

Received 27th February 2022
Accepted 18th May 2022
Published 31th July 2022

Open Access

Analisis Perbaikan Tanah Lunak Metode *Preloading* dan *Preloading* Kombinasi *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dengan Variasi Panjang PVD (Studi Kasus: Pembangunan Jalan Tol Indralaya-Prabumulih)

Reynata Putri Utami^{a*}, Erdina Tyagita Utami^a, Julita Hayati^a

^a Program Studi Teknik Sipil, institut Teknologi Sumatera, Lampung

*Koresponden E-mail: 25.reynata@gmail.com

Abstract: Soil is important in infrastructure. Soft soil has poor characteristics, low bearing capacity, drains for long time, and high compressibility. To overcome these problems we must preloading and Prefabricated Vertical Drain. Indralaya-Prabumulih Toll Road STA -0+030 has soft soil depth 22 m. The purpose of this study is to calculate amount of soil subsidence, analyse comparison of the length of time for soil consolidation due preloading and combination of PVD and preloading, analyze excess pore water using plaxis, analyze effect variations of PVD with difference length on 5 m, 10 m, 15 m, 20 m and 22 m. Data processing was done by determining soil stratification, calculating soil parameters and modeling and analyzing soil improvement. Analytical results, the amount of soil subsidence is 1,263 m with 468 days consolidation time. Meanwhile, when using plaxis preloading method is 473 days and combined PVD method of PVD length 5 m PVD takes 323 days, PVD 10 m for 176 days, PVD 15 m for 90 days, PVD 20 m for 52 days, and PVD 22 m for 32 days. Effect of differences in PVD length variations is the time of consolidation. More longer PVD more faster the consolidation time and vice versa.

Keywords: Soil improvement, PVD, preloading, consolidation time, settlement, soft soil

Abstrak: Tanah memiliki peran penting pada infrastruktur. Tanah lunak memiliki karakteristik kurang baik, daya dukung rendah, mengalirkan dalam waktu yang lama, serta kompresibilitas tinggi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka perlu pembebanan awal (*preloading*) dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Pembangunan Jalan Tol Seksi Simpang Indralaya-Prabumulih STA -0+030 memiliki tanah lunak kedalaman 22 m. Tujuan penelitian ini yaitu menghitung besarnya penurunan tanah, menganalisis perbandingan lama waktu konsolidasi tanah akibat *preloading* serta kombinasi PVD dan *preloading*, menganalisis besar tegangan eksese air pori tanah secara metode elemen hingga, menganalisis pengaruh variasi panjang PVD dengan perbedaan panjang sebesar 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, dan 22 m. Pengolahan data dilakukan dengan menentukan stratifikasi tanah, menghitung parameter tanah dan memodelkan serta menganalisis perbaikan tanah. Dari hasil analisis, besar penurunan tanah 1,263 m dengan lama waktu konsolidasi 468 hari. Sedangkan apabila menggunakan program elemen hingga metode *preloading*, sebesar 473 hari dan metode *preloading* kombinasi PVD panjang PVD 5 m membutuhkan waktu 323 hari, PVD 10 m selama 176 hari, PVD 15 m selama 90 hari, PVD 20 m selama 52 hari, dan PVD 22 m selama 32 hari. Pengaruh perbedaan variasi panjang PVD yaitu waktu konsolidasi. Semakin panjang PVD maka semakin cepat waktu konsolidasi dan sebaliknya.

Kata Kunci: Perbaikan tanah, PVD, *preloading*, waktu konsolidasi, penurunan, tanah lunak

Pendahuluan

Keberadaan tanah pada pembangunan jalan memiliki peranan penting karena sebagai pijakan suatu

infrastruktur. Peranan ini mengharuskan kondisi tanah benar – benar baik agar bisa digunakan untuk kegiatan konstruksi. Kondisi tanah di Indonesia tidak sama untuk

tiap wilayah terutama pada daerah kabupaten Indralaya, Ogan Ilir. Kondisi tanah pada daerah ini merupakan lapisan tanah lunak.

