

**ANALISIS PENGARUH SPASI PADA PERCEPATAN KONSOLIDASI  
DENGAN MANGGUNAKAN METODE PREFABRICATED VERTICAL  
DRAIN PADA PERBAIKAN TANAH  
(Studi Kasus : Jalan Tol Terbanggi Besar – Kayu Agung, Palembang )**

Era Agita kabdiyono<sup>1</sup>, Rifaldi Adi Saputra<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Dian Nusantara Jakarta

Corresponding author

E-mail: [era.agita.k@undira.ac.id](mailto:era.agita.k@undira.ac.id)



Diterima : 10/02/2021  
Direvisi : 24/02/2021  
Dipublikasi : 10/03/2021

**Abstrak:** Wilayah Kayu Agung, Palembang merupakan wilayah dengan kondisi tanah rawa, dimana karakteristik tanahnya adalah tanah lunak, untuk itu dalam proses pembuatan jalan tol di area tersebut diperlukan proses pengerasan paksa atau proses konsolidasi tanah. Proses pengerasan paksa atau proses konsolidasi tanah adalah alternatif yang digunakan untuk percepatan dalam pengerjaan jalan tol Kayu Agung Palembang Betung (Kapal Betung). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis waktu terhadap besarnya penurunan konsolidasi pada beberapa variasi spasi vertical drain hingga didapatkan spasi yang optimum. Hasil yang diharapkan akan dalam proposal penelitian ini adalah peneliti dapat mengetahui spasi optimum yang dicapai pada penggunaan metode vertical drain. Penurunan alamiah yang terjadi dengan derajat konsolidasi 100% adalah 0,426 m Sedangkan untuk derajat konsolidasi 90%, besar penurunannya adalah 0,383 m. Lamanya waktu konsolidasi pada kondisi alamiah diperoleh selama  $t = 255160143.7$  detik atau  $t = 8.091075078$  tahun □ 9 tahun. Setelah menggunakan PVD, Jarak atau Spasi PVD dengan Waktu Penurunan dapat diketahui bahwa nilai penurunan akan lebih cepat jika jarak atau spasi pemasangan PVD semakin rapat. Pada penelitian ini diperoleh jarak spasi yang optimum adalah 0,75 m dengan waktu konsolidasi 90% diperoleh selama 0.221 bulan. Proses percobaan jarak spasi pemasangan PVD dicoba mulai dari 0,75 m sampai dengan 2,0 m.

**Kata Kunci:** Metode Vertical Drain, Spasi Optimum , Konsolidasi, Tanah Lunak

## PENDAHULUAN

Wilayah Kayu Agung, Palembang merupakan wilayah dengan kondisi tanah rawa, dimana karakteristik tanahnya adalah tanah lunak, untuk itu dalam proses pembuatan jalan tol di area tersebut diperlukan proses pengerasan paksa atau proses konsolidasi tanah. Proses pengerasan paksa atau proses konsolidasi tanah adalah alternatif yang digunakan untuk percepatan dalam pengerjaan jalan tol Kayu Agung Palembang Betung (Kapal Betung) .

Menurut Pratama, Devandra Putra, 2017 dalam penelitiannya menyebutkan bahwa 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. Salah satu kategori penurunan tanah adalah konsolidasi. Konsolidasi dapat dipercepat dengan berbagai metode sesuai dengan kebutuhan. Metode Prefabricated Vertical Drain adalah salah satu metode yang sangat populer untuk digunakan.

