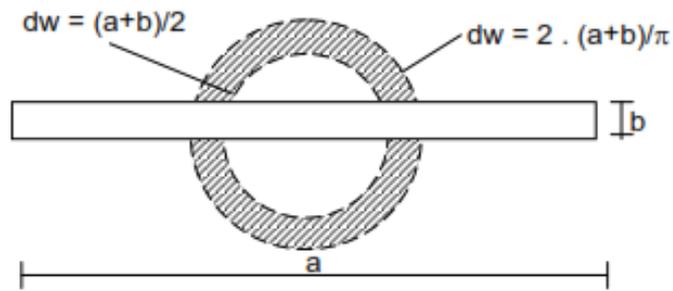
$$F_s = \left(\left(\frac{k_h}{k_s} \right) - 1 \right) \ln\left(\frac{d_s}{d_w}\right)$$

Keterangan:

k_h = Koefisien permeabilitas horizontal tanah asli

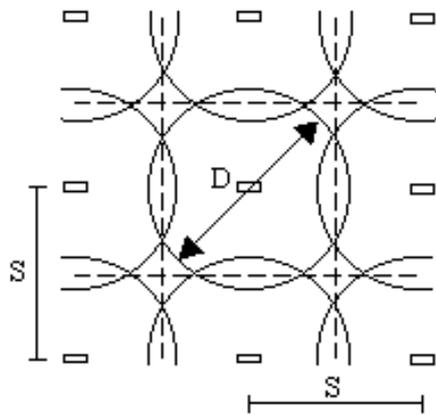
k_s = Koefisien permeabilitas horizontal tanah terganggu

d_s = Diameter ideal daerah pengaruh PVD (diameter zona *smear*)

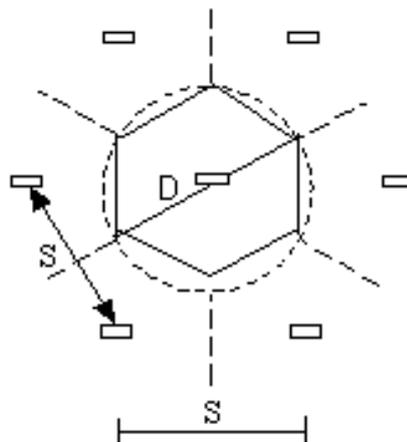


Gambar 3. Skema PVD

Pola Pemasangan Vertikal Drain



Gambar 4. Pola Bujursangkar



Gambar 5. Pola Segitiga Sama Sisi

PEMBAHASAN

Pembahasan mengenai penurunan dan waktu konsolidasi dilakukan berdasarkan data hasil uji tanah dari *Bore Hole* 1 yang telah

dilakukan di lapangan dan laboratorium. Titik ini dipilih karena kedalaman tanah lunaknya dianggap mewakili area kajian dengan kedalaman mencapai 5 meter. Analisis

penurunan dan waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dilakukan menggunakan teori Terzaghi.

$$S = \frac{C_c}{1 + e_o} H \log \frac{\Delta P + P_o}{P_o}$$

$$S = 1,31 \text{ m}$$

Analisis Besar Penurunan Tanah Alamiah

Data hasil pengujian tanah dari *Bore Hole* 1 adalah sebagai berikut:

Indeks Pemampatan $C_c = 0,83$

Tebal lapisan terkonsolidasi = 6 m

Tinggi timbunan *pre-loading* = 5 m

Berat jenis tanah asli = $16,52 \text{ kN/m}^3$

Berat jenis tanah timbunan = $14,71 \text{ kN/m}^3$

Void rasio sebelum pembebanan = 1,567

Tegangan efektif *overburden* (P_o) = $19,56 \text{ kN/m}^2$

Besar tegangan akibat timbunan (ΔP) = $35,304 \text{ kN/m}^2$

Koefisien konsolidasi (C_v) = $0,0027994 \text{ m}^2/\text{hari}$

Penurunan konsolidasi primer akibat beban timbunan dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

