JCEBT
(Journal of Civil Engineering, Building and Transportation)

Available online <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>

Prediksi Penurunan Konsolidasi Menggunakan *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* dengan Software Metode Elemen Hingga

Prediction of Consolidation Settlement Using Preloading and Prefabricated Vertical Drain with Finite Element Method Software

Tika Ermita Wulandari

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Medan Area, Indonesia

*Corresponding Email: tikaermitawulandari@gmail.com

Abstrak

Konsolidasi merupakan proses keluarnya air dari dalam pori-pori tanah yang menyebabkan terjadinya perubahan volume tanah yang berdampak rusaknya konstruksi di atasnya. Hal ini lebih fatal jika penurunan yang terjadi bersifat setempat. Dewasa ini penggunaan *vertical drain* semakin banyak diminati terutama dengan sistem *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* yang dapat mengurangi waktu proses konsolidasi tanah secara signifikan dari beberapa tahun ke hitungan bulan serta dengan kemajuan teknologi terciptalah *software* yang dapat mempermudah dalam menghitung pengerjaan konstruksi dengan program komputer, salah satunya *software* metode elemen hingga (Plaxis) untuk menghitung proses penurunan konsolidasi. Penelitian ini bertujuan menganalisis menggunakan *software* Metode Elemen Hingga dengan bantuan program plaxis 2D dan 3D untuk mendapatkan besar penurunan konsolidasi. Hasil dari pemodelan 2D dan 3D akan dibandingkan sehingga didapat hasil yang paling mendekati dengan kondisi lapangan. Dari hasil analisis dapat disimpulkan besar penurunan pada Plaxis 3D lebih mendekati dengan data *settlement plate* S29 dengan besar penurunan 6,956m atau selisih -0,234m, sedangkan besar penurunan pada Plaxis 2D yaitu 7,491 dengan selisih penurunan sebesar 0,301m.

Kata Kunci: Konsolidasi, *Preloading*, *Prefabricated Vertical Drain*, Plaxis

Abstract

Consolidation is the process of removing water from the pores of the soil which causes changes in the volume of the soil which results in damage to the construction above it. This is more fatal if the decline that occurs is local. Nowadays the use of vertical drains is increasingly in demand, especially with the Prefabricated Vertical Drain (PVD) system which can reduce the time of the soil consolidation process significantly from several years to a matter of months and with technological advances, software is created that can make it easier to calculate construction work with computer programs, one of which is the only finite element method software (Plaxis) to calculate the consolidation settlement process. This study aims to analyze using Finite Element Method software with the help of 2D and 3D plaxis programs to get the consolidation settlement size. The results of 2D and 3D modeling will be compared so that the results that are closest to the field conditions are obtained. From the results of the analysis, it can be concluded that the magnitude of the decrease in Plaxis 3D is closer to the settlement plate data S29 with a decrease of 6.956m or a difference of -0.234m, while the magnitude of the decrease in Plaxis 2D is 7.491 with a difference of decrease of 0.301m.

Keywords: Consolidation, *Preloading*, *Prefabricated Vertical Drain*, Plaxis

How to Cite: Wulandari, T. E. (2021). Prediksi Penurunan Konsolidasi Menggunakan *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* dengan Software Metode Elemen Hingga. *JCEBT (Journal of Civil Engineering, Building and Transportation)*. 5 (2): 99 - 108

PENDAHULUAN

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Mochtar & Mochtar, 1995).

Untuk mendirikan bangunan, baik gedung, jembatan, jalan raya, pelabuhan, semuanya membutuhkan pondasi yang kuat. Agar diperoleh pondasi yang kuat, pondasi tersebut haruslah terletak pada tanah yang mampu menahan beban pondasi. Pada kenyataannya tanah yang ditemukan di lapangan tidak semuanya baik menerima beban. Misalnya pada tanah lunak, tidak mampu menerima beban, sehingga tanah lunak tersebut perlu diperbaiki agar dapat membangun pondasi (Ahmad, 2014).

Pada kenyataannya tanah lunak bersifat kurang menguntungkan secara teknis untuk mendukung suatu pekerjaan konstruksi. Plastisitas yang tinggi, kembang susut yang tinggi dan daya dukung yang rendah serta kandungan air

yang tinggi dan sulit terdrainasi karena permeabilitas tanah relatif rendah serta kompresibilitas yang besar menyebabkan tanah mengalami penurunan yang besar dan dalam waktu yang sangat lama. Hal ini seringkali menjadi kendala dalam pelaksanaan suatu pekerjaan konstruksi (Hidayati & Ardana, 2008).