Tanah lunak memiliki karakteristik yang kurang baik, daya dukung yang rendah, kemampuan mengalirkan dalam waktu yang lama, serta sifat kompresibilitas yang tinggi merupakan sifat umum dari tanah lunak. Kadar air yang tinggi merupakan salah satu faktor yang mengakibatkan tanah lunak tersebut menjadi rendah daya dukungnya. Selain itu, angka pori yang tinggi juga mengakibatkan tingkatan dari kompresibilitas di tanah lunak menjadi tinggi. Penurunan pada tanah terjadi ketika air ataupun udara keluar akibat pori-pori tanah terisi pada saat tanah tersebut diberi beban. Kondisi tanah lunak tersebut tidak baik sebagai lapisan tanah dasar dalam pembangunan konstruksi. [1]

Untuk mengatasi permasalahan tanah lunak maka perlu diadakan perbaikan pada kondisi tanah tersebut. Metode pembebanan awal (*preloading*) dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) adalah cara yang digunakan dalam memperbaiki tanah lunak. Metode *preloading* bertujuan agar tegangan air pori tanah meningkat sehingga proses konsolidasi bisa berlangsung. Metode ini dilakukan dengan memberi beban sementara di atas tanah lunak, oleh sebab itu air yang ada diantara butiran tanah keluar dan tanah mengalami pemampatan.

Sedangkan PVD adalah sistem drainase buatan yang dipasang memanjang ke atas pada lapisan tanah lunak. Tujuan dari PVD yaitu mempercepat proses air keluar dari dalam tanah atau jalan keluar air dari dalam pori-pori tanah. Pemasangan drainase vertikal bisa mengurangi waktu penurunan tanah menjadi lebih singkat. Namun, PVD saja belum cukup untuk lapisan tanah yang cukup tebal. Oleh sebab itu, perlu adanya suatu kombinasi dengan penambahan *preloading*.

Proyek pembangunan Jalan Tol Seksi Simpang Indralaya-Prabumulih STA -0+030 memiliki tanah lunak sampai dengan kedalaman 22 m sehingga perbaikan tanah perlu dilakukan di lokasi tersebut. Metode yang digunakan adalah *preloading* serta *preloading* kombinasi *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Oleh sebab itu, penelitian ini akan menganalisis mengenai perbaikan pada tanah dasar dengan kedalaman tanah lunaknya paling dalam, serta penurunan tanah dengan panjang PVD yang bervariasi. Penelitian ini akan menggunakan metode elemen hingga dalam melakukan analisis.

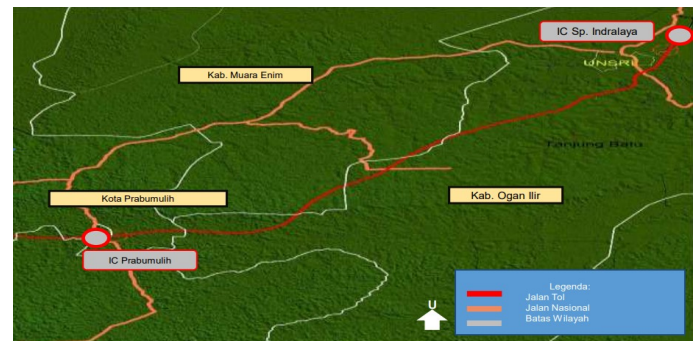
Metode

Pada penelitian ini akan menghitung besarnya penurunan tanah yang terjadi, menganalisis perbandingan lama waktu konsolidasi tanah akibat adanya *preloading* serta kombinasi *preloading* dan PVD, menganalisis besar tegangan eksese air pori tanah secara metode elemen hingga, dan menganalisis pengaruh dari variasi panjang PVD dengan perbedaan panjang sebesar 5m, 10m, 15m, 20m, dan 22m.

Analisis yang digunakan yaitu dengan metode perhitungan secara analitis dan dengan pemodelan metode elemen hingga. Dalam pengolahan data terdapat hal yang perlu dilakukan yaitu menentukan stratifikasi tanah, melakukan perhitungan parameter tanah dan memodelkan serta menganalisis perbaikan tanah. Data-data yang didapatkan melalui pengujian di laboratorium dan lapangan diolah agar nilai parameter tanah didapatkan. Pemodelan yang digunakan yaitu menggunakan metode elemen hingga. Program elemen hingga yang digunakan adalah Plaxis 2D v20.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yaitu berada di proyek pembangunan jalan tol ruas simpang Indralaya-Muara Enim seksi simpang Indralaya-Prabumulih terletak di Indralaya, Kabupaten Ogan Ilir, Kabupaten Muara Enim, Kota Prabumulih, Provinsi Sumatera Selatan. Yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Stratifikasi Tanah

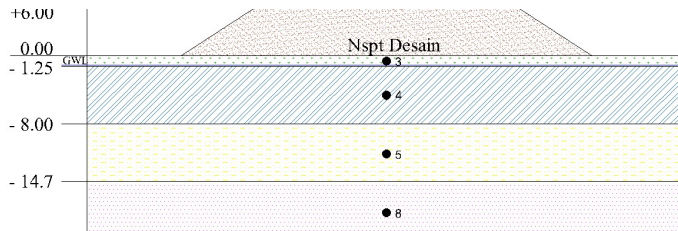
Stratifikasi tanah dilakukan agar bentuk tanah, jenis tanah, ketebalan tanah dan kedalaman di bawah permukaan tanah dapat diketahui.