Waktu Konsolidasi Alamiah

Pada tanah yang tidak mengalami konsolidasi menggunakan PVD, aliran air yang terjadi hanya bergerak secara vertikal. Dalam hal ini, Hdr merupakan tinggi lapisan tanah yang terkonsolidasi. Oleh karena itu, waktu yang diperlukan untuk mencapai penurunan dengan derajat konsolidasi 90% diitung berdasarkan rumus berikut:

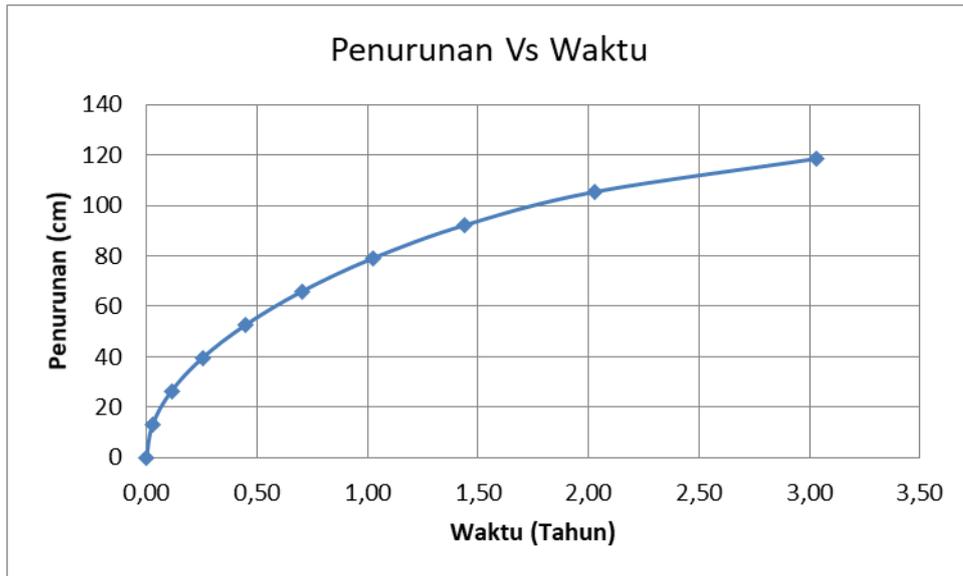
$$t = \frac{T_v \cdot H_{dr}^2}{C_v}$$

$$t = 3,03 \text{ tahun}$$

Berikut disajikan Tabel 1 yang menunjukkan nilai penurunan tanah untuk berbagai derajat konsolidasi. Hasil penurunan konsolidasi alami yang divisualisasikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 1. Waktu Konsolidasi Dan Derajat Konsolidasi

U _v %	T _v	C _v m ² /hari	H _{dr} m	t hari	t bulan	t tahun	S (cm)
0	0,000	0,027994	6	0,00	0,00	0	0
10	0,008	0,027994	6	10,10	0,34	0,03	13,15
20	0,031	0,027994	6	40,38	1,35	0,11	26,29
30	0,071	0,027994	6	90,86	3,03	0,25	39,44
40	0,126	0,027994	6	161,52	5,38	0,45	52,58
50	0,196	0,027994	6	252,38	8,41	0,70	65,73
60	0,286	0,027994	6	368,16	12,27	1,02	78,88
70	0,403	0,027994	6	518,06	17,27	1,44	92,02
80	0,567	0,027994	6	729,35	24,31	2,03	105,17
90	0,848	0,027994	6	1090,53	36,35	3,03	118,31



Gambar 6. Hasil Penurunan Konsolidasi

Perhitungan dengan menggunakan Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Metode perhitungan waktu penurunan tanah menggunakan PVD diperkenalkan oleh Hansbo pada tahun 1981. Tahapan perhitungan dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah berikut:

