



PERBANDINGAN METODE PEMBEBANAN VAKUM DENGAN PRAPEMBEBANAN UNTUK MEMPERCEPAT PROSES KONSOLIDASI

Metri Harissa¹, Mutiara Fitri Wahyuningrum², Sukarman³, Ika Sulianti^{3*}

¹ *PT. Hutama Karya (Persero), Divisi Pengembangan Jalan Tol*

² *PT. Pusri Palembang, Departemen Sarana dan Umum*

³ *Politeknik Negeri Sriwijaya*

Corresponding Author: ikasulianti74@gmail.com

Naskah diterima: 30 Juli 2018. Disetujui: 02 September 2018. Diterbitkan: 30 September 2018

ABSTRAK

Proyek pembangunan Tol Palembang – Simpang Indralaya umumnya dibangun diatas tanah rawa. Tanah dasar jalan ini adalah tanah lempung lunak yang daya dukungnya rendah. Daya dukung tanah yang rendah akan menyebabkan terjadinya kelongsoran yang mengakibatkan terjadinya kerusakan pada perkerasan jalan di atas timbunan. Oleh karena itu dibutuhkan perkuatan tanah dasar agar mampu menahan beban dan menghindari terjadinya kelongsoran sehingga tidak mengalami penurunan. Pada studi ini akan dilakukan analisa perbandingan dari 2 (dua) alternatif sistem perbaikan tanah untuk perencanaan timbunan dalam mencapai derajat konsolidasi yang sama. Alternatif pertama yaitu metode prapembebanan dan alternatif kedua adalah *vacuum preloading method*/metode pembebanan vakum. Dari hasil perhitungan, didapatkan bahwa dengan menggunakan *vacuum preloading*, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi yang sama dapat lebih singkat bila dibandingkan dengan metode prapembebanan.

Kata kunci: Metode, Prapembebanan, Pembebanan, Vakum, Derajat Konsolidasi

ABSTRACT

Palembang Toll Development Project - Simpang Indralaya is built on swamp land. The subgrade of this road is soft clay soil that has low bearing capacity of soil. Low bearing capacity of the soil will cause severe damage to the pavement on the soil heap. Therefore it is necessary to strengthen the base soil to be able to withstand and avoid sliding because it does not decrease. In this study, there will be comparative analysis of 2 (two) alternatives to improve the embankment in reaching the same degree of consolidation. The first alternative is traditional preloading method and second alternative is vacuum preloading method. From the calculation results, obtained by using vacuum preloading method, the time required to achieve the same degree of consolidation can be shorter than the traditional preloading method.

Key Words : Method, Preloading, Loading, Vacuum, Degrees of Consolidation



1. PENDAHULUAN

1.1. Pembangunan Jalan Tol

Saat ini teknologi konstruksi bangunan sedang mengalami kemajuan yang sangat pesat. Hal ini bisa dilihat dari pesatnya pembangunan yang dilakukan baik di dalam maupun luar negeri. Para insinyur sipil juga sudah banyak yang melakukan inovasi dalam dunia konstruksi ini sebagai contoh inovasi vacuum preloading/pembebanan vakum yang diterapkan pada ruas jalan tol Palembang–Simpang Indralaya untuk mempercepat proses konsolidasi tanah.

Proyek pembangunan Tol Palembang–Simpang Indralaya umumnya dibangun diatas tanah rawa. Tanah dasar jalan ini adalah tanah lempung lunak yang daya dukungnya rendah. Oleh karena itu dibutuhkan perkuatan tanah dasar/pondasi agar mampu menahan beban dan menghindari terjadinya kelongsoran sehingga tidak mengalami penurunan.

Ruas Jalan Tol Palembang – Simpang Indralaya sepanjang 21,93 km yang berada dalam Jaringan Jalan Tol Trans Sumatera, terletak pada wilayah administratif Provinsi Sumatera Selatan, tepatnya di Kabupaten Ogan Ilir. Awal proyek terletak di Jalan Lingkar Selatan Palembang, trase berada disisi Timur jalan arteri Palembang - Indralaya dan akhir Proyek di jalan Arteri Kayu Agung-Indralaya. Jalan Tol Palembang–Simpang Indralaya menghubungkan koridor ekonomi di Sumatera Selatan yaitu Kota Palembang yang merupakan ibukota provinsi dan Kota Indralaya yang merupakan kota pendidikan dimana terdapat Universitas Sriwijaya. Selain itu, jalan tol ini akan terkoneksi dengan jalan tol Kayu Agung–Palembang–Betung yang merupakan jaringan utama jalan tol Trans Sumatera.