Tabel 1. Data Lapisan Tanah BH-03

Kedalaman (m)		Ketebalan (m)	Jenis Tanah	Konsistensi	Nspt Design
Atas	Bawah				
0	1,25	1,25	Gambut, Lanauan	Soft	3
1,25	8	6,75	Lempung, Lanauan	Soft	4

8	14,7	6,7	Lanau, Pasiran	Medium	5
14,7	22	7,3	Pasir Halus, Lanauan	Loose	8

Data-data yang didapatkan melalui pengujian di laboratorium dan lapangan diolah agar nilai parameter tanah didapatkan.



Gambar 2. Stratifikasi Tanah Dasar

Parameter Tanah

Perlu adanya asumsi pada pengolahan data dikarenakan parameter tanah yang tidak diperoleh melalui pengujian di laboratorium akan dilakukan korelasi oleh sebab itu profil tanah beserta karakteristik yang digunakan pada pemodelan dan proses desain tanah didapatkan.

Tabel 2. Nilai Parameter Lapisan Tanah Dasar

Karakteristik	Simbol	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Satuan
Jenis Tanah	-	Lempung, Lanauan	Lanau, Pasiran	Pasir Halus, Lanauan	-
Material Model	-	Soft Soil	Soft Soil	Mohr Coulomb	-
Material Tipe	-	Undrained A	Undrained A	Drained	-
Kedalaman	H	-6,75	-6,7	-7,3	m
Berat Volume Tak Jenuh	γ unsat	14,834	16,842	11,391	kN/m ³
Berat Volume Jenuh Air	γ sat	17,50	19,00	14,80	kN/m ³
Angka Pori	e	0,975	0,617	1,692	-
Angka Poisson	ν'	-	-	0,3	-
Kohesi	c'	10	10	10	kN/m ²
Sudut Geser	ϕ'	30	30	35	°
Modulus Elastisitas	E	-	-	10000	kN/m ²
Indeks Permeabilitas horizontal	kh	0,2074	0,2074	0,1296	m/hari
Indeks Permeabilitas vertikal	kv	0,2074	0,2074	0,1296	
Sudut Dilatasi	ψ	-	-	-	°
Indeks kompresi	λ^*	0,2664	0,3254	-	-
Indeks swelling	K^*	0,1065	0,1302	-	-

Tabel 3. Nilai Parameter Tanah Timbunan

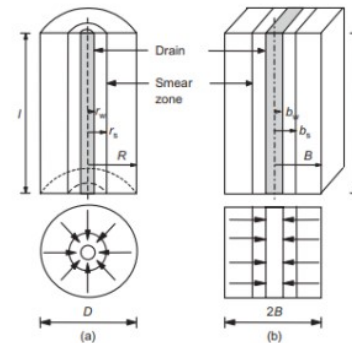
Karakteristik	Simbol	Timbunan	Satuan
Jenis Tanah	-	Pasir	-

Material Model	-	Mohr Coulomb	-
Material Tipe	-	Drained	-
Kedalaman	H	7,2	m
Berat Volume Tak Jenuh	γ unsat	18,5	kN/m ³
Berat Volume Jenuh Air	γ sat	18,5	kN/m ³
Angka Poisson	ν'	0,499	-
Kohesi	c'	5	kN/m ²
Sudut Geser	ϕ	35	°
Modulus Elastisitas	E'	13000	kN/m ²
Horizontal Permeability	kx	0,1	m/hari
Horizontal Permeability	ky	0,1	m/hari

Verifikasi Pemodelan Drainase Vertikal

Vertical drain dibuat dengan tujuan mempercepat proses konsolidasi tersebut. Vertical drain ditanamkan secara vertikal kedalam tanah. Pola pemasangan PVD secara langsung pada proyek konstruksi berdasarkan jarak tertentu tetapi pada program elemen hingga PVD bersifat menerus (*plane strain*).

Agar pemasangan PVD di lapangan dapat diimplementasikan ke dalam program maka terlebih dahulu permeabilitas harus di verifikasi ke dalam bentuk plane strain yang akan menghasilkan koefisien permeabilitas tanah (k) yang baru, lalu proses pengsimulasian pada program elemen hingga bisa dilakukan.



