

ANALISIS PENURUNAN KONSOLIDASI METODE PRELOADING DAN PREFABRICATED VERTICAL DRAIN (PVD)

Heny Susiazti¹⁾, Masayu Widiastuti²⁾, Rusfina Widyati³⁾

¹⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl.Sambaliung No.9 Kampus Gunung Kelua, Samarinda, e-mail: -

²⁾Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl.Sambaliung No.9 Kampus Gunung Kelua, Samarinda, e-mail: masyuwidi@gmail.com

³⁾Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl.Sambaliung No.9 Kampus Gunung Kelua, Samarinda, e-mail: rusfinawy@gmail.com

Abstrak

Tanah memiliki peranan yang sangat penting karena berfungsi sebagai penopang dari suatu konstruksi seperti jalan raya, gedung, jembatan dan lainnya. Pada sebuah konstruksi terkadang pembangunan berada pada lokasi tanah yang tidak baik, oleh karena itu perlunya perencanaan dan perhitungan untuk menangani hal tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung besar dan waktu penurunan tanah dengan metode preloading dan *prefabricated vertical drain* dan menentukan jarak pemasangan yang paling efisien.

Pada penelitian ini dilakukan analisis penurunan pada proyek Pembangunan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode preloading dan *prefabricated vertical drain* (PVD) dengan derajat konsolidasi yang ditargetkan adalah mencapai derajat konsolidasi 90 %. Analisa jarak spasi antar PVD juga akan dihitung untuk mendapatkan jarak yang paling efektif yang disesuaikan dengan waktu konstruksi yang dibutuhkan.

Dari analisis untuk mencapai derajat konsolidasi 90%, diperoleh dengan metode preloading dibutuhkan waktu 7,11 tahun dengan besar penurunan yang terjadi adalah 0,03 m. Sedangkan dengan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* spasi 1,2 m dibutuhkan waktu selama 25 hari dan besar penurunan 0,0273 m; spasi 1, 4 m dibutuhkan waktu selama 35 hari dan besar penurunan 0,0273; spasi 1, 5 m dibutuhkan waktu selama 45 hari dan besar penurunan 0,0279; spasi 1, 6 m dibutuhkan waktu selama 45 hari dan besar penurunan 0,028. Maka dari hasil analisis tersebut jarak pemasangan PVD yang paling efisien adalah dengan jarak 1,2 m.

Kata kunci : Penurunan konsolidasi, *Prefabricated Vertical Drain*, preloading

Abstract

Land have a very important role because it functions as a support of a construction such as highways, buildings, bridges and others. In a construction, sometimes the development is done in a poor soil, therefore planning and calculation are required to overcome it. The purpose of this study to calculate of amount and time of settlement land using preloading method and prefabricated vertical drain and determind the installation distance.

In this research, a settlement analysis was carried out on the Balikpapan - Samarinda Toll Road Construction Project. The calculation is done using the preloading and prefabricated vertical drain (PVD) method with the targeted degree of consolidation reaching 90% degree of consolidation. Analysis of the distance between PVD will also be calculated to get the most effective distance adjusted to the construction time required.

From the analysis to achieve a degree of consolidation of 90%, obtained by preloading method takes 7.11 years with a large settlement that occurs is 0.03 m. Whereas with Prefabricated Vertical Drain (PVD) spacing of 1.2 m, it takes 25 days and a large settlement of 0.0273 m; space 1, 4 m it takes 35 days and the amount of settlement is 0.0273; spacing 1,5 m, it takes 45 days and the amount of decline is 0.0279; spaced 1, 6 m, it takes 45 days and a large settlement of 0.028. Then from the results of the analysis the most efficient PVD installation distance is 1.2 m.

Keywords: Prefabricated Vertical Drain, preloading, Settlement consolidation

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Provinsi Kalimantan Timur merupakan salah satu provinsi terluas, memiliki potensi sumber daya alam melimpah. Sumber daya alam dan hasil-hasilnya sebagian besar di ekspor keluar negeri, sehingga Provinsi ini merupakan penghasil devisa utama bagi negara, khususnya dari sektor pertambangan kehutanan dan hasil lainnya. Kegiatan pembangunan Jalan Tol Balikpapan-Samarinda merupakan salah satu usaha Pemerintah Provinsi Kalimantan Timur untuk meningkatkan pelayanan prasarana angkutan darat. Dengan adanya prasarana jalan yang memadai, maka akan menunjang perkembangan wilayah dan sebagai salah satu fasilitas interaksi sosial antar wilayah atau daerah.