Perhitungan Nilai Koefisien Konsolidasi Horizontal (Ch)

$$Ch = (1,2 - 3) \cdot Cv$$

$$Ch = 24,522 \text{ m}^2/\text{tahun}$$

Perhitungan Derajat Konsolidasi Vertikal (Uv)

Sebelum menghitung derajat konsolidasi total, terlebih dahulu dilakukan perhitungan derajat konsolidasi vertikal yang dirumuskan sebagai berikut:

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

Pada perhitungan dengan waktu 10 hari atau setara dengan 0.0278 tahun, diperoleh

nilai derajat konsolidasi vertikal (Uv) sebesar 0.20.

Perhitungan Faktor Waktu Radial/Horizontal (Tr)

Untuk pemasangan PVD dengan jarak spasi 2m, diameter hidrolis (De) pada pola segitiga dihitung sebagai 1.05 kali spasi, sehingga diperoleh diameter hidrolis sebesar 2.1m. Sementara pada pola persegi, diameter hidrolis (De) dihitung sebagai 1.13 kali spasi, menghasilkan diameter hidrolis sebesar 2.26m. Jika digunakan PVD dengan lebar (a) sebesar 10cm dan ketebalan (b) sebesar 0.5cm, diameter PVD (dw) dihitung berdasarkan rumusan berikut:

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

Sehingga didapatkan dw sebesar 6.68cm.

Perhitungan Derajat Konsolidasi Radial/Horizontal (Ur)

Dengan memperhitungkan efek *Smear*, derajat konsolidasi radial atau horizontal (Ur) dapat dihitung menggunakan formula berikut:

$$U_r = 1 - \exp\left(\frac{-8Tr}{F}\right)$$

Sementara untuk menghitung waktu horizontal (Tr) menggunakan formula berikut:

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

Sehingga diperoleh derajat konsolidasi horizontal/radial (Ur) adalah 0.56.

Perhitungan Derajat Konsolidasi Total (U)

Berdasarkan hasil perhitungan derajat konsolidasi radial dan vertikal, derajat konsolidasi total (U) dapat ditentukan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$(1-U) = (1-U_v) \times (1-U_r)$$

$$U = 1 - (1 - 0,20) \times (1 - 0,56)$$

$$U = 0,650$$

Perhitungan Besar Konsolidasi (Sc) pada Waktu ke-n

Sebagai contoh perhitungan waktu konsolidasi 10 hari dapat dihitung dengan formula berikut:

$$Sc = U \times S_{total}$$

$$Sc = 0,85 \text{ m}$$

Resume hasil perhitungan untuk berbagai waktu sehingga mencapai derajat konsolidasi 90% dengan pola pemasangan PVD berbentuk persegi dan jarak spasi 2m disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Penurunan dengan Derajat Konsolidasi 90% untuk Pola Pemasangan PVD Persegi dengan Spasi 2m

t tahun	t hari	U _v	1 - U _v	Tr	U _r	1 - U _r	U %	Settlement m
0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000
0,027	10	0,199	0,801	0,132	0,224	0,776	0,378	-0,497
0,055	20	0,281	0,719	0,263	0,397	0,603	0,567	-0,745
0,082	30	0,345	0,655	0,395	0,532	0,468	0,693	-0,911
0,110	40	0,398	0,602	0,526	0,637	0,363	0,781	-1,027
0,137	50	0,445	0,555	0,658	0,718	0,282	0,843	-1,109
0,164	60	0,487	0,513	0,789	0,781	0,219	0,888	-1,167
0,192	70	0,525	0,475	0,921	0,830	0,170	0,919	-1,208

Tabel 3. Perhitungan Penurunan dengan Derajat Konsolidasi 90% untuk Pola Pemasangan PVD Persegi dengan Spasi 1m

t tahun	t hari	U _v	1 - U _v	Tr	U _r	1 - U _r	U %	Settlement m
0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000
0,027	10	0,199	0,801	0,526	0,637	0,363	0,709	-0,932
0,055	20	0,281	0,719	1,052	0,868	0,132	0,905	-1,190