Konsolidasi (*consolidation*) adalah suatu proses pengecilan volume secara perlahan-lahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori. Dengan kata lain, pengertian konsolidasi adalah proses terperasnya air tanah akibat bekerjanya beban statis, yang terjadi sebagai fungsi waktu karena kecilnya permeabilitas tanah. Proses ini berlangsung terus sampai kelebihan tekanan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total telah benar-benar hilang (Darwin, 2018).

Dampak yang terjadi konstruksi akan rusak karena adanya penurunan tanah yang terjadi. Hal ini lebih fatal jika penurunan yang terjadi bersifat setempat (Hayati, 2019).

Dewasa ini penggunaan *vertical drain* semakin banyak diminati terutama dengan sistem *Prefabricated Vertical Drain*

(PVD) yang dapat mengurangi waktu proses konsolidasi tanah secara signifikan dari beberapa tahun ke hitungan bulan saja (Ariza, dkk., 2014).

Seiring dengan kemajuan teknologi terciptalah berbagai macam metode dan *software* yang dapat mempermudah dalam menghitung pengerjaan konstruksi dengan program komputer, salah satunya *software* metode elemen hingga (Plaxis) untuk menghitung proses penurunan konsolidasi.

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan sebelumnya maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti dan dianalisis yaitu bagaimana prediksi penurunan konsolidasi dengan bantuan *software* Metode Elemen Hingga yaitu Plaxis 2D dan 3D.

Penelitian ini bertujuan menganalisis menggunakan *software* Metode Elemen Hingga dengan bantuan program plaxis 2D dan 3D untuk mendapatkan besar penurunan konsolidasi. Hasil dari pemodelan 2D dan 3D akan dibandingkan sehingga didapat hasil yang paling mendekati kondisi lapangan. Adapun manfaat yang ingin dicapai untuk menambah wawasan bagi penulis dan pembaca tentang aplikasi penggunaan *software* Plaxis dalam mempercepat perhitungan konsolidasi dan kombinasi

preloading dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) mampu mempercepat proses konsolidasi.

METODE PENELITIAN

Proyek reklamasi Belawan *phase 1* dengan luas $\pm 350 \text{ m} \times 362 \text{ m}$, proyek ini dikerjakan bertujuan untuk penambahan lahan/daratan yang nantinya akan digunakan untuk Dermaga, *Container Yard* dan Utilitas TPK Belawan. Peta lokasi proyek dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1. Lokasi reklamasi Belawan *phase 1*
Sumber : Google Maps, 2021

Penelitian ini menganalisis kondisi tanah eksisting berdasarkan data *Bore Hole* tanah yaitu data BH-01 yang mewakili kondisi tanah disekitarnya. Lokasi BH-01 dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Lokasi BH-01
Sumber : Data Proyek, 2016

Lokasi titik *bore* yang ditinjau berdekatan dengan titik *settlement plate* 29 (S29), Sehingga data yang akan digunakan sebagai data pembanding adalah penurunan pada S29. Denah lokasi S29 dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Denah Lokasi S29
Sumber : wulandari, 2020

Dari hasil pengujian tanah dilapangan sedalam 60 m didapatlah data sebagai berikut :

1. Jenis tanah pada kedalaman 0-1,5m adalah *sandy clay*
2. Jenis tanah pada kedalaman 1,5-15m adalah *clay*
3. Jenis tanah pada kedalaman 15-18m adalah *sandy silt*
4. Jenis tanah pada kedalaman 18-22m adalah *organic clay*
5. Jenis tanah pada kedalaman 22-32m adalah *clayey sand*
6. Jenis tanah pada kedalaman 32-37m adalah *silty clay*
7. Jenis tanah pada kedalaman 37-50m adalah *clayey sand*
8. Jenis tanah pada kedalaman 50-60m adalah *silty clay*

Pada pelaksanaannya di Lapangan proyek reklamasi ini menggunakan metode kombinasi *preloading* dan *PVD*. Kombinasi metode ini diharapkan akan mempercepat waktu konsolidasi timbunan agar pekerjaan konstruksi di atasnya dapat dilakukan. Penurunan konsolidasi di lapangan dapat dipantau dengan menggunakan instrumen geoteknik berupa *settlement plate* (Manihuruk & Iskandar, 2019). Instalasi PVD dilakukan pada kedalaman -40m sampai dengan +4m

diatas permukaan tanah. Proses instalasi PVD dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4. Instalasi PVD
Sumber : Dokumentasi Proyek, 2016