Gambar 3. Verifikasi Bentuk Penampang PVD pada Pemodelan

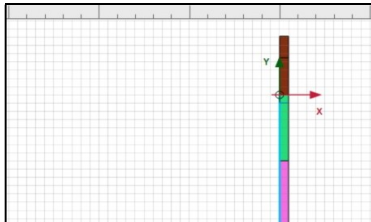
Axisymmetric dan *plane strain* merupakan model geometri yang paling mewakili kondisi di lapangan. *Plane strain* bersifat menerus sedangkan *axisymmetric* bersifat radial. Pada kenyataannya PVD memiliki sifat *axisymmetric*, namun pada program plaxis pemodelan secara penuh hanya dapat dilakukan dengan *plane strain*.

Dengan menggunakan program 2D ini perlu dilakukan penyetaraan dari kondisi *axisymmetric* ke *plane strain*. Dengan cara mengekivalenkan nilai permeabilitas sehingga mendapatkan nilai permeabilitas baru. Setelah hasil penurunan dari plane strain 1 unit telah mendekati hasil penurunan model *axisymmetric*, maka nilai permeabilitas

tiap lapisan tanah dari model plane strain tersebut dapat digunakan pada lapisan tanah di model kondisi plane strain kondisi penuh.

Berikut merupakan contoh pemodelan *axisymmetric*, plane strain, dan full model. Berikut ini persamaan yang digunakan untuk mengekivalenkan nilai permeabilitas.

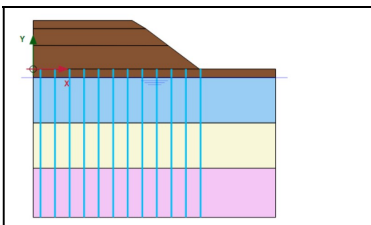
$$\frac{k_{h,ps}}{k_{h,ax}} = \frac{0,67 (n-1)^2}{n^2 [\ln(n) - 0,75]} \quad (1)$$



Gambar 4. Contoh Permodelan Kondisi *Axisymmetric*



Gambar 5. Contoh Permodelan Kondisi *Plane Strain*



Gambar 6. Contoh Permodelan Kondisi *Plane Strain Full*

Hasil dan Diskusi

Pada analisis ini, dilakukan perhitungan terhadap besar penurunan yang diakibatkan oleh beban pada lapisan tanah dasar. Setelah menghitung tegangan *overburden* efektif dan tegangan yang bekerja pada tanah timbunan maka akan didapatkan nilai OCR. Nilai OCR = 1 pada jenis tanah lempung yang terkonsolidasi normal, sedangkan nilai OCR > 1 apabila tanah tersebut adalah tanah lempung terkonsolidasi lebih.

Tabel 4. Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer

Lapisan	Kedalaman (m)		h m	P'o kN/m ²	Δp kN/m ²	Cs	e0	Sc m
	Atas	Bawah						
1	1,25	8	6,75	49,079	130,47	0,24	0,97	0,46
2	8	14,7	6,7	105,81	119,10	0,24	0,61	0,32
3	14,7	22	7,3	154,81	102,63	0,11	1,69	-
Total Penurunan primer setelah diberikan beban timbunan								0,794

Penurunan Segera/Elastik (*Immediate/elastic settlement*) adalah penurunan yang terjadi karena adanya deformasi yang elastis pada tanah kering, basah maupun jenuh air dengan tidak terjadinya perubahan pada kadar air.

Tabel 5. Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Elastik

Lapisan	h	Δp	B	m	Poisson Ratio (u)	Es	Ip	Se
	(m)	kN/m ²	m			kN/m ²		(m)
1	6,75	130,470	24	1,0417	0,4	5000	0,396	0,208
2	6,7	119,108	24	1,0417	0,3	6000	0,396	0,172
3	7,3	102,633	24	1,0417	0,25	10000	0,396	0,089
Total Penurunan elastik setelah diberikan beban timbunan								0,468