Untuk menunjang kegiatan tersebut diharapkan dengan adanya Jalan Tol yang menghubungkan Balikpapan dan Samarinda ini dapat dirasakan manfaatnya bagi masyarakat dalam memudahkan transportasi dan menghemat waktu jarak tempuh. Dalam proyek pembangunan Jalan Tol Balikpapan-Samarinda didirikan di atas lapisan tanah yang umumnya tanah lunak, tanah ini memiliki daya dukung yang rendah dan penurunan (settlement) yang besar jika diberi beban. Hal ini disebabkan karena tanah lunak umumnya memiliki kuat geser permeabilitas yang rendah maka waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi lebih lama. Kondisi tersebut, diperlukan suatu metode perbaikan tanah untuk mengatasi masalah ini.

Salah satu metode yang pada umumnya digunakan untuk mengatasi masalah pada tanah lunak adalah pembebanan awal (*preloading*) yaitu, metode perbaikan tanah dengan cara memberikan tambahan beban pada lokasi dimana akan dibangun konstruksi permanen hingga proses konsolidasi yang diinginkan tercapai, yaitu tercapainya penurunan primer

(*primary settlement*). Ketika proses konsolidasi berlangsung, kekuatan tanah geser pun turut meningkat sehingga dapat memungkinkan penambahan beban (Craig, 2004). Namun, metode ini memerlukan waktu yang cukup lama maka untuk mempercepat waktu, dapat digunakan metode drainase vertikal (*vertical drain*) yang dapat mempercepat waktu konsolidasi dengan mengurangi panjang dari jalur aliran pada lapisan tanah lunak.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menghitung besar dan waktu penurunan tanah asli pada Jalan Tol Balikpapan - Samarinda berdasarkan analisa secara manual.
2. Menghitung besar dan waktu penurunan tanah dengan metode *preloading* dan dengan menggunakan PVD pada Jalan Tol Balikpapan - Samarinda berdasarkan analisa secara manual dan menggunakan program PLAXIS 8.2 2D.
3. Menentukan jarak pemasangan PVD yang paling efektif terhadap waktu penurunan.

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup dalam penelitian ini dibatasi pada :

1. Penelitian mengambil kasus perbaikan tanah yang telah dilaksanakan yaitu proyek pembangunan jalan tol Balikpapan-Samarinda berdasarkan data di lapangan yang diperoleh dari PT. Wijaya Karya.
2. Data yang digunakan berupa data sekunder, yaitu data hasil uji Bor Inti dan SPT, hasil uji laboratorium, spesifikasi PVD dan data rencana jalan tol.

3. Perhitungan besar dan lamanya waktu penurunan hanya pada penurunan konsolidasi/primer yang dihitung secara manual dan dengan menggunakan program PLAXIS 8.2 2D.
4. Perhitungan secara manual menggunakan teori Terzaghi (1943).

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pengertian Tanah

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara maupun keduanya (Hardiyatmo 2002). Dalam sebuah konstruksi terkadang pembangunan berada di lokasi tanah yang tidak baik untuk suatu konstruksi. Oleh karena itu perlunya suatu perencanaan untuk menangani sifat-sifat dan perilaku tanah.

2.2 Klasifikasi Tanah

Secara umum, klasifikasi tanah adalah pengelompokkan berbagai jenis tanah ke dalam kelompok yang sesuai dengan sifat teknik dan karakteristiknya. Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem yang mengatur jenis-jenis tanah yang berbeda-beda, tetapi mempunyai sifat-sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok.

Klasifikasi ini pada umumnya didasarkan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran. Untuk menerangkan tentang tanah berdasarkan ukuran-ukuran butirannya, beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah (*soil separate size limits*).

2.3 Penurunan konsolidasi Primer

Penurunan konsolidasi primer, yaitu penurunan yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang meninggalkan ringga pori akibat adanya tambahan tekanan (Hardiyatmo,2002). Tanah

pada kedalaman tertentu telah mengalami tegangan efektif pra-konsolidasi, yakni tegangan efektif maksimum yang pernah dialami sebelumnya. Tegangan efektif pra-konsolidasi dapat lebih kecil atau sama dengan tegangan *overburden* efektif saat ini. Terkonsolidasi secara normal (*normally consolidated*), di mana tekanan efektif *overburden* pada saat ini adalah merupakan tekanan maksimum yang pernah dialami tanah itu. Untuk Normally Consolidated Soil dinyatakan dengan persamaan :

$$SC = \frac{Cc.Hz}{1+e_0} \cdot \log \frac{Po + \Delta p}{Po} \dots\dots\dots (1)$$