Menurut Edwin dan suhendra, 2019 konsolidasi adalah proses pemampatan tanah akibat adanya beban tetap dalam waktu tertentu yang menyebabkan tanah yang berada di bawah beban tersebut akan mengalami penurunan yang merata maupun tak merata yang akan mengakibatkan ketidakstabilan struktur yang akan berbahaya untuk struktur yang berada diatas tanah tersebut Tanah lempung lunak jenuh air menimbulkan banyak masalah dalam dunia konstruksi disebabkan oleh waktu konsolidasi yang lama dan kuat geser yang sangat kecil yang dapat menimbulkan kerusakan pada bangunan yang berada diatasnya, maka di perlukan perbaikan tanah untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan tanah lempung lunak jenuh air. Vacuum preloading adalah sebuah metode alternatif untuk perbaikan tanah lempung lunak jenuh air yang memiliki kadar air yang tinggi dan memiliki waktu konsolidasi yang sangat lama dengan cara percepatan proses konsolidasi.. Perhitungan teoritis untuk memperkirakan besarnya penurunan konsolidasi menggunakan metode konsolidasi satu dimensi dari Terzaghi didapatkan hasil penurunan sebesar 40,86 cm. Sedangkan untuk memperkirakan besar penurunan konsolidasi yang terjadi di lapangan menggunakan metode Asaoka yang menunjukkan penurunan sebesar 41,1 dengan derajat konsolidasi sebesar 99,72%. Perbandingan hasil perhitungan teoritis dengan hasil monitoring akan menunjukkan keberhasilan metode vacuum preloading sebagai metode alternatif percepatan konsolidasi pada tanah lempung.

Menurut Ningsih, 2018, dalam penelitiannya membahas perencanaan tinggi timbunan awal akibat settlement, perencanaan perbaikan tanah untuk mempercepat pemampatan dengan kombinasi sistem preloading dan PVD, serta membandingkan hasil prediksi perhitungan dengan hasil data lapangan/monitoring. Pada perencanaan metode perbaikan tanah dengan kombinasi sistem preloading dan PVD, tebal penimbunan untuk sistem preloading adalah 50 cm perminggu. PVD dipancang sedalam 25 m dengan pola pemasangan segitiga dan jarak antar PVD sebesar 1,3 m. Pada pemasangan PVD, waktu konsolidasi untuk mencapai derajat konsolidasi (U) 95% adalah 16 minggu. Timbunan awal untuk beban preloading setinggi 3,5 m yang mengakibatkan terjadinya penurunan primer sebesar 1,928 m. Beban bangunan yang direncanakan adalah 1 t/m<sup>2</sup> dan besar penurunan yang terjadi adalah 0,569 m.

Dari permasalahan diatas, dapat dikatakan bahwa tanah lunak memiliki daya dukung yang rendah dan seringkali menjadi kendala dalam pelaksanaan konstruksi, untuk itu diperlukan

adalah pemecahan masalah salah satunya yaitu dengan melakukan percepatan konsolidasi dengan menggunakan metode vertical drain dan menganalisa pengaruhnya terhadap spasi PVD itu sendiri.

### **Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah yang digunakan sebagai ruang lingkup penelitian adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan adalah data sekunder dari PT. XXX
2. Studi kasus penelitian adalah Jalan Tol Terbanggi Besar – Kayu Agung, Palembang
3. Perbaikan tanah menggunakan preloading dengan kombinasi PVD .
4. Menganalisis waktu terhadap besarnya penurunan konsolidasi pada beberapa variasi spasi vertical drain.

## **KAJIAN PUSTAKA**

### **Karakteristik Tanah Lunak**

Menurut Braja M Das. 1988, tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) antara satu sama lain dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut.

Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari tanah yang sebagian besar terdiri dari butir-butir yang sangat kecil seperti lempung dan lanau. Lapisan tanah lunak mempunyai sifat gaya geser yang rendah, kemampuan yang tinggi, koefisien permeabilitas yang rendah, dan mempunyai daya dukung yang rendah (Heldys Nurul Siska, Yuki Achmad Yakin, 2016).

Lapisan tanah lunak adalah lempung (clay) atau lanau (silt) yang mempunyai harga penetrasi standar (SPT) N yang lebih kecil dari 4 atau tanah organik seperti gambut yang mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi. Tanah lempung merupakan tanah kohesif yang memiliki nilai kadar air berkisar antara 30% - 50% pada kondisi jenuh air, angka pori berkisar antara 0,9 – 1,4 (Braja M. Das), berat volume berkisar antara 0,9 - 1,25 t/m<sup>3</sup> (Braja M. Das, 1988), dan specific gravity rata-rata berkisar antara 2,7 – 2,9.

### **Konsolidasi tanah**

Menurut Braja M Das. 1995((6)), 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. Penurunan pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu :

- a. Penurunan konsolidasi (consolidation settlement) yang merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah
- b. Penurunan segera (immediate settlement) yang merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air.