Dalam penelitian ini, penulis mengambil judul “ Perbandingan Metode Pembebanan Vakum Dengan Prapembebanan Untuk Mempercepat Proses Konsolidasi”. Seperti yang diketahui jalan tol dibebani kendaraan dengan massa yang tinggi. Hal tersebut tidak menutup kemungkinan terjadinya penurunan

tanah (konsolidasi) sehingga perlu dilakukan perbaikan terhadap tanah tersebut dengan melakukan berbagai perlakuan yang bisa memperbaiki kualitasnya. Adapun alternatif perbaikan tanah yang akan dianalisa penulis adalah metode pembebanan vakum dan metode prapembebanan. Keduanya sama-sama dapat mempercepat proses konsolidasi dan meningkatkan daya dukung tanah. Dalam penelitian ini, penulis membandingkan kedua metode tersebut dalam hal lama durasi pencapaian derajat konsolidasi dan hasil derajat konsolidasinya untuk mendapatkan alternatif metode percepatan konsolidasi yang terbaik.

Permasalahan yang diteliti adalah :

- i. Bagaimana merencanakan *Prefabricated Vertical Drains* (PVD)/ Drainase Vertikal dengan metode pembebanan vakum dibandingkan dengan prapembebanan?
- ii. Bagaimana hasil pelaksanaan percepatan konsolidasi menggunakan metode pembebanan vakum dibandingkan dengan menggunakan metode prapembebanan dari segi waktu dan hasil derajat konsolidasi?
- iii. Apakah metode pembebanan vakum lebih baik daripada metode prapembebanan?

1.2. Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dan manfaat penelitian ini adalah untuk: (i) menghitung perencanaan PVD dengan metode pembebanan vakum dan metode prapembebanan untuk proyek Jalan Tol Palembang – Simpang Indralaya ini, (ii) membandingkan hasil pelaksanaan percepatan konsolidasi menggunakan metode pembebanan vakum dan membandingkannya dengan metode prapembebanan.

Sedangkan manfaat dari penelitian ini adalah: (i) dapat dibandingkan perencanaan PVD yang dilaksanakan dengan metode pembebanan vakum dan metode prapembebanan, (ii) mendapatkan hasil perbandingan metode tersebut dengan harapan agar tugas akhir ini dapat digunakan sebagai referensi dalam menentukan metode apa yang

sebaiknya digunakan untuk kondisi tanah serupa.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Jenis Metode Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian komparatif melalui survei/studi lapangan karena penelitian ini membandingkan dua metode yang digunakan di lapangan yaitu metode pembebanan vakum (lapangan) dan metode prapembebanan. Adapun jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif karena data penelitian yang didapat merupakan data yang diukur dalam suatu skala numerik (angka). Data dari metode yang dilakukan di lapangan dianalisa dan dibandingkan perbedaannya. Data penelitian ini merupakan data gabungan yang terdiri atas beberapa objek dalam beberapa satu periode waktu.

2.2. Objek Penelitian

Objek yang diteliti adalah Ruas Jalan Tol Palembang-Simpang Indralaya dengan panjang 21,93 km pada Seksi 1 Zona 9 STA 1+850. Objek yang dianalisa adalah jalan yang diperlakukan metode pembebanan vakum dan prapembebanan. Objek tersebut akan dibandingkan menggunakan perlakuan metode sebagai variabel input.

2.3. Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yaitu laporan harian proyek, hasil test laboratorium material dan laporan monitoring lapangan. Pemilihan data tersebut dengan pertimbangan ketersediaan data, yakni objek penelitian sebanyak 1 objek dalam kurun waktu 4 (enam) bulan terhitung dari bulan Maret 2017 s.d bulan Juni 2017. Data-data ini bersumber dari *Owner* yaitu PT Utama Karya (Persero) Divisi Pengembangan Jalan Tol berdasarkan hasil pengamatan lapangan dan hasil penelitian di Laboratorium Politeknik Negeri Sriwijaya. Data-data tersebut adalah: (i) data tanah berupa data sondir, data *Cone Penetration Test* (CPT), data hasil pengujian laboratorium yang sudah dilakukan, data hasil pengujian lapangan, dan data pendukung lainnya, (ii) laporan harian per

objek, berupa *monitoring instrument* di lapangan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi Tanah Asli

