

## **PENGARUH SPASI PADA PERFORMA *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN (PVD)* DALAM PERBAIKAN TANAH LUNAK**

Hayatul Hamida

Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Riau

Email: [hayatul.hamida@gmail.com](mailto:hayatul.hamida@gmail.com)

Syawal Satibi

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Riau

Email: [Sstibi@yahoo.com](mailto:Sstibi@yahoo.com)

Muhardi

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Riau

Email: [muhardi@unri.ac.id](mailto:muhardi@unri.ac.id)

### **ABSTRACT**

Soil condition heaps of times be a problem in a construction work, it is cause the condition soft soil layer have low permeability. Soft ground improvement with vertical drain is complex analysis for consolidation, got in on space of prefabricated vertical drain (PVD). Space is influential at times of settlement. If space too small then it's not economical, because it will more point to installation PVD. So, did analysis comparison Chai et al method and average method. This comparison between the two method give the result is not to be different, so installation PVD should be with space 1,5 m. it's from the result with soil data of PLTU Riau.

Keywords: Ground Improvement, *penetrated vertical drain*, degree of consolidation ( $U$ )

### **PENDAHULUAN**

Kondisi tanah kerap kali menjadi kendala dalam sebuah pekerjaan konstruksi bangunan, hal ini disebabkan oleh kondisi lapisan tanah yang lunak dan memiliki permeabilitas rendah sehingga tidak dapat langsung dilakukan pekerjaan konstruksi di atasnya. Dengan demikian tanah mengalami deformasi yang signifikan dalam waktu yang lama. Oleh sebab itu untuk memperbaiki kondisi tanah ini perlu dilakukan perbaikan tanah.

*Vertical drain* yaitu sistem drainase buatan yang dipasang vertikal di dalam lapisan tanah lunak (Hidayati

et al. 2008). Metode ini bertujuan untuk mempercepat terjadinya penurunan konsolidasi, sehingga di atas tanah tersebut dapat segera dilakukan pekerjaan konstruksi.

Metode *vertical drain* pada awalnya dilakukan dengan metode *sand drain*. Akan tetapi seiring dengan kemajuan teknologi, *prefabricated vertical drain* (PVD) sudah mulai menggantikan fungsi *sand drain* sebagai sistem drainase buatan. Pada tahun 1925, D.J Moran menyarankan menggunakan drainase pasir untuk stabilitas tanah. Kemudian tahun 1926 di Amerika, *vertical drain* untuk percepatan konsolidasi telah digunakan

pada pembangunan timbunan jalan. Beberapa tahun kemudian, *sand drain* juga digunakan di California, pada saat itu *vertical drain* berupa kolom-kolom pasir yang disebut *sand drain*. Tahun 1930-an, Kjellman dari Swedia mengembangkan *prefabricated vertical drain* (PVD) yang terbuat dari bahan geosintetik, dan sejak itu banyak digunakan dalam proyek-proyek di Eropa dan Jepang dalam tahun 1940-an. (Christady. 2008)

Sementara di Indonesia, aplikasi *prefabricated vertical drain* diperkenalkan oleh Nicholls, 1981 (Bergado. 1996). Sedangkan di Provinsi Riau khususnya Pekanbaru, juga telah dilakukan pekerjaan *vertical drain*, salah satunya proyek PLTU Riau 2 x 110 MW Tenayan Raya pada tahun 2011.

Dewasa ini penggunaan *vertical drain* semakin banyak diminati, karena metode ini memberikan keuntungan dengan mempercepat waktu penurunan dan proses konsolidasi tanah secara signifikan dari waktu tahunan menjadi hanya hitungan bulan saja. Akan tetapi waktu penurunan dan proses konsolidasi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu pengaruh spasi *vertical drain* itu sendiri.

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti yaitu: bagaimana pengaruh spasi *vertical drain* terhadap derajat konsolidasi ( $U$ ), kecepatan dan besarnya penurunan tanah.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk menganalisis waktu terhadap besarnya penurunan konsolidasi berdasarkan studi kasus di proyek

PLTU Riau 2 x 110 MW Tenayan Raya.

2. Untuk menganalisis derajat konsolidasi pada beberapa variasi spasi *vertical drain*, dengan membandingkan metode Chai et al dan metode *Average*.
3. Mengevaluasi keterbatasan hasil hitungan waktu penurunan dan derajat konsolidasi dengan metode analisis.