Besar penurunan konsolidasi primer dapat dihitung dengan persamaan (Terzaghi) sebagai berikut((7)) :

- Kondisi Normally Consolidated ( $P_o \geq P_c$ )

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

• Kondisi Overconsolidated

a. Overconsolidated I :  $P_o + \Delta P < P_c$

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

b. Overconsolidated III :  $P_o < P_c < P_o + \Delta P$

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

Lamanya waktu konsolidasi pada kondisi alamiah dapat dihitung dengan persamaan berikut :

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

dimana :

S : besarnya penurunan akibat konsolidasi

$C_c$  : indeks kompresibilitas tanah

$C_s$  : 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 prakonsolidasi

$\Delta P$  : tambahan tekanan dari beban luar

$T_v$  : faktor waktu (bersesuaian dengan derajat konsolidasi)

Analisis penurunan adalah dengan menggunakan data sondir juga bisa dilakukan dengan menggunakan rumus berikut.

$$S = m_v \cdot \Delta P \cdot H$$

S : besarnya penurunan akibat konsolidasi

H : tebal lapisan yang terkompresi

$\Delta P$  : tambahan tekanan dari beban luar

$M_v$  : koefisien volume terkompresi

Nilai  $m_v$  bisa didapatkan sebagai berikut.

$$M = \frac{1}{m_v} = \alpha_m \cdot q_c$$

dimana:

M : constrained modulus

$q_c$  : tekanan konus, dapat ditentukan berdasarkan korelasi:

$q_c = 2 \cdot N \cdot SPT$

$\alpha_m$  : koefisien

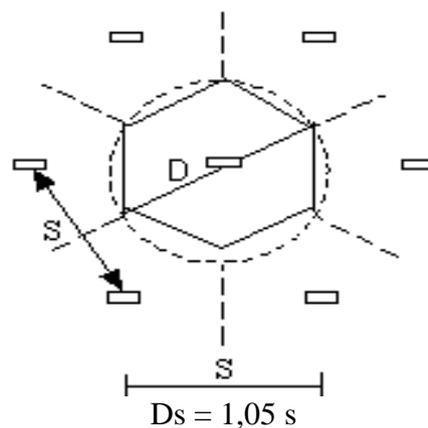
### **Vertical Drain**

Soil improvement dengan menggunakan pvd memiliki prinsip dasar yaitu mempercepat penurunan konsolidasi agar terjadi di awal dengan menambahkan timbunan preload

pengganti beban rencana. Anissa Maria Hidayati (2008)(8) .Preloading atau pemberian beban awal dilakukan dengan cara memberikan beban yaitu berupa timbunan sehingga menyebabkan tanah lempung akan termampatkan sebelum konstruksi didirikan. Prefabricated vertical drain adalah sistem drainase buatan yang dipasang vertikal di dalam lapisan tanah lunak. Wimpie, dkk (2016) (9) *Prefabricated vertical drain* (PVD) adalah sistem drainase buatan yang dipasang vertikal di dalam lapisan tanah lunak.

## METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah mengkomparasi nilai waktu penurunan konsolidasi terhadap jarak pemasangan (spasi) pola segitiga PVD dimana akan dicoba jarak antar spasi dari as ke as dengan jarak 75 cm, 100 cm, 125 cm, 150 cm, 175 cm dan 200 cm.



**Gambar 1 Pola Segitiga**

Pada tanah yang tidak dikonsolidasi dengan menggunakan PVD, pengaliran yang terjadi hanyalah pada arah vertikal saja. Perhitungan lamanya waktu konsolidasi tanpa adanya PVD dapat menggunakan Persamaan :

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

Sedangkan pada tanah yang dikonsolidasikan dengan menggunakan PVD, akan terjadi pengaliran pada arah radial. Perhitungan lamanya waktu konsolidasi dengan menggunakan PVD dapat hitung menggunakan Persamaan :

$$t = \frac{T_r 4R^2}{C_h}$$

Dimana  $C_v$  dan  $C_h$  adalah berturut-turut koefisien konsolidasi ke arah vertikal dan horizontal dalam  $\text{cm}^2/\text{dtk}$ .  $H$  adalah tebal lapisan tanah yang dikonsolidasikan dalam cm dan  $t$  dalam detik merupakan waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi  $U$  (%) Hamida, dkk (2014)(10)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk satu sel penanganan, luas efektif yang bisa ditangani dengan metode *vertical drain* adalah  $\pm 4000 \text{ m}^2$ . Adapun cell penanganannya adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Cell Penanganan