Kondisi lahan di lokasi Pembangunan Jalan Tol Ruas Palembang-Simpang Indralaya (Palindra) didominasi daerah rawa sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1 Tabel Kondisi Tanah Dasar

Depth (m)	BH-01	BH-02	BH-03	BH-04	BH-05	BH-06	BH-07	BH-08	BH-09	BH-10
STA	1+000	1+850	3+650	5+900	7+125	8+050	9+625	12+000	14+100	16+100
1.5	0	0	0	0	0	0	2	4	0	19
3.0	0	1	0	2	0	0	0	8	0	13
4.5	1	1	2	2	0	1	0	9	2	16
6.0	3	1	0	5	1	5	0	12	2	18
7.5	0	1	2	9	1	5	6	9	3	20
9.0	0	2	4	17	5	5	6	7	10	17
10.5	1	3	7	13	5	2	8	1	7	19
12.0	2	4	9	4	7	3	0	1	8	53
13.5	6	4	12	9	7	10	2	2	3	56
15.0	14	12	14	9	15	11	2	3	10	58
16.5	8	13	35	9	20	19	4	8	15	36
18.0	10	14	50	23	20	18	5	17	24	41
19.5	23	16	50	22	20	25	6	15	24	40
21.0	24	18	8	26	50	27	13	16	30	34
22.5	28	22	43	29	50	40	31	15	27	49
24.0	25	24	27	20	50	62	35	17	36	41

Berdasarkan data SPT pada Tabel 1, kedalaman tanah lunak bervariasi dan terdalam dapat mencapai 16,5 m. Sebagian besar area memiliki tanah lempung lunak sedalam sekitar 12 m. Dengan dasar klasifikasi tersebut dan diaplikasikan terhadap data SPT yang sudah diperoleh, secara umum diambil kesimpulan terdapat lapisan tanah sangat lunak sampai lunak sedalam rata-rata 13-15 m di sebagian besar ruas rencana jalan tol. Tabel berikut memperlihatkan kedalaman tanah lunak (warna kuning) pada lokasi titik uji berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT). Artinya penurunan konsolidasi menjadi isu utama. Tanah lunak yang dibebani akan mengalami penurunan akibat proses konsolidasi. Ketebalan *pavement* dan urugan untuk mencapai elevasi final dapat dihitung berdasarkan elevasi tanah awal dan elevasi rencana. Namun besarnya penurunan akibat konsolidasi harus dihitung.

3.2. Perhitungan Metode Vakuum dan Prapembebanan

Analisa Besar Penurunan Tanah

Berdasarkan hasil parameter tanah yang ada di proyek Jalan Tol Palembang-Simpang Indralaya :

Tabel 2. Data Proyek di Seksi I titik B2 (STA 1+850)

Data Tanah	Tanah Lapisan I	Tanah Lapisan II	Tanah Lapisan III
Y (gr/cm ³)	1,482	1,526	1,646
Angka Pori (e ₀)	2,0828	1,9125	1,2384
Indeks Pemampatan (Cc)	0,733	0,65	0,30
Koef. Konsolidasi (C _v) (cm ² /dtk)	1,96 x 10 ⁻²	1,86 x 10 ⁻²	1,77 x 10 ⁻³

Analisa Besar Penurunan Tanah Prapembebanan

Berikut ini adalah perhitungan dalam analisis besar penurunan yang diambil dari analisis pada titik BH-02 (STA 1+850).

Tabel 3. Data Fisik Tanah

Berat Jenis pavement	=	23	kN/m ³
Berat Jenis subgrade	=	19	kN/m ³
Beban kendaraan Hotmix	=	10	kN/m ²
Subgrade	=	5,06	kN/m ²
Total additional stress	=	7,98	kN/m ²
		23,04	kN/m ²

Tabel 4. Data Tanah Timbunan

Tebal timbunan termasuk pre-loading (H _{timbunan})	=	5,204	m
Tebal lapisan tanah terkonsolidasi (H _{clay})	=	18,500	m
Indeks pemampatan (C _c)	=	0,733	m
Void ratio (e ₀)	=	2,0828	m