### Konsolidasi tanah

Konsolidasi merupakan proses terdispasinya tegangan air pori berlebih. Akibatnya penurunan yang terjadi disertai dengan perubahan volume tanah. Air akan terperas dari tanah dalam waktu yang panjang dikarenakan kecilnya permeabilitas pada tanah lunak dan lempung jenuh sehingga menyebabkan proses penurunan tanah dalam waktu yang lama.

Persamaan dasar konsolidasi terbentuk dari empat persamaan dasar yaitu terdiri dari, Persamaan Darcy, Persamaan Equilibrium, Persamaan Material Law dan Persamaan *Continuity*. Sehingga terbentuk persamaan berikut:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

Untuk perkiraan waktu konsolidasi di lapangan berdasarkan teori konsolidasi Terzaghi (1925) didapat persamaan:

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

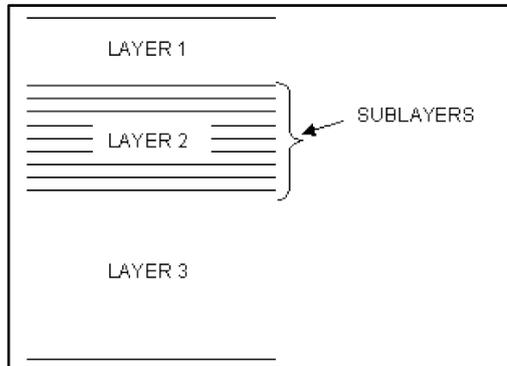
dimana,

$t$  = waktu konsolidasi alami

$T_v$  = faktor waktu, tergantung dari derajat konsolidasi

$H$  = panjang maksimum lintasan drainase

$C_v$  = koefisien konsolidasi



Gambar 1 Pembagian Lapisan Tanah pada Metode *Sub-layer*

Sumber: Budi, G. S., Susanto, H., dan Condro, S. R. (2003)

### Perhitungan Penurunan Konsolidasi

Besarnya penurunan konsolidasi untuk lempung *normally consolidated* dapat dihitung:

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{P_1'}{P_0}$$

dimana,

$P_1' = P_0 + \Delta P$

$C_c$  = Indeks pemampatan

$H$  = Tebal lapisan tanah

$e_0$  = Angka pori awal

$\Delta p$  = Tambahan tegangan akibat beban pondasi

$P_0$  = Tekanan *overburden* efektif mula-mula sebelum dibeban

Untuk ketelitian dalam perhitungan penurunan maka perhitungan penurunan konsolidasi ini dihitung dengan metode *sub-layer*.

Metode *Sub-layer* tanah diasumsikan terdiri dari beberapa lapisan yang tipis (**Gambar 1**). Perhitungan penurunan masing-masing lapisan pada metode *Sub-layer*, akibat penambahan tegangan (yang sesuai dengan bentuk distribusi  $\Delta p$ ), dilakukan

menggunakan perumusan yang sama dengan metode *One-point*. Secara matematis, perumusan umum penurunan pada metode *Sub-layer* dapat dilihat sebagai berikut:

$$\delta_c = \frac{C_c}{1 + e_0} \sum_{i=1}^n H_i \log \left( \frac{P_0' + \Delta P}{P_0'} \right)$$

### Vertical drain

Adanya *vertical drain* waktu konsolidasi menjadi lebih cepat, karena *vertical drain* memperpendek panjang drainase yang ditempuh air pori menuju lapisan porous, yaitu air pori terutama akan mengalir ke arah horizontal untuk menuju *vertical drain* selain ke arah vertikal. Dalam suatu koordinat silinder tiga dimensi, bentuk persamaan konsolidasi dengan perbedaan sifat tanah dalam arah horizontal dan vertikal sekaligus, adalah:

$$\frac{\delta u}{\delta t} = C_h \left( \frac{\delta^2 u}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta u}{\delta r} \right) + C_v \frac{\delta^2 u}{\delta z^2}$$

dimana:

$u$  = kelebihan tekanan air pori

$t$  = waktu

$r$  = koordinat silinder radial

$z$  = koordinat silinder aksial

$C_h$  = koefisien konsolidasi dengan arah radial

$C_v$  = koefisien konsolidasi dengan arah vertikal

Persamaan derajat konsolidasi ( $U$ ) pada tanah yang distabilisasi dengan menggunakan *vertical drain* menurut Carrillo (1942):

$$U_{vh} = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h)$$

dimana:

$U_{vh}$  = Derajat konsolidasi rata-rata

$U_v$  = Derajat konsolidasi rata-rata akibat drainase arah vertikal

$U_h$  = Derajat konsolidasi rata-rata akibat drainase arah horizontal/radial

Derajat konsolidasi arah vertikal ( $U_v$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Sivaram dan Swamee. 1977):

$$U_v = \frac{(4 T_v / \pi)^{0.5}}{(1 + (4 T_v / \pi)^{2.8})^{0.179}}$$

Kemudian, derajat konsolidasi arah radial dapat ditaksir dengan solusi Hansbo (1981):

$$U_h = 1 - \exp\left(\frac{-8T_h}{F}\right)$$

$$F = F_n + F_s$$

dengan,

$$F_n = \ln(n) - 0.75$$

$$F_s = \left(\frac{k_h}{k_s} - 1\right) \ln \frac{d_{smear}}{d_m}$$

Dengan  $T_h$  merupakan faktor waktu arah radial, dapat dihitung dengan:

$$t = \frac{c_h T_h}{D^2}$$

dimana:

$F_n$  = faktor pengaruh jarak *vertical drain*

$F_s$  = faktor pengaruh gangguan tanah

$d_m$  = diameter mandrel

$d_{smear}$  = diameter *smear zone*

$k_h$  = permeabilitas arah horizontal/radial

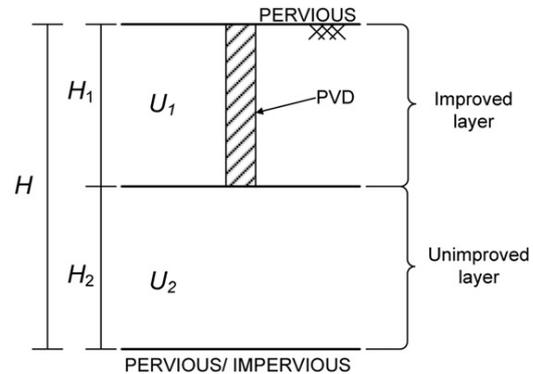
$k_s$  = permeabilitas *smear zone*

$t_c$  = waktu konsolidasi yang dipengaruhi oleh *drainase* arah radial

$T_h$  = faktor waktu untuk *drainase* arah radial (horizontal)

$D$  = diameter zona pengaruh satu *drain*

$C_h$  = koefisien konsolidasi dengan *drainase* arah radial



Gambar 2 Ilustrasi asumsi kondisi batas saluran

Sumber: Ong et al. 2012

### Metode Chai et al

Menurut Chai et al (2008), pemasangan *vertical drain* dapat dikurangi sebesar  $H_c$  dengan persamaan untuk *two ways* drainase (Gambar 1):

$$H_c = \frac{1}{\sqrt{\frac{64}{H^2} + \frac{2.5}{F \cdot D^2} \frac{c_h}{c_v}}}$$

$H_c$  merupakan pengurangan optimum penetrasi *vertical drain*.

### Metode Average

Ong et al. (2012) menghitung nilai derajat konsolidasi rata-rata lapisan yang ada PVD dan yang tidak ada PVD dengan:

$$U_{av} = \frac{U_1 \cdot H_1 + U_2 \cdot U_2}{H_1 + H_2}$$

dimana:

$U_{av}$  = Derajat konsolidasi rata-rata

$U_1$  = Derajat konsolidasi untuk *improved layer* (**Gambar 2**)

$U_2$  = Derajat konsolidasi untuk *unimproved layer*

Derajat konsolidasi rata-rata bisa untuk dasar menentukan *settlement*. Dari pengukuran *settlement* dan *settlement* total prediksi, derajat konsolidasi dapat diperkirakan berdasarkan persamaan:

$$U_{av} = \frac{S_t}{S_\alpha}$$

$S_t$  = *Settlement* pengukuran terhadap waktu

$S_\alpha$  = *Settlement* total prediksi

## METODOLOGI PENELITIAN

Tugas akhir ini dilakukan dengan basis studi kasus, dimana data-data yang akan dikelola diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan maupun di laboratorium dari tanah yang ada di PLTU Riau. Data-data ini diperoleh dari kontaktor pelaksana proyek tersebut. Dikarenakan terdapat beberapa parameter tanah yang tidak ada, maka dilakukan observasi data lapangan terlebih dahulu. Kemudian juga dilakukan korelasi terhadap parameter-parameter tanah yang ada.