Berdasarkan hasil perhitungan penurunan konsolidasi dan penurunan elastik, maka diperoleh nilai total besar penurunan yang terjadi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$S_T = S_c + S_e + S_s \quad (2)$$

$$S_T = 0,794 \text{ m} + 0,468 \text{ m} + 0 \text{ m}$$

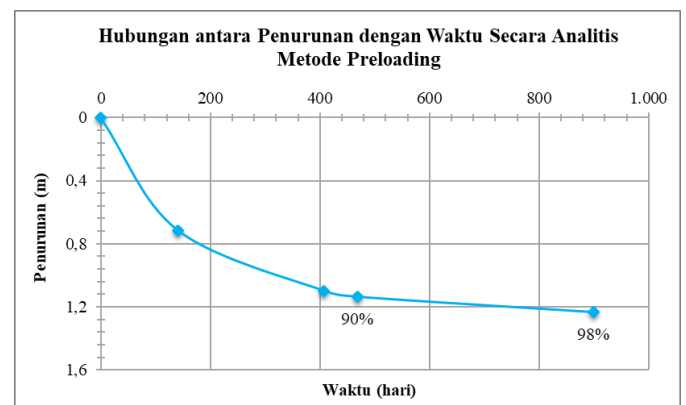
$$S_T = 1,263 \text{ m}$$

Berdasarkan hasil perhitungan penurunan konsolidasi dan penurunan elastik akibat timbunan bertahap, maka diperoleh nilai total besar penurunan yang terjadi pada setiap tahapan yaitu dapat dilihat pada Tabel 6. sebagai berikut:

Tabel 6. Rekapitulasi Perhitungan Perurunan Akibat Timbunan Bertahap

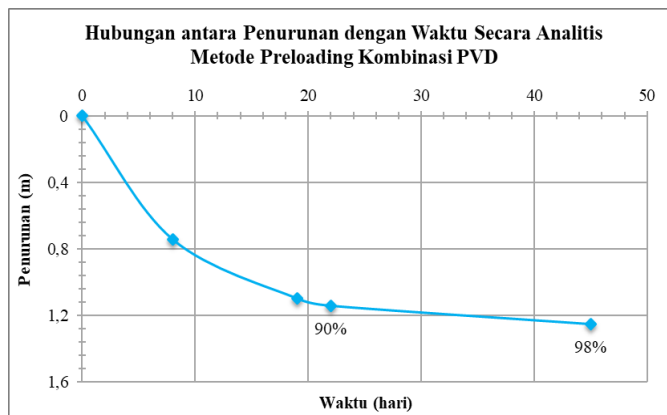
Timbunan Bertahap	Penurunan Konsolidasi	Penurunan Elastik	Total Penurunan
	(m)	(m)	(m)
Tahap 1	0,488	0,228	0,716
Tahap 2	0,708	0,390	1,098
Tahap 3	0,794	0,468	1,263

Dilanjutkan dengan perhitungan waktu pemampatan yang dibutuhkan agar pemampatan tersebut selesai. Berdasarkan Gambar 7. dapat diketahui bahwa untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dibutuhkan waktu selama 468 hari. Berikut merupakan grafik hubungan derajat konsolidasi terhadap waktu metode *preloading* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Penurunan Terhadap Waktu Secara Analitis Metode *Preloading*

PVD digunakan sebagai alat untuk mempercepat proses konsolidasi tanah dengan mengalirkan air pada tanah lunak tersebut. Pada penelitian ini dilakukan variasi panjang dari PVD, antara lain dipasang dengan panjang 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, disetiap kedalaman lapisan tanah, dan tanpa menggunakan PVD. Berdasarkan **Gambar 8.** dapat diketahui bahwa untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dibutuhkan waktu selama 22 hari. Berikut merupakan grafik hubungan derajat konsolidasi terhadap waktu metode *preloading* kombinasi *prefabricated vertical drain* (PVD) dapat dilihat pada **Gambar 8.**

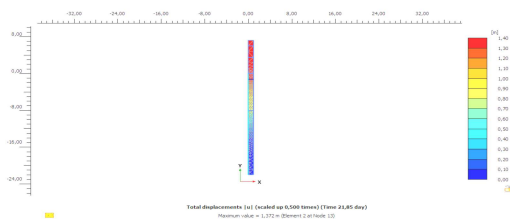


Gambar 8. Grafik Penurunan Terhadap Waktu Secara Analitis Metode *Preloading* Kombinasi PVD

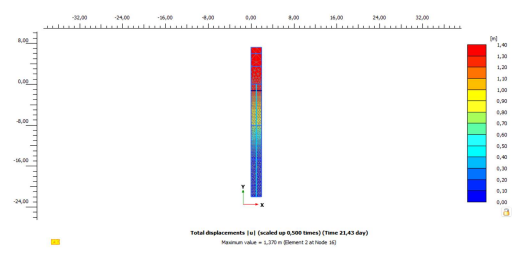
Konversi nilai permeabilitas pada pemodelan menjelaskan cara mengekuivalenkan *vertical drain* yang dipasang menjadi menerus (*plane strain*).