Untuk tegangan efektif vertikal pada tanah timbunan yaitu :

$$\text{Berat volume tanah, } \gamma = 1,526 \text{ gr/cm}^3 = 1.526 \text{ kg/m}^3 = 14,965 \text{ kN/m}^3$$

Besar beban timbunan :

$$\begin{aligned} \Delta\sigma' &= (\gamma \times H) + \text{Total additional stress} \\ &= (14,965 \text{ kN/m}^3 \cdot 5,204 \text{ m}) + 23,04 \text{ kN/m}^2 \\ &= 100,917 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

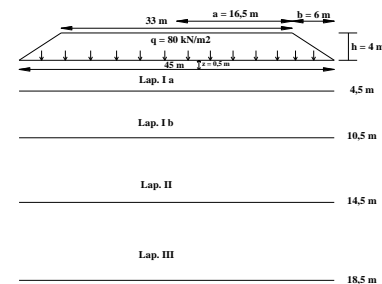
Tegangan efektif overburden

$$\begin{aligned} \sigma_o &= \gamma \cdot h \\ &= 14,956 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,5 \text{ m} \\ &= 7,4825 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \left[\frac{Cc \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma_{o'} + \Delta\sigma'}{\sigma_{o'}} \right) \right] \\ &= \left[\frac{0,65 \cdot 18,5 \text{ m}}{1 + 1,9125} \log \left(\frac{7,4825 \text{ kN/m}^2 + 100,917 \text{ kN/m}^2}{7,4825 \text{ kN/m}^2} \right) \right] \\ &= 4,793 \text{ m} \end{aligned}$$

Analisa Besar Penurunan Tanah Vakum

Berikut ini adalah analisa perhitungan tanah yang ditinjau per meter. Sebagai contoh pada tanah dengan kedalaman z = 0,5 m.



Gambar 1. Lapisan Tanah dengan kedalaman z = 0,5 m

Untuk tegangan efektif vertikal pada tanah dengan kedalaman z = 0,5 m pada Gambar 1, yaitu :

Diketahui beban terbagi rata tanah timbunan yaitu, q = 80 kN/m²

Berat volume tanah, $\gamma = 1,482 \text{ gr/cm}^3 = 1.482 \text{ kg/m}^3 = 14,533 \text{ kN/m}^3$

Jadi, Tegangan efektif vertikalnya, yaitu:

$$\sigma_o = \gamma \cdot h = 14,533 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,5 \text{ m} = 7,267 \text{ kN/m}^2$$

Untuk tambahan tegangan vertikal tanah timbunan yaitu : $\Delta\sigma = q$

Dari Gambar 2 diketahui nilai a = 16,5 m, b = 6m, dan z = 0,5 m

Untuk setengah tampang timbunan :

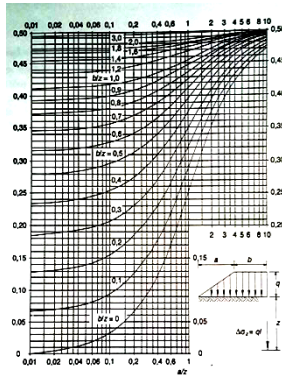
$$a/z = 16,5 \text{ m} / 0,5 \text{ m} = 33 \text{ m}$$

$$b/z = 6 \text{ m} / 0,5 \text{ m} = 12 \text{ m}$$

Untuk setengah tampang timbunan diperoleh I = 0,5 pada gambar 6. Untuk seluruh timbunan, faktor pengaruh I harus dikalikan 2.

Jadi besar tambahan tegangan timbunan yaitu :

$$\Delta\sigma = q (2 \cdot I) = 80 \text{ kN/m}^2 (2 \times 0,5) = 80 \text{ kN/m}^2$$



Gambar 2. Grafik Faktor pengaruh akibat beban timbunan [1]