Cell	STA	Panjang Penanganan (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Lebar Platform (m)	Ketinggian Timbunan Rencana (m)
16	112+050 - 112+100	90	3820	39,905 - 44,457	6,00

Sumber : PT. XXX

### Perhitungan Besar Dan Waktu Penurunan

Perhitungan penurunan dengan menggunakan beban yang berupa beban rencana (timbunan, beban kendaraan, beban lapis perkerasan) yang dikalikan dengan *load ratio*.

Berikut adalah contoh untuk perhitungan besar dan waktu penurunan. Penurunan yang terjadi

Pada kondisi Normal Consolidated. Contoh yang diambil adalah pada cell 16 yaitu pada STA 112+050 – 112+100 dengan batas qc 20 dan load ratio 1,2. Adapun data-data pada cell tersebut adalah sebagai berikut.

Timbunan Rencana : 6,00 m  
 $\gamma_{\text{timbunan}}$  : 17 kN/m<sup>3</sup>  
 Lapisan tanah :

Tabel 2 Lapisan Tanah STA. 112+050 – 112+100

Kedalaman	H (m)	Qc (kg/cm <sup>2</sup> )	$\alpha$	Mv
0,0 – 11,2	11,2	10,278	4,055	0,000329

Nilai qc merupakan rata-rata nilai qc yang didapat dari data sondir untuk kedalaman tersebut. Sedangkan nilai  $\alpha$  didapat dari korelasi nilai qc sesuai dengan tabel 2.1. Lebih tepatnya pada jenis tanah *Silts of low plasticity*. Dimana dengan korelasi tersebut, rumus untuk mendapatkan nilai  $\alpha$  adalah sebagai berikut.

$$\alpha = \left( \frac{q_c}{20} \cdot 4 \right) + 2$$

$$\alpha = \left( \frac{10,278}{20} \cdot 4 \right) + 2$$

$$\alpha = 4,055$$

Berdasarkan data diperoleh:

Beban Rencana (beban kendaraan diatas konstruksi) (Kpa) : 20 KN/m<sup>2</sup>  
 Tebal lapisan perkerasan (m) : 0,56  
 $\gamma$  perkerasan (KN/m<sup>3</sup>) : 19 KN/m<sup>3</sup>

Beban rencana : 20 + (0,56 · 19)

Beban rencana : 30,64 KN/m<sup>2</sup>

Maka,

$$\Delta P = (6,17 + 30,64) \cdot 1,2 = 159,168 \text{ kN/m}^2$$

Jadi penurunan yang terjadi pada tanah tersebut adalah sebagai berikut.

$$S = m_v \cdot \Delta P \cdot H$$

$$m_v = \frac{1}{\alpha_m \cdot q_c}$$

$$m_v = \frac{1}{4,055 \cdot 10,278 \cdot 100}$$

$$m_v = 0,000239$$

$$S = m_v \cdot \Delta P \cdot H$$

$$S = 0,000239 \cdot 159,168 \cdot (11,2 - 0)$$

$$S = 0,426 \text{ m}$$

$$S = 426 \text{ mm}$$

Maka penurunan total yang terjadi dengan derajat konsolidasi 100% adalah **0,426 m**. Sedangkan untuk derajat konsolidasi **90%**, besar penurunannya adalah **0,383 m**

### Waktu Penurunan Alamiah

Casagrande dan Taylor mengusulkan hubungan antara U dan Tv

U < 60% maka  $T_v = (\pi/4)U^2$

U > 60% maka  $T_v = -0,933 \log(1-U) - 0,085$  atau

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

**Tabel 3 Hubungan antara U dan Tv**

U	Tv
0	
5	0.00196
10	0.00785
15	0.01767
20	0.03142
25	0.04909
30	0.07069
35	0.09621
40	0.12566
45	0.15904
50	0.19635
55	0.23758
60	0.28274
65	0.34038
70	0.40285
75	0.47672
80	0.56714
85	0.68371
<b>90</b>	<b>0.84800</b>