Tabel 7. Verifikasi Nilai Permeabilitas pada Pemodelan

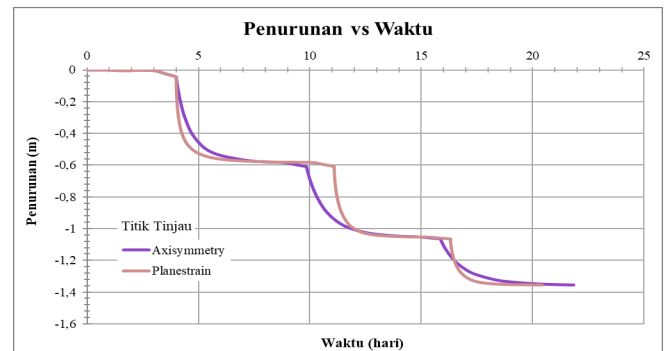
Lapisan	$k_v = k_h$	k_h, p_s
	(m/hari)	(m/hari)
1	0,2074	0,0448
2	0,2074	0,0448
3	0,1296	0,0280



Gambar 9. Total Displacement Metode *Preloading* Kombinasi PVD 22m pada Model *Axisymmetry*

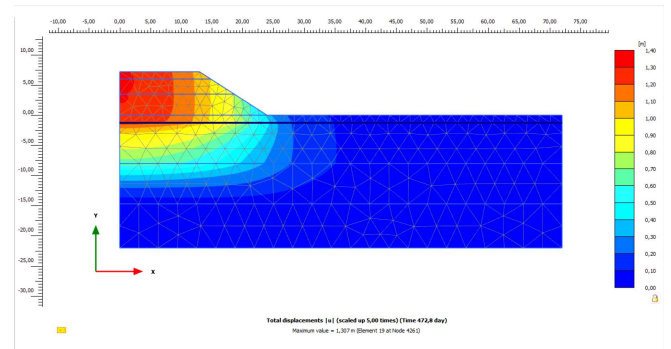


Gambar 10. Total Displacement Metode *Preloading* Kombinasi PVD 22m pada Model *Plainstrain*



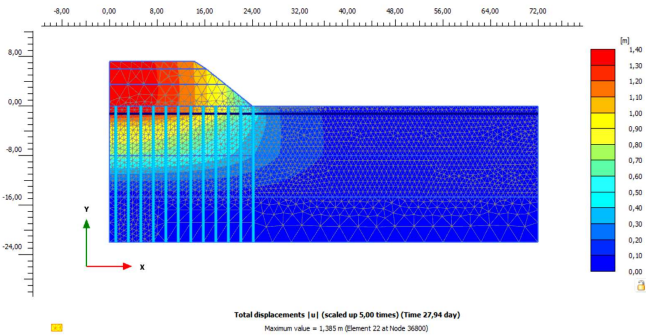
Gambar 11. Penurunan Terhadap Waktu Metode *Preloading* Kombinasi PVD 22m Model *Axisymmetry* dan *Plainstrain*

Penurunan dan waktu konsolidasi tanah menggunakan program elemen hingga, untuk tanah tanpa adanya perbaikan didapatkan hasil penurunan total sebesar 1,389 m dengan lama waktu konsolidasi sebesar 438,7 hari.



Gambar 12. Total Displacement Tanah Metode *Preloading*

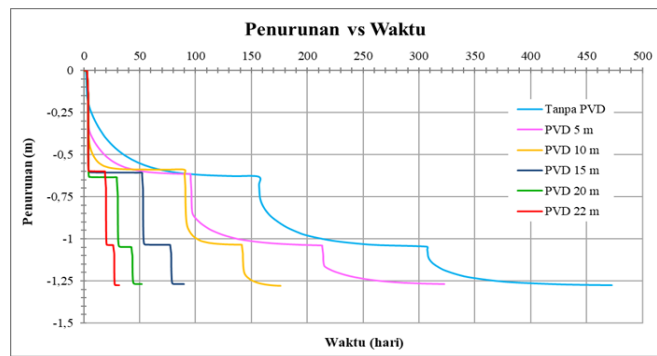
Pada kasus ini, untuk mencapai waktu konsolidasi dibutuhkan waktu yang cukup lama. Untuk mengurangi waktu tersebut maka perlu dilakukannya perbaikan tanah. Perbaikan tanah metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) memiliki tujuan utama yaitu untuk mempercepat waktu konsolidasi tanah. Metode yang akan dianalisis yaitu pola pemasangan PVD pola segitiga dengan Panjang PVD yang bervariasi yaitu sebesar 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, dan 22 m.