Setelah mendapatkan parameter-parameter yang diperlukan, maka dilakukan analisis pengaruh spasi *vertical drain*.

## ANALISIS HASIL PENELITIAN

Perhitungan penurunan dilakukan dengan memperhitungkan penurunan elastis tanah, sehingga:

$$\text{Penurunan total} = \text{penurunan elastis} + \text{penurunan konsolidasi} . .$$

Perhitungan penurunan konsolidasi pada penelitian ini menggunakan

metode *sub-layer/multi-layer* yaitu membagi lapisan tanah menjadi beberapa lapisan yang tipis. Menurut Mc Phail et al (2000), metode *Sub-layer/Multi-layer* memberikan hasil yang lebih akurat dibanding dengan metode *One-point*, dan semakin banyak jumlah lapisan yang dipakai, semakin akurat hasil yang didapat (Budi et al, 2003).

### Hasil Perbandingan Metode Chai et al dan metode *Average*

Hasil perhitungan nilai  $H_c$  berdasarkan Chai et al (2008) ditunjukkan pada **Tabel 1**. Berdasarkan tabel tersebut besar pengurangan optimum instalasi PVD menurut Chai et al (2008) sekitar  $\pm 10\%$  dari tebal keseluruhan tanah lunak ( $H$ ) dengan  $H = 12,37$  m (nilai ketebalan  $H$  ini sudah dipengaruhi oleh penurunan elastis).

Berdasarkan **Gambar 3** dapat dilihat bahwa perbandingan besar derajat konsolidasi ( $U$ ) antara metode Chai dan *Average* tidak memberikan hasil yang jauh berbeda.

**Gambar 4** menunjukkan perbedaan pada spasi = 1 m pada waktu 61 hari, dengan kata lain perbedaan spasi mempengaruhi besarnya penurunan tanah. Semakin kecil spasi dengan bertambahnya waktu perbedaan penurunan tanah menjadi semakin signifikan.

Tabel 1 Hasil perhitungan nilai  $H_c$

$C_v$ <i>m<sup>2</sup>/days</i>	$C_h=1C_v$ <i>m<sup>2</sup>/days</i>	<i>Spasi</i> <i>m</i>	$D$	$ds/dm$	$kh/k_s$	$F_s$	$n=$ $D/dw$	$F_n$	$H_c$	
									<i>one way*</i> <i>m</i>	<i>two ways**</i> <i>m</i>
0.001844	0.001844	1.00	1.05	4.00	15.00	19.408	20.231	2.257	2.765	1.382
0.001844	0.001844	1.25	1.31	4.00	15.00	19.408	25.289	2.480	3.289	1.436
0.001844	0.001844	1.50	1.58	4.00	15.00	19.408	30.347	2.663	3.731	1.468
0.001844	0.001844	1.75	1.84	4.00	15.00	19.408	35.405	2.817	4.100	1.488
0.001844	0.001844	2.00	2.10	4.00	15.00	19.408	40.462	2.950	4.406	1.501

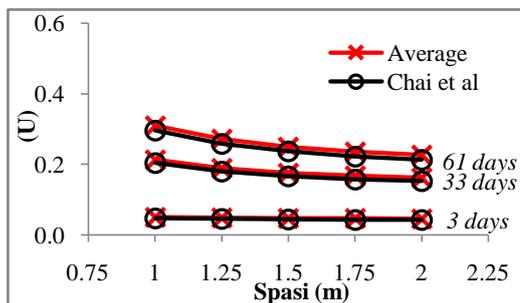
\*)

$$H_c = \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{H^2} + \frac{2,5}{F \cdot D^2} \frac{c_h}{c_v}}}$$

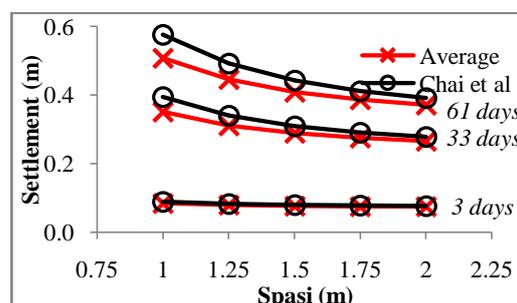
\*\*)

$$H_c = \frac{1}{\sqrt{\frac{64}{H^2} + \frac{2,5}{F \cdot D^2} \frac{c_h}{c_v}}}$$

Sumber: Hasil penelitian. (2014)



