

Analisis Konsolidasi dengan Menggunakan Metode *Preloading* dan *Vertical Drain* pada Areal Reklamasi Proyek Pengembangan Pelabuhan Belawan Tahap II

OHOIMAS, M., Y.¹, HAMDHAN, I., N.²

¹ Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Nasional

² Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Nasional

e-mail : ohoimasyanuar@yahoo.com

ABSTRAK

Penurunan tanah merupakan permasalahan yang tidak dapat dihindari, hal ini menyebabkan perbaikan tanah sangat dibutuhkan, seperti yang terjadi pada proyek Pengembangan Pelabuhan Belawan Tahap II. Dua metode perbaikan tanah adalah yang sering digunakan yaitu metode pemberian beban awal dan metode vertical drain. Analisa akan dilakukan untuk menentukan jarak antar vertical drain dan juga untuk mengetahui besar penurunan tanah (U) dan lama waktu yang dibutuhkan (t) dengan analisa manual dan Metode Elemen Hingga dengan software PLAXIS 2D AE. Hasil analisa akan dibandingkan untuk mengetahui perbedaan besar penurunan dan waktu yang dibutuhkan dan juga untuk mengetahui pengaruh jarak antar vertical drain terhadap lama waktu penurunan. Data yang digunakan dalam analisa ini adalah data hasil pengujian SPT di lapangan dan pengujian di laboratorium yang meliputi consolidation test, triaxial compression test dan index properties test. Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan, penurunan yang terjadi adalah 0,835m dengan lama waktu untuk perbaikan tanah dengan menggunakan preloading adalah 178000 hari, sedangkan untuk perbaikan tanah dengan menggunakan metode preloading dan vertical drain adalah 120 hingga 135 hari.

Kata kunci :Penurunan tanah, perbaikan tanah, preloading, vertical drain, Metode Elemen Hingga, PLAXIS 2012 AE

ABSTRACT

Soil settlement is a problem that can not be avoided, this causes the need of soil improvement, as in the case of Belawan Port Development Project Phase II. There are two soil improvement methods commonly used that are the preloading method and the vertical drain method. Analysis will be performed to determine the distance between the vertical drain and also to determine the soil settlement occurred (U) and the length of time it takes (t) by manual analysis and also the Finite Element Method with software PLAXIS 2D AE. The results of the analysis will be compared to determine differences the settlement and the time required and also to determine the effect of the distance between the vertical drains to the duration of settlement. Data used in this analysis are the SPT test data in the field and laboratory testing which includes the consolidation test, triaxial

compression test and index properties test. Based on the analysis results, the settlement is obtained at 0.835 m with the duration it takes for soil improvement by using preloading is 178000 days, while soil improvement by using preloading and vertical drains method is 120 until 135 days.

Key words : *Soil settlement, soil improvement, preloading, vertical drain, Finite Element Method, PLAXIS 2012 AE*

1. PENDAHULUAN

Pemberian beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab-sebab lain dimana faktor-faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan (Braja M. Das, 1985).