Pemodelan pada Plaxis dilakukan dengan memperhitungkan efek *smear zone* pada tanah agar hasil yang didapat dari

output plaxis persis dengan yang terjadi di Lapangan. Sementara pemodelan PVD menggunakan ekuivalen yang awalnya setempat-setempat diubah menjadi *plane strain*. Tanah dibagi menjadi 2 perilaku tanah yaitu *drained* dan *undrained*. Lapisan tanah yang memiliki data pengujian konsolidasi dimodelkan *soft soil* sedangkan lapisan tanah yang tidak dilakukan pengujian konsolidasi dimodelkan *mohr-coulomb* dengan korelasi nilai NSPT. Data-data yang diinput pada program Plaxis dapat dilihat

Tabel 1. Hasil analisis pemodelan tanah dengan korelasi nilai NSPT

Uraian	Satuan	Material Properties Bore Hole-01								
		Timbunan	Sandy Clay	Clay	Sandy Silt	Organic Clay	Clayey Sand 1	Silty Clay 1	Clayey Sand 2	Silty Clay 2
Nama Lapisan	Preloading	1	2	3	4	5	6	7	8	
Material model	-	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Kedalaman	m	11.0-0	0-1,5	1,5 - 15	15-18	18-22	22-32	32-37	37-50	50-60
Drainage type	-	Drained	Drained	Undrained	Drained	Undrained	Drained	Undrained	Drained	Undrained
E	kN/m ²	25000	600	600	600	600	600	600	700	700
γ_{unsat}	kN/m ³	14,84	7,85	7,85	7,85	2,2	13,9	8,9	13,9	8,9
γ_{sat}	kN/m ³	19,1	14,6	14,6	14,6	10,3	18,4	15,1	18,4	15,1
λ^* (lambda)		-	-	0,1019	-	0,2272	-	-	0,0692	-
κ^* (kappa)		-	-	0,0394	-	0,0449	-	-	0,0269	-
ν (nu)		0,3	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
c_{ref}	kN/m ²	0	15,5	15,5	15,5	12,9	22,4	29,2	22,4	29,2
ϕ (phi)	°	33,1	12,4	12,4	12,4	20,8	14,1	13,3	14,1	13,3
k_x	m/hari	1	0,0005	0,0005	0,0005	0,2182	0,0153	0,0005	0,0153	0,0005
k_y	m/hari	1	0,0005	0,0005	0,0005	0,2182	0,0153	0,0005	0,0153	0,0005

Sumber : Analisis Peneliti, 2020

Adapun perbedaan pemodelan 2D dan 3D yaitu untuk tebal *mesh* 2D diasumsikan tidak terbatas sedangkan pada 3D tergantung pada jumlah baris PVD yang akan dimodelkan. Pemodelan *smear zone* untuk 2D disumsikan berbentuk silinder dengan s' kelipatan dari d_m (ekivalensi diameter *mandrel*) sedangkan 3D menggunakan ukuran s' yang sebenarnya terjadi di Lapangan. Untuk pemodelan 2D menggunakan r_w (jari-jari *PVD*) dengan nilai setengah dari nilai Ekivalensi Diameter *PVD* (d_w), r_s (radius *smear zone*) dan r_e (radius ekivalen pengaruh PVD) sedangkan Pemodelan 3D digunakan ukuran *smear zone*, pola instal dan daerah pengaruh yang sebenarnya. Untuk 2D deformasi yang terjadi kearah vertikal dan horizontal sedangkan 3D berdeformasi arah lateral, vertikal dan horizontal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada permodelan Plaxis dibutuhkan analisis dampak dari efek instalasi PVD sehingga dilakukan perhitungan efek *smear zone* dengan menggunakan metode hird. Lapisan-lapisan yang berdampak saat instalasi PVD dapat diuraikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Lapisan yang terdampak efek *smear zone*

Lapisan	Area	Jenis Tanah	Tebal lapisan (m)
1	Reklamasi Tahap 2	Sand	1,2
2	Reklamasi Tahap 1	Sand	2,8
3	Eksisting	<i>sandy clay</i>	1,5
4	Eksisting	<i>Clay</i>	13,5
5	Eksisting	<i>Sandy Silt</i>	3
6	Eksisting	<i>Organic Clay</i>	4
7	Eksisting	<i>Clayey Sand</i>	10
8	Eksisting	<i>Silty Clay</i>	5
9	Eksisting	<i>Clayey Sand</i>	3