Gambar 3 Perbandingan derajat konsolidasi (U) dan Spasi dengan metode Chai dan metode Average



Gambar 4 Perbandingan settlement dan spasi dengan metode Chai dan metode Average

### KESIMPULAN

Analisis dan pembahasan pada perbandingan pengaruh spasi dalam perbaikan tanah lunak ini menunjukkan bahwa:

1. Hasil menunjukkan bahwa Metode Chai et al (2008) dan Average menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda.
2. Besar spasi sangatlah berpengaruh karena semakin besar spasi maka waktu penurunan tanah semakin lama. Jika spasi kecil waktu penurunan tanah akan semakin cepat, akan tetapi dengan bertambahnya waktu pengaruhnya terhadap penurunan tanah menjadi signifikan.
3. Dari hasil maka pemasangan PVD sebaiknya dengan spasi = 1,5 m
4. Keterbatasan perhitungan pada penelitian ini yaitu perhitungan dalam penelitian ini dihitung berdasarkan pada konsolidasi satu dimensi dengan memperhitungkan besar penurunan elastis, akan tetapi belum memperhitungkan plastisitas tanah.

### DAFTAR PUSTAKA

Begado, D.T., Anderson, L.R., Miura, N., and Balasubramaniam, A.S., 2006. *Soft Ground Improvement in*

*Lowland and Other Environments*. New York: ASCE Press

Bo, M.W., Chu, J., Low, B.K. dan Choa, V. 2003. *Soil Improvement: Prefabricated Vertical Drain Techniques*. Singapore: Thomson Learning

Budi, G., S., Susanto, H, dan Condro, S., R. 2003. *Evaluasi penurunan tanah liat dengan metode sub-layer*. Dimensi teknik sipil vol 5, no. 1, maret 2003: 14 – 19

Carillo, N. 1942. *Simple two-and three-dimensional cases in the theory of consolidation of soils*. Journal of Mathematics. & Physics., 21, pp.1-5.

Chai, J.C., Miura, N., Kirekawa, T., and Hino, T. 2008. *Design Methods of PVD Installation Depth for Two Way Drainage Deposit*. Geomechanic and engineering, Vol. 1, No. 3 (2009) 179-191

Chai, J.C., Miura, N., Kirekawa, T., and Hino, T. 2009. *Optimum PVD Installation Depth for Two Drainage Deposit*. International Symposium lowland technology, ISLT 2008 September 24-26. Busan, Korea

Coduto, P. Donald. 2001. *Foundation Design Principles and Practices*

- Second Edition*. New Jersey: **Johnson, S.J.** 1970b. *Foundation Precompression with Vertical Drains*. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE, vol.96. pp-145-175
- Das, M.B.** 2007. *Principle of Foundation Engineering Sixth Edition*. United States: Thomson
- Ghandeharioon, Ali.** 2010. *Analytical and Numerical Study of Soil Disturbance Associated with The Installation of Mandrel Driven Prefabricated Vertical Drains*. Thesis Collection Research Online. Australia: University of Wollongong.
- Hardiyatmo, H.C.** 2007. *Mekanika Tanah 2 edisi keempat*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press
- Hardiyatmo, H.C.** 2008. *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya Edisi Pertama*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press
- Hidayati, A.M, dan Ardana, M.D.W.** 2008. *Kombinasi Preloading dan Penggunaan Pre-fabricated Vertical Drains untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung Lunak (studi kasus tanah lempung Suwung Kangin)*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol. 12, No. 2, Juli 2008
- Lishia, Yunias.** 2010. *Analisa Balik Parameter Desain Preloading dengan Vertical Drains – Studi Kasus Perbaikan Tanah PT. Pupuk Kaltim di Bontang*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Strata-1. Jakarta: Bina Nusantara University
- Ong, C.Y., Chai, J.C, and Hino, T.** 2012. *Degree of Consolidation of Clay Deposit with Partially Penetrating Vertical Drains*. Geotextiles and Geomembranes, 34 (2012) 19-27
- Rixner, J.J., Kraemer, S.R., and Smith, A.D.** 1986. *Prefabricated Vertical Drains. Engineering Guidelines*, FWHA/RD-86/168, Federal Highway Administration, Washington DC, vol. 1
- Yuliet, R., dan Andriani.** 2006. *Timbunan Badan Jalan di Atas Tanah Lunak Daerah Aie Pacah Kota Padang*. Padang: Penelitian Kelompok Dana Rutin UNAND.