2.4 Parameter Perhitungan Penurunan

2.4.1 Tegangan Overburden Efektif (Po)

Tegangan *overburden* efektif adalah tegangan vertical efektif dari tanah asli akibat beban atau lapisan tanah di atas titik tanah asli yang ditinjau. Tegangan *overburden* efektif dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Po = \gamma' \cdot H \dots\dots\dots (2)$$

3. Distribusi Tegangan Tanah (Δp)

Distribusi tegangan tanah merupakan tambahan tegangan akibat pengaruh beban tambahan diatas tanah yang ditinjau di tengah – tengah lapisan. Distribusi tegangan tanah dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$\Delta p = 2 \cdot q_0 \cdot I \dots\dots\dots (3)$$

$$q_0 = \gamma \text{ timbunan} \cdot H \dots\dots\dots (4)$$

2.5. Kecepatan dan Waktu Penurunan Konsolidasi

Menurut terzaghi (1943), lamanya waktu penurunan konsolidasi dapat dihitung menggunakan rumus :

$$t = \frac{Tv \times Hdr^2}{cv} \dots\dots\dots (5)$$

2.6 Metode Perbaikan Tanah

Metode perbaikan tanah ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dari tanah dan mencegah penurunan yang besar serta kemungkinan kerusakan pada suatu struktur.

Metode perbaikan tanah yang digunakan pada proyek ini adalah metode *preloading* yang dikombinasikan dengan *prefabricated vertical drain (PVD)*.

2.6.1 Preloading

Metode *preloading* adalah metode penimbunan beban yang besarnya sama dengan besar beban konstruksi yang akan dilaksanakan. Maksud dari pra-pembebanan ini adalah untuk meniadakan atau mereduksi penurunan konsolidasi primer. Daya dukung tanah lempung dalam perencanaan beban preloading dihitung sebagai berikut :

$$H_{cr} = \frac{2 \times C_u}{\gamma_{\text{timbunan}}} \dots \dots \dots (6)$$

2.6.2 Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Prefabricate vertical drain yaitu sistem drainase buatan yang dipasang ke dalam lapisan tanah lunak yang terbuat dari bahan sintesis yang dibagi atas dua komponen, yaitu *geotextile filter fabric* atau serat penyaring geotekstil yang akan mempermudah aliran air masuk ke dalam rongga-rongga tanah dan juga *plastic drain core* atau plastik inti drainase yang berlaku sebagai pengumpul penyalur

2.6.2.1 Pola pemasangan PVD

Pola pemasangan PVD Segiempat. Untuk mengetahui daerah pengaruh kerja PVD, maka dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$R = 0,546 \cdot S \text{ atau } D = 1,13 \cdot S \dots \dots \dots (7)$$

2.6.2.2 Penurunan Konsolidasi

Untuk perhitungan penurunan tanah dengan PVD dapat diitung dengan metode Hansbo (1981)

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4 \cdot T \cdot v}{n}}}{(1 + (4 \cdot \frac{T \cdot v}{n})^{2 \cdot n})^{0.179}} \dots \dots \dots (8)$$

2.6.2.3 Waktu Penuruan Konsolidasi

Adapun cara lain untuk menghitung waktu konsolidasi dengan menggunakan PVD dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$t = \left(\frac{D^2}{8 \cdot c_h} \right) \cdot 2 \cdot F_n \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - U_h} \right) \dots \dots \dots (9)$$

3. Metodologi

3.1 Lokasi Penelitian

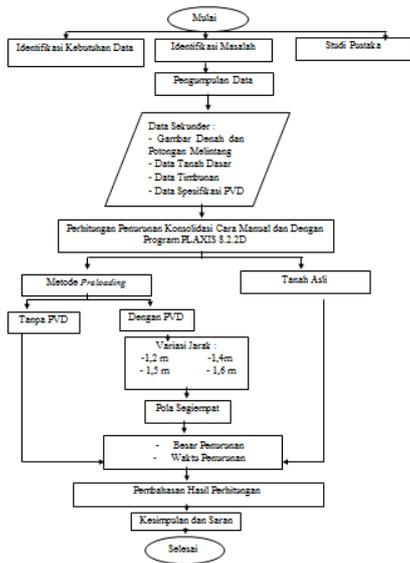
Lokasi penelitian ini terletak pada Jalan Tol Balikpapan – Samarinda segmen 4 yang berada di kecamatan Palaran Kota Samarinda