Sumber : Analisis Peneliti, 2020

1. Perhitungan Efek *Smear Zone*

Dari data *properties* tanah yang terganggu akibat pemancangan PVD (*smear zone*), besar nilai k_{ax} (permeabilitas arah horizontal) akibat pemancangan PVD dapat dihitung dengan menggunakan persamaan hird sebagai berikut:

$$\frac{k_{hp}}{k_{ax}} = \frac{2 B^2}{3 R^2 \left[\ln \left(\frac{R}{r_s} \right) + \left(\frac{k_{ax}}{k_s} \right) \ln \left(\frac{r_s}{r_w} \right) - \frac{3}{4} \right]}$$

k_{ax} : koefisien permeabilitas horizontal kondisi tanah tidak terganggu

k_s : koefisien permeabilitas horizontal kondisi tanah terganggu kondisi *axysimmetric*

B : $\frac{1}{2}$ dari lebar

R : Jari jari ekivalen

R_s : radius *smear zone*

R_w : radius PVD

Tabel 3. Nilai K_{ax} sebelum dan sesudah *smear zone*

Uraian	Satuan	K_{ax} sebelum efek <i>smear zone</i>	K_{ax} sesudah efek <i>smear zone</i>
Timbunan	m/hari	1	1
<i>sandy clay</i>	m/hari	0,0005	0,0001
<i>Clay</i>	m/hari	0,0005	0,0001
<i>Sandy Silt</i>	m/hari	0,0005	0,0001
<i>Organic Clay</i>	m/hari	0,2182	0,0387
<i>Clayey Sand 1</i>	m/hari	0,0153	0,0027
<i>Silty Clay 1</i>	m/hari	0,0005	0,0001
<i>Clayey Sand 2</i>	m/hari	0,0153	0,0027
<i>Silty Clay 2</i>	m/hari	0,0005	0,0001

Sumber : Analisis Peneliti, 2020

2. Perhitungan Software Plaxis

Pemodelan Plaxis mengikuti *cross section* S29, dimana lokasi yang ditinjau berada pada koordinat $X = 468963,916$ LS dan $Y = 419633,816$ LU. *Cross section* S29 dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5. *Cross section* S29

Sumber : Dokumentasi Proyek, 2016

Kondisi lapangan disimulasikan sedetail mungkin ke dalam program Plaxis untuk mengimplementasikan tahapan pelaksanaan sehingga hasil yang didapat akurat dan menggambarkan kondisi yang sebenarnya di Lapangan. Jenis pemodelan yang digunakan yaitu *plane strain* dengan Lebar penampang yang ditinjau 50m. Tipe *mesh very fine* dengan 15 titik nodal. Pemodelan lapisan tanah dan PVD dengan Plaxis 2D dapat terlihat pada Gambar 6.

Gambar 6. Pemodelan Plaxis 2D

Sumber : Analisis Peneliti, 2020

Pada Plaxis 3D pemodelan lapisan tanah menggunakan pemodelan *full*, 10 titik nodal dan lebar penampang tinjauan 50 m. Pemodelan PVD dua baris berjarak 1,5m menggunakan pola pemasangan segitiga. Pemodelan PVD 3D dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7. Pemodelan PVD dengan Plaxis 3D
Sumber : Analisis Peneliti, 2020

Penentuan titik tinjau pada *Generate Mesh* berada pada koordinat $x = 25\text{m}$ $y = 0$. Dimana hasil yang didapat dengan menggunakan tipe mesh *very fine* untuk

Plaxis 2D yaitu 11.279 elemen dan 90.711 node sedangkan pada Plaxis 3D 114.620 elemen dan 156.555 node.

Dengan karakteristik *smear zone* $s = 2$ $k = 2$, diperoleh hasil penurunan yang terjadi pada Plaxis 2D sebesar 7,491m, Plaxis 3D sebesar 6,956m sedangkan total penurunan konsolidasi pada data *settlement plate* S-29 sebesar 7,190m. Hal ini dapat didapat dikatakan bahwa penurunan 3D lebih mendekati dengan selisih penurunan sebesar -0,234m, sedangkan 2D selisih penurunan sebesar 0,301m. Hasil *output* Plaxis dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil *output* Plaxis