Tabel 4. Perhitungan Penurunan dengan Derajat Konsolidasi 90% untuk Pola Pemasangan PVD Persegi dengan Spasi 1.5m

t tahun	t hari	Uv	1 - Uv	Tr	Ur	1 - Ur	U %	Settlement m
0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000
0,027	10	0,199	0,801	0,234	0,362	0,638	0,489	-0,643
0,055	20	0,281	0,719	0,468	0,593	0,407	0,708	-0,930
0,082	30	0,345	0,655	0,702	0,741	0,259	0,830	-1,091
0,110	40	0,398	0,602	0,935	0,835	0,165	0,900	-1,184

Tabel 5. Pehitungan Penurunan dengan Derajat Konsolidasi 90% untuk Pola Pemasangan PVD Segitiga dengan Spasi 1m

t tahun	t hari	Uv	1 - Uv	Tr	Ur	1 - Ur	U %	Settlement m
0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000
0,027	10	0,199	0,801	0,609	0,690	0,310	0,752	-0,989
0,055	20	0,281	0,719	1,219	0,904	0,096	0,931	-1,224

Tabel 6. Perhitungan Penurunan dengan Derajat Konsolidasi 90% untuk Pola Pemasangan PVD Segitiga dengan Spasi 1.5m

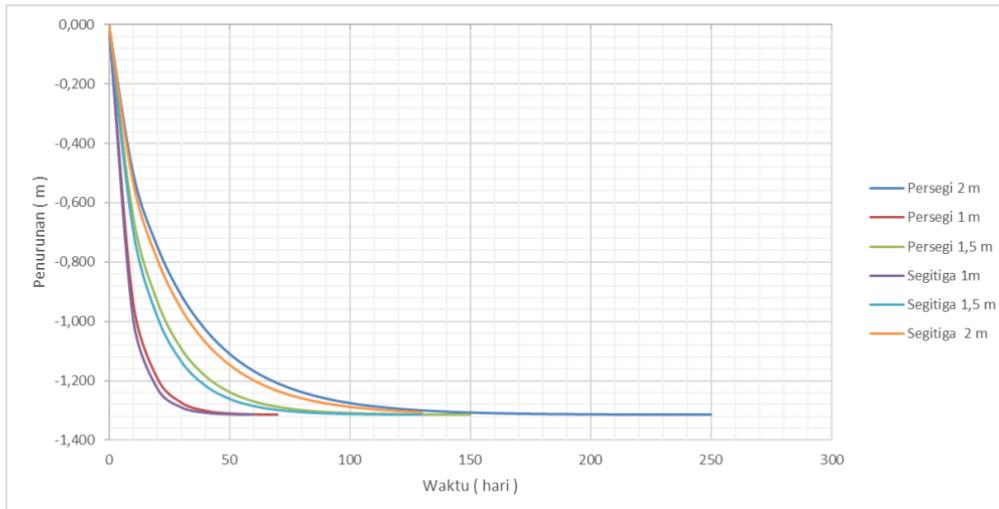
t tahun	t hari	Uv	1 - Uv	Tr	Ur	1 - Ur	U %	Settlement m
0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000
0,027	10	0,199	0,801	0,271	0,406	0,594	0,524	-0,689
0,055	20	0,281	0,719	0,542	0,647	0,353	0,747	-0,981
0,082	30	0,345	0,655	0,813	0,791	0,209	0,863	-1,134
0,110	40	0,398	0,602	1,083	0,876	0,124	0,925	-1,216