Gambar 13. Total Displacement Perbaikan Tanah dengan PVD 22 m

Tabel 8. Hasil Penurunan dan Waktu Konsolidasi pada Pemodelan

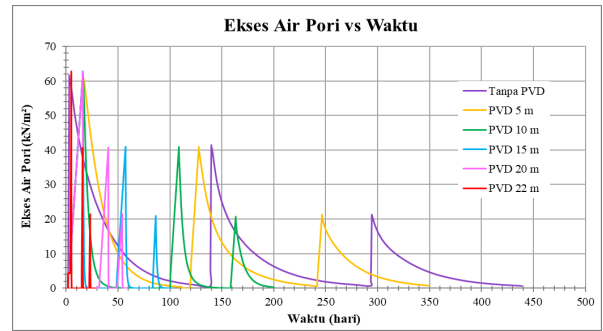
Kondisi	Penurunan Maksimum	Waktu Konsolidasi
	(m)	(hari)
Metode <i>Preloading</i>	1,389	439
Perbaikan PVD 5 m	1,389	350
Perbaikan PVD 10 m	1,390	200
Perbaikan PVD 15 m	1,388	102
Perbaikan PVD 20 m	1,385	59
Perbaikan PVD 22 m	1,385	28



Gambar 14. Rekapitulasi Hasil Perbandingan Penurunan Terhadap Waktu Konsolidasi Secara Elemen Hingga

Tabel 9. Rekapitulasi Nilai *Excess Pore Pressure* Maksimum

No.	Titik Tinjau	Kondisi	EPP Maksimum
			(kN/m ²)
1	D	Metode <i>Preloading</i>	61,00
2		PVD 5 m	60,50
3		PVD 10 m	60,83
4		PVD 15 m	61,35
5		PVD 20 m	61,05
6		PVD 22 m	61,16



Gambar 15. Rekapitulasi Hasil Perbandingan *Excess Pore Pressure* Terhadap Waktu Konsolidasi titik D

Pertambahan beban akibat adanya timbunan akan mengakibatkan naiknya tekanan air pori, dimana air akan memikul beban akibat timbunan tersebut. Namun dengan proses konsolidasi akan menyebabkan tekanan air pori ekses menjadi berkurang karena air akan keluar dari masa tanah, sehingga beban tersebut akan dipikul oleh butir tanah itu sendiri. Berikut ini merupakan rekapitulasi nilai ekses pore pressure maksimum dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah

1. Besar penurunan yang diperoleh berdasarkan hasil analisis secara manual yaitu sebesar 1,263 m. Sedangkan besar penurunan yang diperoleh secara program elemen hingga metode *preloading* yaitu sebesar 1,307 m dan metode *preloading* kombinasi PVD dengan variasi panjang PVD didapatkan besar penurunan dengan rata-rata 1,307 m.
2. Pada perhitungan analitis, lama waktu konsolidasi yang diperoleh yaitu sebesar 468 hari. Sedangkan lama waktu konsolidasi yang diperoleh menggunakan program elemen hingga metode *preloading* yaitu sebesar 473 hari dan metode *preloading* kombinasi PVD panjang PVD 5 m membutuhkan waktu 323 hari, panjang PVD 10 m membutuhkan waktu 176 hari, panjang PVD 15 m membutuhkan waktu 90 hari, panjang PVD 20 m membutuhkan waktu 52 hari, dan panjang PVD 22 m membutuhkan waktu 32 hari.
3. Hasil analisa tegangan air *excess pore pressure* maksimum menggunakan metode elemen hingga didapatkan hasil untuk metode *preloading* sebesar 61,00 kN/m² sedangkan untuk metode *preloading* kombinasi PVD hasil yang didapatkan yaitu panjang PVD 5 m sebesar 60,50 kN/m², panjang PVD 10 m sebesar 60,83 kN/m², panjang PVD 15 m sebesar 61,35 kN/m², panjang PVD 20 m sebesar 61,05 kN/m², dan panjang PVD 22 m sebesar 61,16 kN/m².

4. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, pengaruh perbedaan variasi panjang PVD yaitu terdapat pada waktu konsolidasi. Semakin panjang pemasangan PVD maka waktu konsolidasi semakin cepat dan sebaliknya, semakin pendek pemasangan PVD maka waktu konsolidasi semakin lama. Adapun pemasangan panjang PVD sebesar 22 m memiliki waktu konsolidasi yang paling singkat yaitu 32 hari.