Maka, Lamanya waktu konsolidasi pada kondisi alamiah dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$T_v (90\%) : 0.84800$$

$$C_v : \frac{k}{m_v \cdot \gamma_w}$$

Dari tabel 2.2 diperoleh  $k : 10^{-9} - 10^{-6}$  (jenis tanah dilapangan > 90% lempung). Diambil  $k$  sebesar  $10^{-7}$  cm/s atau  $10^{-9}$  m/s

$$C_v : \frac{k}{m_v \cdot \gamma_w}$$

$$C_v : \frac{10^{-9}}{0,000239 \cdot 10}$$

$$C_v : 4.16888E-07$$

$$H \text{ (Kedalaman)} : 11,2 \text{ m}$$

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

$$t = \frac{0,84800 \cdot 11,2^2}{4.16888E - 07}$$

$$t = 255160143.7 \text{ detik}$$

$$t = 8.091075078 \text{ tahun}$$

$$\approx 9 \text{ tahun}$$

### Waktu Penurunan Konsolidasi Dengan *Vertical Drain*

Waktu penurunan konsolidasi dengan menggunakan *vertical drain* dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$t = \frac{D^2}{8Ch} (\ln(D/dw - 3/4)) \ln \frac{1}{1 - U_h}$$

Material *vertical drain* yang digunakan : AD 200, sehingga

$$a \text{ (lebar)} : 0.1$$

$$b \text{ (tebal)} : 0.003$$

$$dw \text{ (luas)} : 0.0515$$

Pola pemasangan segitiga, sehingga nilai  $D : 1.05 \times S$

$$Ch = 2 \times C_v$$

$$= 2 \times 4.16888E-07$$

$$= 8.34.E-07$$

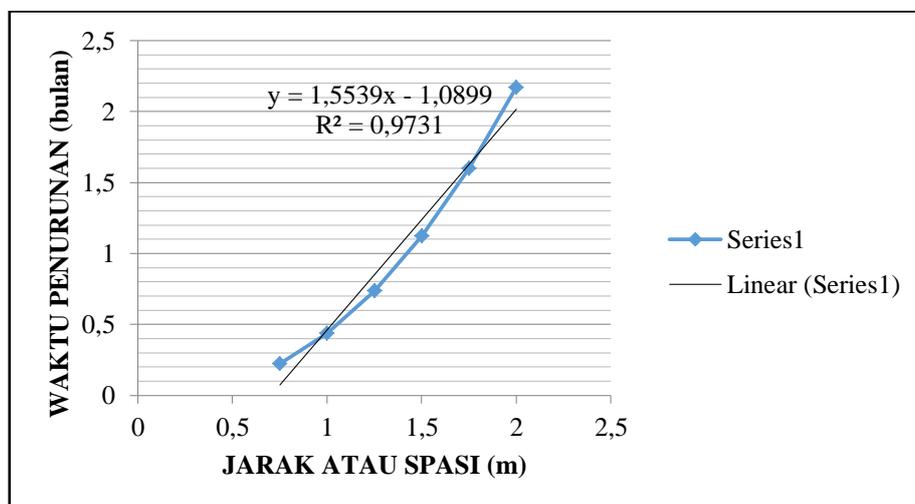
Keterangan :

Ch : koefisien konsolidasi pada arah horisontal

Nilai Ch diambil 2 x nilai Cv, diambil dari sumber Buku Geoteknik

Tabel 4 Nilai Waktu Konsolidasi dengan *Vertical Drain*

U (derajat konsolidasi) %	Jarak (m)	0.75
	D	0.7875
	t	
	detik	bulan
0		
5	1.28.E+04	0.005
10	2.62.E+04	0.010
15	4.04.E+04	0.016
20	5.55.E+04	0.021
25	7.16.E+04	0.028
30	8.88.E+04	0.034
35	1.07.E+05	0.041
40	1.27.E+05	0.049
45	1.49.E+05	0.057
50	1.73.E+05	0.067
55	1.99.E+05	0.077
60	2.28.E+05	0.088
65	2.61.E+05	0.101
70	3.00.E+05	0.116
75	3.45.E+05	0.133
80	4.01.E+05	0.155
85	4.72.E+05	0.182
90	5.73.E+05	0.221
95	7.46.E+05	0.288