3.2 Metode Pengumpulan Data

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

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

4. Analisis Hasil dan Pembahasan

4.1 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Tanah Asli

Menghitung penurunan tanah asli pada lapisan yang ditinjau :

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \cdot \log \frac{P_0 + \Delta p}{P_0}$$

$$= \frac{0,146 \cdot 20,5}{1 + 0,808} \cdot \log \frac{97,008 + 1,056}{97,008}$$

$$= 0,030 \text{ m}$$

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

$$= \frac{0,848 \cdot 1048,468}{0,00421}$$

$$= 2562,775 \text{ hari}$$

4.2 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Dengan Metode Preloading

Adapun perhitungan penurunan konsolidasi dengan metode preloading adalah sebagai berikut :

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \cdot \log \frac{P_0 + \Delta p}{P_0}$$

$$= \frac{0,132 \cdot 21}{1 + 0,808} \cdot \log \frac{97,008 + 3,165}{97,008}$$

$$= 0,0308 \text{ m}$$

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

$$= \frac{0,848 \cdot 1048,468}{0,00421}$$

$$= 2562,76 \text{ hari}$$

4.3 Metode PVD

Untuk analisa penurunan tanah dengan *prefabricated vertical drain* (PVD) dapat menggunakan metode yang diperkenalkan oleh Hansbo (1981).

4.3.1 Pola Pemasangan PVD

Untuk menegetahui daerah pengaruh kerja PVD, maka dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$R = 0,546 \cdot S \text{ atau } D = 1,13 \cdot S \dots\dots\dots(10)$$

4.3.2 Perhitungan Penurunan Konsolidasi PVD

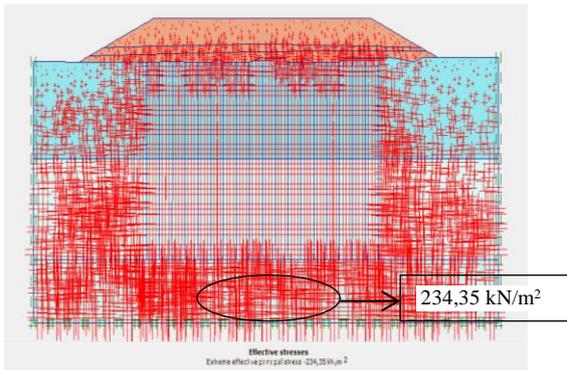
$$S_c = U \cdot S_{ult} \dots\dots\dots(11)$$

$$t = \left(\frac{D^2}{8 \cdot C_h} \right) \cdot 2 \cdot F_n \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - U_h} \right) \dots\dots\dots(12)$$

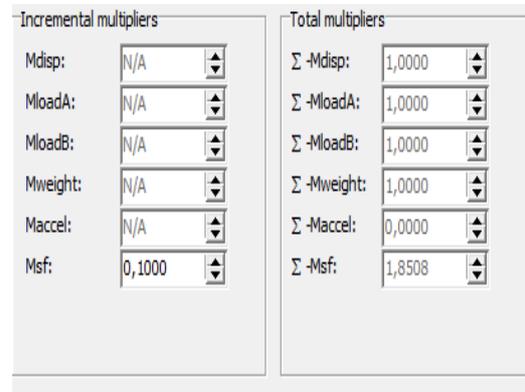
4.4 Pemodelan Menggunakan Plaxis

Setelah proses penggambaran geometri jalan dan input parameter material tanah serta perkuatannya telah dilakukan dalam Plaxis, barulah tahap kalkulasi dilakukan proses simulasi dilakukan. Hasil simulasi pada Plaxis ditunjukkan sebagai berikut :

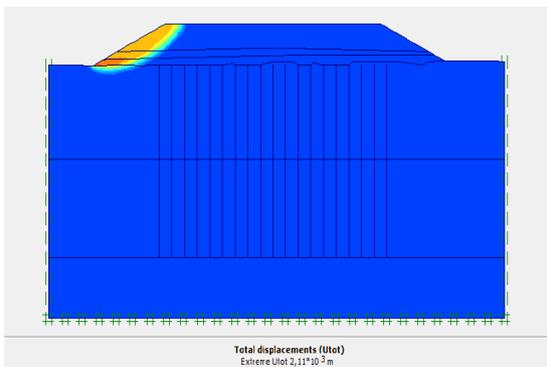
4.4. Analisis dalam Pemodelan Asli 1 Tanpa Perkuatan