Konflik Kepentingan

Tidak ada konflik kepentingan yang dinyatakan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dalam kegiatan dan penyusunan tulisan ini.

1. Allah SWT, atas rahmat dan karunia-Nya yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
2. Diri sendiri karena tidak pernah memutuskan untuk menyerah sesulit apapun proses penyusunan tugas akhir ini.
3. Mami, Papi, Reynita, Reysha, beserta anggota keluarga yang telah menjadi penyemangat, memberikan doa dan dukungan serta motivasi baik secara moril maupun materil.
4. Dr. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T., sebagai ketua Jurusan Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan Institut Teknologi Sumatera.
5. Ir. Titi Liliani Soedirjo, M.Sc., selaku ketua Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi Sumatera.
6. Erdina Tyagita Utami, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, arahan dan saran hingga selesainya laporan Tugas Akhir ini.
7. Julita Hayati, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, arahan dan saran hingga selesainya laporan Tugas Akhir ini.
8. Syahidus Syuhada, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan bimbingan, arahan, kritik dan saran hingga selesainya laporan Tugas Akhir ini.
9. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar Program Studi Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu dan pengetahuannya, serta Staff dan Laboran yang telah membantu penulis terkait administrasi selama penulis berkuliah di kampus ini.

Referensi

- [1] Barimbing, F. R. B., 2017. *Analisis Penurunan Waktu Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan Metode Preloading dan Prefabricated Vertical Drain*. Medan: Universitas Sumatera Utara.

- [2] Ameratunga, J., Sivakugan, N. & B. M., 2016. *Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*. Springer India: Developments in Geotechnical Engineering.
- [3] Bowles, J. E., 1991. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknik Tanah (Mekanika Tanah)*. 2nd ed. Jakarta: Erlangga.
- [4] Han, J., 2015. *Principles and Practice of Ground Improvement*. Canada: John Wiley & Sons Inc.
- [5] Hardiyatmo, H. C., 2020. *Perbaikan Tanah*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [6] Hidayati, A. M. & Ardana, M. D. W., 2008. Kombinasi Preloading dan Penggunaan Prefabricated Vertical Drains Untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung Lunak. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, Volume XII.
- [7] Hidayat, S., 2020. *Perencanaan Struktur Bawah Gedung LPPM (Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat) Selatan Institut Teknologi Sumatera (ITERA)*. Lampung Selatan: Institut Teknologi Sumatera.
- [8] Indrarnatna, S., B. & B., 2005. *Theoretical and Numerical Perspectives and Field Observations for the Design and Performance Evaluation of Embankments Constructed on Soft Marine Clay*. Australia: University of Wollongong.
- [9] Kuswanda, W. P., 2015. Problematika Pembangunan Infrastruktur Pada Tanah Lempung Lunak dan Alternatif Metoda Penanganannya. *Pembangunan Berkelanjutan di Lahan Basah*, pp. 16-17.
- [10] M. Das, B., 2016. *Principles of Foundation Engineering*. 8th ed. Boston: Cengage Learning.
- [11] Michael, J. & Kawanda, A., 2020. Perencanaan Prefabricated Vertical Drain Menggunakan Metode Elemen Untuk Memperoleh Pola dan Jarak Yang Efektif. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, Volume III, pp. 937-950.
- [12] Nur, R., 2020. *Analisis Perbaikan Tanah Lunak Metode Preloading dan Metode Kombinasi Preloading dan Prefabricated Vertical Drain dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga Tiga Dimensi Studi Kasus Pembangunan Jalan Tol di Sumatera*. Lampung Selatan: Institut Teknologi Sumatera.
- [13] P. L. P. T., 2002. *Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-Sifat Dasar Tanah Lunak*. Bandung: Kimpraswil.
- [14] Rujikiatkamjorn, C. & Indrarnatna, B., 2007. *Soft ground improvement by vacuum-assisted preloading*. Australia: University of Wollongong.
- [15] Siahaan, L. P., 2017. *Alternatif Perkuatan Tanah Dasar dan Perkuatan Timbunan Pada Jalan Tol Palembang-Indralaya*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Noverber.
- [16] Zhafirah, A. & Amalia, D., 2019. Perencanaan Preloading dengan Penggunaan Prefabricated Vertical Drain Untuk Perbaikan Tanah Lunak Pada Jalan Tol Pejagan-Pemalang. Volume XXI.