Sehingga diperoleh besar penurunan akibat beban timbunan adalah ;

$$S = \left[\frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma_{o1} + \Delta \sigma'_1}{\sigma_{o1}} \right) \right]$$

$$= \left[\frac{0,733 \cdot 0,5 \text{ m}}{1 + 2,0828} \log \left(\frac{7,267 \text{ kN/m}^2 + 80 \text{ kN/m}^2}{7,267 \text{ kN/m}^2} \right) \right]$$

$$= 0,128 \text{ m (untuk asumsi 0,5 m)}$$

Perhitungan waktu konsolidasi dari semua lapisan tanah

$$C_v \text{ lapisan tanah I} = 1,96 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}$$

$$C_v \text{ lapisan tanah II} = 1,86 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}$$

$$C_v \text{ lapisan tanah III} = 1,77 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{detik}$$

$$C_v \text{ gabungan} = \frac{(H_1 + H_2 + H_3)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \frac{H_3}{\sqrt{C_{v3}}} \right)^2} =$$

$$\frac{(10,5 \text{ m} + 4 \text{ m} + 4 \text{ m})^2}{\left(\frac{10,5 \text{ m}}{\sqrt{1,96 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}}} + \frac{4 \text{ m}}{\sqrt{1,86 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}}} + \frac{4 \text{ m}}{\sqrt{1,77 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{detik}}} \right)^2}$$

$$= 8,607 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{detik} = 26,772 \text{ m}^2/\text{tahun}$$

Maka,

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

$$t = \frac{0,848 \cdot (9,25 \text{ m})^2}{8,607 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{detik} \times 3600 \times 24 \times 365}$$

$$t = 2,710 \text{ tahun}$$

Pemasangan drainase vertikal (PVD) merupakan solusi untuk mengatasi masalah waktu konsolidasi tersebut.

3.3. Desain Drainase Vertikal

Metode yang digunakan untuk menghitung desain *Prefabricated Drainage Vertical* (PVD) ini adalah metode yang

diperkenalkan oleh Hansbo (1981), [6] Desain PVD ini hanya akan dilakukan pada satu titik saja yang dianggap paling kritis. Tinjauan dilakukan pada titik yang memiliki ketebalan tanah lunak paling tebal dan sepanjang jalan utama (*main road*) tol, yaitu pada titik BH-02 (STA 1+850) dengan ketebalan sebesar 18,5 meter. Sedangkan derajat konsolidasi yang ditargetkan adalah 90%.

Untuk jarak spasi antar PVD = 1,0 meter

- i. Menentukan nilai koefisien konsolidasi horizontal, Ch

Ch = (berdasarkan rasio kh/kv = 1,5 dapat diperoleh Ch = 1,5 x Cv)

Pada titik BH-02 (STA 1+850), nilai Cv = 8.607x 10⁻⁷ m²/detik = 26,772 m²/tahun

Maka nilai Ch = 1 x 8.607x 10⁻⁷ m²/detik = 8.607x 10⁻⁷ m²/detik
Ch = 26,772 m²/tahun

- ii. Menentukan nilai derajat konsolidasi arah vertikal (Uv)

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4T_v}{\pi}}}{\left[1 + \left(\frac{4T_v}{\pi} \right)^{2,8} \right]^{0,179}}$$

$$T_v = \frac{C_v \cdot T}{H_d^2} = \frac{26,772 \cdot 0,027}{18,5^2} = 2,112 \times 10^{-3}$$

Misalkan pada waktu t = 10 hari = 0,027 tahun, maka:

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4}{3,14} \left(\frac{26,772 \times 0,027}{18,5^2} \right)}}{\left[1 + \left(\frac{4}{3,14} \times \frac{26,772 \times 0,027}{18,5^2} \right)^{2,8} \right]^{0,179}}$$

$$U_v = 0,052$$

- iii. Menentukan faktor waktu radial, Tr

S = spasi antar PVD = 1,0 meter

De = diameter hidrolis = 1,128 x s (pola segiempat)

$$De = 1,128 \times 1,0 = 1,128 \text{ m}$$

Lebar PVD (a) = 10 cm

Tebal PVD (b) = 0,5 cm, maka:

Diameter ekivalen PVD adalah:

$$\pi \cdot d_w = 2(a + b)$$

$$\pi \cdot d_w = 2(10 + 0,5)$$

$$d_w = 6,68 \text{ cm} = 0,067 \text{ m}$$

Misalkan pada waktu t = 10 hari = 0,027 tahun, maka:

$$T_r = \frac{c_h \times t}{d_e^2}$$

$$T_r = \frac{26,772 \times 0,027}{1,128^2}$$

$$T_r = 0,576$$

iv. Menentukan derajat konsolidasi radial, U_r
 Dengan memperhitungkan *smear zone*, persamaan derajat konsolidasi, U_r adalah:

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

Dimana, $F = F_{(n)} + F_{(s)}$

$$F_{(n)} = \left[\frac{n^2}{n^2-1}\right] 1n(n) - \frac{3n^2-1}{4n^2}$$

$$F_{(s)} = \left[\left(\frac{k_h}{k_s}\right) - 1\right] 1n \frac{d_s}{d_w}$$

Maka nilai $F_{(n)}$ dan $F_{(s)}$ adalah:

$$n = \frac{d_e}{d_w} = \frac{1,128}{0,067} = 16,836$$

$$F_{(n)} = \left[\frac{16,836^2}{16,836^2-1}\right] 1n(16,836) - \frac{(3 \times 16,836^2 - 1)}{(4 \times 16,836^2)}$$

$$F_{(n)} = 2,788$$

Pemasangan mandrel yang non-bundar [2]:

$$\frac{d_s}{d_w} = 4 \quad \frac{k_h}{k_s} = 2$$

$$F_{(s)} = (2 - 1) 1n(4)$$

$$F_{(s)} = 1,386$$

Maka nilai F adalah:

$$F = 2,788 + 1,386$$

$$F = 4,174$$

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

$$U_r = 1 - \exp\left(\frac{-8 \times 0,576}{4,174}\right)$$

$$U_r = 0,669$$

v. Menentukan nilai derajat konsolidasi total, U

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

$$U = 1 - [(1 - U_v)(1 - U_r)]$$

$$U = 1 - ((1 - 0,052) \times (1 - 0,809))$$

$$U = 1 - (0,948) \times (0,191)$$

$$U = 0,819$$

vi. Menghitung besar penurunan konsolidasi (S_c) pada waktu ke-n

$$S_c = U \times S_{ult}$$

$$S_c = 0,819 \times 5,920$$

$$S_c = 4,848 \text{ meter}$$

Dari hasil perhitungan waktu konsolidasi tanpa menggunakan PVD pada titik BH-02 (STA 1+850) diketahui bahwa untuk mencapai konsolidasi 90%, dibutuhkan waktu selama 2,710 tahun. Akan tetapi, dengan menggunakan

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan diperoleh penurunan yang terjadi pada titik BH-02 (STA 1+850) adalah sebesar 4,842 m untuk metode prapembebanan dan 4,848 m untuk metode pembebanan vakum. Waktu konsolidasi yang dibutuhkan tanah untuk mencapai konsolidasi 90% pada metode prapembebanan selama 2,710 tahun dan untuk metode pembebanan vakum selama 14 hari. Jarak spasi antar PVD berpengaruh terhadap lamanya waktu untuk mencapai konsolidasi. Semakin kecil spasi antar PVD maka akan semakin cepat tanah mengalami konsolidasi dan untuk pemilihan jarak spasi antar PVD, disesuaikan dengan waktu yang diperlukan untuk melaksanakan konstruksi. Untuk mencapai derajat konsolidasi yang sama, waktu yang dibutuhkan oleh pembebanan vakum lebih singkat daripada prapembebanan, walaupun dalam pelaksanaannya pembebanan vakum lebih kompleks

Daftar Pustaka

- [1] Osterberg. 1957. Studi Analisa Pengaruh Beban Timbunan Tinggi Terhadap Rasio Pemampatan Tanah Dasar.
- [2] Hansbo. 2004. A Finite Element Method for the Simulation of Strong and Weak Discontinuities in Solid Mechanics. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 193:2523-3540.
- [3] Hansbo. 1981. Prefabricated Vertical Drain Terhadap Waktu Konsolidasi dan Rasio Koefisien Konsolidasi. Studi Kasus : Marunda, Jakarta.
- [4] M. Das, Braja, M.D., 1993. Mekanika Tanah Jilid 2 (Prinsip-Prinsip

Rekayasa Geoteknis). Jakarta : The University of Texas at El Paso.

- [5] The American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO). Klasifikasi tanah sistem Unified/Unified Soil Classification System (USCS). Washington, DC.
- [6] Indraratna, B., Rujikiatkamjorn, C., Khabbaz, H., Sathananthan, I., Shahin, I.,. 2005. Analytical and numerical solution for soft clays consolidations using geosynthetic vertical drains with special reference to embankment. (Online),(<http://ro.uow.edu.au/engpapers/197>).