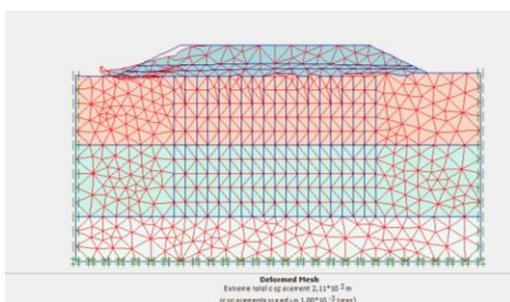
Gambar 4. Analisis dalam Pemodelan Prefabricated Vertical Drain



Gambar 7. Safety factor kondisi geometri dengan PVD jarak 1,2 m



Gambar 5. Total displacement kondisi geometri dengan PVD jarak 1,2 m



Gambar 6. Deformed mesh kondisi geometri dengan PVD jarak 1,2 m

4.5 Hasil Rekapitulasi Perhitungan

Dari analisis perhitungan yang telah dilakukan baik secara manual maupun dengan program PLAXIS di dapat hasil perhitungan yang diuraikan dalam tabel dan grafik dibawah ini :

Tabel 4.12 Rekapitulasi hasil perhitungan penurunan konsolidasi tanpa PVD

Penurunan Konsolidasi	Waktu Penurunan (hari)	Besarnya penurunan		SF
		Cara manual	Program PLAXIS	
Tanah Asli	2562,76	0,0306	0,24	2,8
Metode Preloading	2562,76	0,0308	0,048	2,8

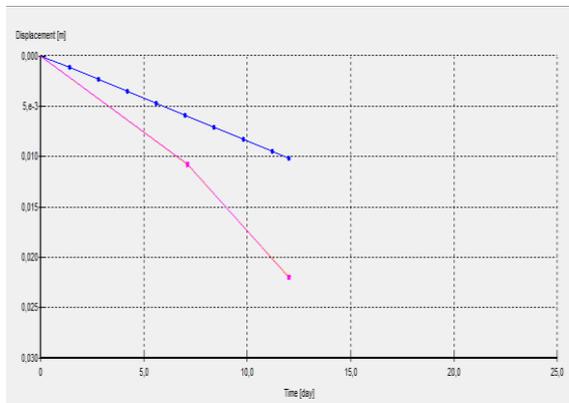
Berikut ini adalah tabel dari hasil rekapitulasi perhitungan penurunan konsolidasi dengan PVD pada pola segiempat dengan beberapa variasi jarak.

5. Kesimpulan dan Saran

Tabel 4.13 Rekapitulasi hasil perhitungan penurunan konsolidasi dengan PVD pola segiempat

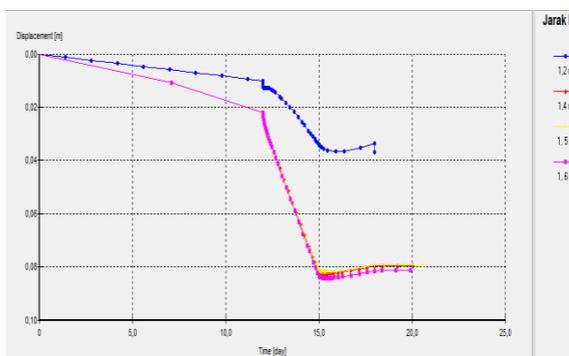
51. Kesimpulan

Dari analisis menggunakan program Plaxis diperoleh hasil penurunan segera. Pada kurva penurunan di bawah ini dapat dilihat bahwa penurunan segera akibat PVD yaitu berkisar 0,01 m hingga 0,02 m dengan kisaran waktu 12 hari.



Gambar 8. Grafik besar penurunan segera

Dari hasil analisis penurunan segera dan penurunan konsolidasi menggunakan aplikasi PLAXIS dapat diperoleh hasil kurva gabungan penurunan total. Sehingga penurunan total dapat diperoleh nilai sebesar 0,034 hingga 0,081 dengan waktu 18 hingga 20 hari.