Plaxis 2D						Plaxis 3D								
Point	Time [day]	u_y [m] N/A	Point	Time [day]	u_y [m] N/A	Point	Time [day]	u_z [m]	Point	Time [day]	u_z [m]	Point	Time [day]	u_z [m]
0	-	-	16	120,00	-4,120	0	0,00	-	16	3,01	-0,073	32	65,24	-2,104
1	-	0,000	17	123,99	-4,471	1	0,00	0,000	17	3,02	-0,073	33	91,50	-2,520
2	1,50	-0,036	18	130,00	-5,049	2	0,00	0,000	18	3,03	-0,073	34	103,00	-2,695
3	3,00	-0,073	19	131,00	-5,371	3	0,01	0,000	19	3,06	-0,074	35	109,57	-2,978
4	4,50	-0,100	20	132,00	-5,756	4	0,01	0,000	20	3,11	-0,075	36	118,07	-3,426
5	6,00	-0,129	21	135,99	-6,127	5	0,03	-0,001	21	3,22	-0,077	37	120,00	-3,531
6	8,00	-0,944	22	143,97	-6,497	6	0,06	-0,001	22	3,44	-0,081	38	125,00	-3,884
7	11,99	-1,274	23	159,94	-6,899	7	0,12	-0,003	23	3,88	-0,089	39	130,00	-4,271
8	16,00	-1,444	24	191,87	-7,267	8	0,24	-0,005	24	4,75	-0,105	40	131,00	-4,480
9	19,99	-1,588	25	235,00	-7,491	9	0,48	-0,011	25	6,00	-0,129	41	132,00	-4,739
10	27,97	-1,815				10	0,96	-0,022	26	11,00	-0,799	42	138,57	-5,227
11	43,94	-2,160				11	1,92	-0,045	27	16,00	-1,043	43	151,70	-5,725
12	75,87	-2,689				12	3,00	-0,073	28	19,28	-1,161	44	177,96	-6,301
13	103,00	-3,085				13	3,00	-0,073	29	25,85	-1,339	45	229,46	-6,898
14	106,99	-3,287				14	3,01	-0,073	30	38,98	-1,623	46	235,00	-6,956
15	114,97	-3,785				15	3,01	-0,073	31	52,11	-1,874			

Sumber : Analisis Peneliti, 2020

Dari hasil grafik *output* Plaxis yang meskipun elevasi timbunan belum diperoleh menunjukkan terdapat bertambah sedangkan pada Plaxis perbedaan pola penurunan pemodelan dilakukan pembagian fase kalkulasi Plaxis dengan data *settlement plate* S29. didasarkan atas kenaikan tinggi timbunan. Perbedaan ini disebabkan peninjauan data Hal ini dapat dilihat pada Gambar 8. pada Lapangan dilakukan setiap hari

Gambar 8. Perbandingan penurunan konsolidasi
Sumber : Analisis Peneliti, 2020

KESIMPULAN

Dari hasil analisis menggunakan *software* Metode Elemen Hingga yaitu Plaxis maka dapat disimpulkan besar penurunan pada Plaxis 3D lebih mendekati dengan data *settlement plate* S29 dengan besar penurunan 6,956m atau selisih -0,234m, sedangkan besar penurunan

pada Plaxis 2D yaitu 7,491 dengan selisih penurunan sebesar 0,301m.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, I. (2014) Analisa Metode Perbaikan Tanah Lunak dan Kohesif : Jurnal Menara Jurusan Teknik Sipil FT. UNJ ISSN : 1907 – 4360.
Ariza, Satibi, S. & Fatnanta, F. (2014). Analisis Pengaruh Parameter Permeabilitas

- Smear Zone Terhadap Penurunan Konsolidasi (Studi Kasus Di Pltu ±Pekanbaru, Riau). Jom FTEKNIK Volume 1 No. 2 Oktober 2014.*
- Darwis, H. (2018). *Dasar-dasar Mekanika Tanah*. Yogyakarta : Pena Indis.
- Das, B.M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering, Cengage Learning. tamford, Connecticut.*
- Hayati, T. (2019). Analisis Pengaruh *Smear Zone* pada Penurunan dan Waktu Konsolidasi Proyek Reklamasi Belawan Fase II dengan Plaxis 2D dan 3D.
- Hidayati, A.M & 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. 12, Juli 2008.
- Hird, C. C., Pyrah, I. C., Russell, D., & Cinicioglu, F. (1995). *Modelling the effect of vertical drains in two-dimensional finite element analyses of embankments on soft ground. Canadian Geotechnical Journal*, 32(5), 795–807.
- Iskandar, R. (2018). Teknik Perbaikan Tanah dengan Menggunakan PVD dan Preloading. *Medan : USU Press.*
- Manihuruk, J.N. & Iskandar, R. (2019) (Evaluasi Derajat Konsolidasi Preloading dan Prefabricated Vertical Drain (PVD) dengan Menggunakan Metode Asaoka (Studi Kasus Proyek Container Port Phase 2 Pelabuhan Belawan).
- Mochtar, N.E & Mochtar, I.B (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)* Braja M. Das. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Wulandari, T. E. (2020). Analisis Konsolidasi menggunakan *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* dengan Metode Perhitungan Analitis, Plaxis 2D dan 3D pada Proyek Reklamasi Belawan Phase I. *Tesis*. Sekolah Pascasarjana USU.