Gambar 2 Grafik Jarak atau Spasi *PVD* dengan Waktu Penurunan

Berdasarkan Gambar 4.1 Grafik Jarak atau Spasi *PVD* dengan Waktu Penurunan dapat diketahui bahwa nilai penurunan akan lebih cepat jika jarak atau spasi pemasangan *PVD* semakin rapat. Pada penelitian ini diperoleh jarak spasi yang optimum adalah 0,75 m dengan waktu konsolidasi 90% diperoleh selama 0.221 bulan. Proses percobaan jarak spasi pemasangan *PVD* dicoba mulai dari 0,75 m sampai dengan 2,0 m.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan perhitungan analisis waktu terhadap besarnya penurunan konsolidasi pada beberapa variasi spasi *vertical drain*, maka kesimpulannya adalah sebagai berikut:

1. Penurunan alamiah yang terjadi dengan derajat konsolidasi 100% adalah 0,426 m Sedangkan untuk derajat konsolidasi 90%, besar penurunannya adalah 0,383 m
2. Lamanya waktu konsolidasi pada kondisi alamiah diperoleh selama  $t = 255160143.7$  detik atau  $t = 8.091075078$  tahun  $\approx 9$  tahun
3. Setelah menggunakan *PVD*, Jarak atau Spasi *PVD* dengan Waktu Penurunan dapat diketahui bahwa nilai penurunan akan lebih cepat jika jarak atau spasi pemasangan *PVD* semakin rapat. Pada penelitian ini diperoleh jarak spasi yang optimum adalah 0,75 m dengan waktu konsolidasi 90% diperoleh selama 0.221 bulan. Proses percobaan jarak spasi pemasangan *PVD* dicoba mulai dari 0,75 m sampai dengan 2,0 m.

### Saran

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh saran antara lain sebagai berikut :

1. Penelitian yang dilakukan masih terbatas pada satu jenis tipe *PVD* sehingga belum diperoleh hasil grafik yang paling optimum.
2. Peneliti belum menemukan rujukan terkait batasan minimum dan maksimum yang di anjurkan untuk dilakukan analisa, sehingga pada grafik yang diperoleh masih sepanjang jarak diperoleh maka masih akan menentukan percepatan konsolidasi.

---

**DAFTAR RUJUKAN**

- Pratama DP. Analisa percepatan konsolidasi dengan metode PVD pada konstruksi reklamasi pelabuhan Belawan dengan program Geostudio 2012. 2017;
- Edwin H, Suhendra A. Analisis Metode Vacuum Preloading Untuk Mempercepat Konsolidasi Pada Tanah Lempung Lunak Jenuh Air. JMTS J Mitra Tek Sipil. 2019;2(4):87–94.
- Ningsih AC. Perencanaan perbaikan tanah lunak menggunakan metode preloading dan prefabricated vertical drain (PVD). 2018;
- Das M. Braja. 1988. Mekanika Tanah Jilid 1. Noor Endah & Indra surya B. Mochtar Surabaya.
- Siska HN, Yakin YA. Karakterisasi Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Lunak di Gedebage (Hal. 44-55). RekaRacana J Tek Sipil. 2016;2(4):44.
- Das BM, Noor E, Mochtar IB. Mekanika Tanah Jilid 2. Erlangga Jakarta. 1995;
- Terzaghi K, Peck R. Soil Mechanics in Engineering Practice, terjemahan Krisna, B. dan Witjaksono, B. Jakarta: Penerbit Erlangga. 1987;
- Hidayati AM, Ardana MDW. Kombinasi Preloading Dan Penggunaan Pre-Fabricated Vertical Drains Untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung Lunak (Studi Kasus Tanah Lempung Suwung Kangin). J Ilm Tek Sipil. 2008;
- Aspara WAN, Fitriani EN. Pengaruh Jarak Dan Pola Prefabricated Vertical Drain (Pvd) Pada Perbaikan Tanah Lempung Lunak= Effect Of Distance And Pattern Of Prefabricated Vertical Drain For Improvement Of Soft Clay Soil. Maj Ilm Pengkaj Ind. 2016;10(1):41–50.
- Hamida H, Satibi S, Muhardi M. Pengaruh Spasi Pada Performa Prefabricated Vertical Drain (PVD) Dalam Perbaikan Tanah Lunak. Riau University; 2014.