Tabel 7. Perhitungan Penurunan dengan Derajat Konsolidasi 90% untuk Pola Pemasangan PVD Segitiga dengan Spasi 2m

t tahun	t hari	Uv	1 - Uv	Tr	Ur	1 - Ur	U %	Settlement m
0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000
0,027	10	0,199	0,801	0,152	0,254	0,746	0,403	-0,529
0,055	20	0,281	0,719	0,305	0,444	0,556	0,600	-0,789
0,082	30	0,345	0,655	0,457	0,585	0,415	0,728	-0,957
0,110	40	0,398	0,602	0,609	0,690	0,310	0,814	-1,070
0,137	50	0,445	0,555	0,762	0,769	0,231	0,872	-1,146
0,164	60	0,487	0,513	0,914	0,828	0,172	0,912	-1,198

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa secara alami, waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% adalah 3.03 tahun. Namun dengan penggunaan PVD, waktu penurunan menjadi jauh lebih singkat,

dengan perbedaan waktu yang signifikan. Rincian total waktu penurunan untuk berbagai spasi dan pola pemasangan akan disajikan lebih detail pada Gambar 7.



Gambar 7 Grafik Penurunan Derajat Konsolidasi 90% dengan Pola Segitiga dan Persegi serta Spasi yang Berbeda

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan berdasarkan data penyelidikan tanah pada *Bore Hole* 1, penurunan tanah tanpa menggunakan PVD adalah sebesar 1.31m, dengan waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% sebesar 3.03 tahun.
2. Hasil perhitungan dengan penggunaan PVD menunjukkan waktu penurunan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% sebagai berikut:
 - a. Untuk pola segitiga dengan jarak spasi 1m, waktu penurunan yang dibutuhkan adalah 0.055 tahun.
 - b. Untuk pola persegi dengan jarak spasi 1.5m, waktu penurunan yang dibutuhkan adalah 0.110 tahun.
 - c. Untuk pola persegi dengan jarak spasi 2m, waktu penurunan yang dibutuhkan adalah 0.192 tahun.
 - d. Untuk pola segitiga dengan jarak spasi 1m, waktu penurunan yang dibutuhkan adalah 0.055 tahun.
 - e. Untuk pola segitiga dengan jarak spasi 1.5m, waktu penurunan yang dibutuhkan adalah 0.110 tahun.

- f. Untuk pola segitiga dengan jarak spasi 2m, waktu penurunan yang dibutuhkan adalah 0.164 tahun.

SARAN

Saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Pola pemasangan PVD sebaiknya disesuaikan dengan pelaksanaan konstruksi dilapangan sehingga apabila pelaksanaan konstruksi kondisi tanah dipastikan telah mencapai derajat konsolidasi.
2. Untuk mengontrol penurunan yang terjadi setelah pemasangan PVD dapat digunakan *Settlement Plat*.
3. Pola pemasangan PVD sebaiknya disesuaikan dengan biaya yang tersedia sehingga diperoleh efektifitas penggunaan biaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, 1993, "Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis, Jilid I", Penerbit: Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, 1992, "Mekanika Tanah 1-2", Penerbit: Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Koerner, "Designing With Geosynthetics 5th", Pearson Prentice Hall.

- Muis Abdul, 2019, “Perbaikan Tanah dengan Kombinasi Metode *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* pada Daerah Sekitar Jembatan Tabalong Kalimantan Selaan”, Prosiding Seminar Nasional “Inovasi dan Integrasi dalam Perkembangan Infrastruktur, Universitas Gunadarma, Jakarta.
- Natural Resources Conservation Service (NRCS)*, 2004, “*Vertical Drain Code No. 630*”.
- Pasaribu, H.,T dan Iskandar, R., 2012, “Tugas Akhir: Analisa Penurunan Pada Tanah Lunak Akibat Timbunan (Studi Kasus Runway Bandara Medan Baru)”, Sumatera Barat.
- Sosrodarsono, S., Nakazawa, K., 2015, “Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi”, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Surendro, Dr. Bambang, 2015, “Rekayasa Pondasi”, Graha Ilmu, Yogyakarta.