Gambar 9. Grafik penurunan total

	Waktu Penurunan pada program PLAXIS (hari)	Waktu Penurunan pada kondisi lapangan (hari)	Besarnya penurunan			SF
			Cara manual (m)	Program PLAXIS (m)	Data Lapangan (m)	
PVD pola segiempat jarak 1,2 m	25	31	0,0273	0,020	0,014	1,85
PVD pola segiempat jarak 1,4 m	35	-	0,0273	0,029	-	2,81
PVD pola segiempat jarak 1,5 m	45	-	0,0279	0,034	-	2,81
PVD pola segiempat jarak 1,6 m	45	-	0,0281	0,030	-	2,82

Dari hasil pembahasan dan analisis yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini :

1. Dari hasil analisis perhitungan secara manual pada kondisi asli tanpa adanya metode perbaikan tanah diperoleh besarnya penurunan yang terjadi adalah 0,0306 m dalam waktu 7,11 tahun.
2. Dari hasil perhitungan secara manual menggunakan sistem *preloading* diperoleh besarnya penurunan yang terjadi adalah 0,0308 m dalam waktu 7,11 tahun. Waktu kondisi asli dan sistem *preloading* sama karena yang mempengaruhi waktu pada penurunan adalah nilai Cv (koefisien konsolidasi) sedangkan dengan analisis menggunakan PLAXIS didapat hasil besar penurunan 0,048 m dalam waktu 7,11 tahun
3. Dari hasil analisis yang dilakukan dengan menggunakan pola pemasangan PVD segiempat dengan variasi jarak 1,2 m; 1,4 m; 1,5 m; 1,6 m. Jarak pemasangan yang paling efisien adalah 1,2 m karena lebih cepat daripada jarak yang lain yaitu 25 hari.
4. Dari hasil analisis yang dilakukan dan dengan data lapangan di dapatkan selisih waktu 6 hari dengan selisih besar penurunan 0,06 mm.

5.2 Saran

1. Sebaiknya diperlukan pengujian parameter tanah secara mendalam, sehingga mendapatkan hasil yang lebih ideal atau mendekati kondisi di lapangan.
2. Sebaiknya lebih memahami parameter – parameter dan tipe – tipe permodelan tanah yang ada di PLAXIS sehingga pemilihan parameter dapat sesuai dengan kondisi di Lapangan
3. Untuk selanjutnya, akan lebih baik jika melakukan studi pemodelan dengan PLAXIS 3D sehingga analisa diharapkan dapat lebih akurat dengan kondisi di lapangan.

Daftar Pustaka

1. Craig, R. F., (1989), *Mekanika Tanah*, Edisi Keempat (Soepandji, B. S., Penerjemah). Erlangga, Jakarta
2. Das, B. M., (1995), *Mekanika Tanah : Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid 1* (Noor Endah & Indrasurya, B.M., Penerjemah). Erlangga, Jakarta
3. Google Maps, (2019), *Peta Lokasi Kegiatan Proyek*. Diakses tanggal 16 Agustus 2019. <https://www.google.com/maps/@-0.5389972,117.1543797,1136m/data=!3m1!1e3>
4. Hardiyatmo, H.C., (2002), *Mekanika Tanah II*, Edisi Ketiga. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
5. Hardiyatmo, H.C., (2008), *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya*, Edisi Pertama. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
5. Julius, (2013), *Analisa Perbandingan Perhitungan Vacuum Preloading Dengan Program PLAXIS 2D dan Perhitungan Manual Dengan Data Aktual Lapangan*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bina Nusantara, Jakarta.
6. Pasaribu, T.H., (2012), *Analisa Penurunan Pada Tanah Lunak Akibat Timbunan (Studi kasus Runway Bandara medan Baru)*. Jurnal Teknik Sipil USU, Vol. 1, No.2
7. PLAXIS b. v., (2007), *PLAXIS Version 8 Material Models Manual*, A.A. Balkema Publishers, Netherlands
8. Siregar, J.A., (2017), *Analisis Perbaikan Tanah Lunak Akibat Pengaruh Penggunaan PVD dan Geotekstil Dengan Menggunakan Metode Analitik dan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus Proyek Jalan Bebas Hambatan Medan- Kualanamu KM 35+622,42)*. Bidang Studi Geoteknik, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan.
9. Vemi W., Sri P., Retno W., & Windu P., (2016) *Analisa efek tiftas kedalaman pemasangan PVD Studi Kasus Konstruksi Timbunan Apron Bandara Ahmad Yani Semarang*, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah, Jakarta
10. Winner, D., (2017), *Perbaikan Tanah Dasar Menggunakan Pre-fabricated Vertical Drain Dengan Variasi Kedalaman dan Perkuatan Lereng Dengan Turap*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.