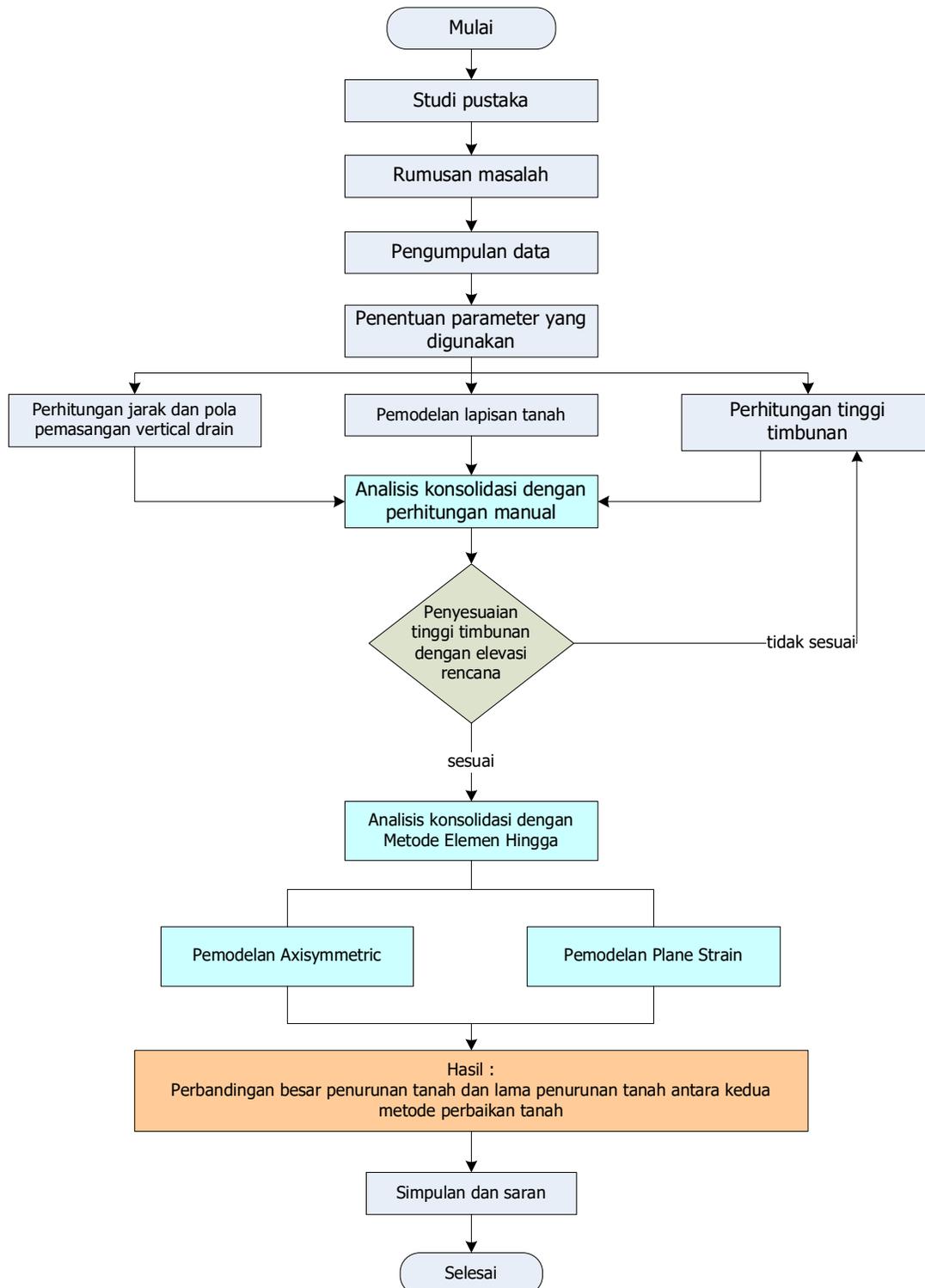
Penurunan tanah menyebabkan beberapa kasus kegagalan konstruksi, hal ini dikarenakan tanah asli belum pernah memikul beban yang lebih besar dibandingkan beban yang sedang bekerja, sehingga tanah tidak mampu memikul beban konstruksi yang telah dibangun. Oleh karena itu, sebelum dilakukan proses konstruksi perbaikan tanah perlu dilakukan dimana tanah diberikan beban awal (*preloading*) agar terjadi penurunan sehingga ketika konstruksi telah selesai dikerjakan tidak akan terjadi penurunan tanah lagi. Pada umumnya penurunan tanah membutuhkan waktu yang dapat menunda pekerjaan konstruksi dengan cukup lama. Untuk mempercepat proses penurunan tanah, *vertical drain* digunakan untuk mempercepat keluarnya air dari dalam tanah.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Tugas Akhir ini dimulai dengan mengumpulkan data-data yang akan digunakan, data - data tersebut meliputi data hasil uji lapangan, data hasil uji laboratorium, data material tanah timbunan dan data rencana pelabuhan. Data awal yang diperoleh dari pengujian di lapangan adalah data hasil uji SPT yang dilengkapi hasil *boring log*. Untuk hasil pengujian di laboratorium data parameter tanah yang didapatkan adalah berat isi kering (γ_{dry}), berat isi basah (γ_{sat}), kohesi (c), sudut geser (ϕ), koefisien konsolidasi (c_c) dan angka pori (e) yang diperoleh dari *index properties test*, *triaxial test* dan *consolidation test*. Data parameter material timbunan yang digunakan adalah γ_{dry} , γ_{sat} , c dan ϕ . Data rencana pelabuhan yang digunakan adalah beban rencana, tinggi elevasi rencana pelabuhan, luas areal reklamasi dan kemiringan lereng timbunan.

Mengacu pada hasil perhitungan besar penurunan tanah yang telah diperoleh maka dilakukan perhitungan lama waktu penurunan yang dibutuhkan adalah hingga mencapai 90% penurunan total, dilanjutkan dengan menentukan pola pemasangan dan jarak antar *vertical drain*. Hasil – hasil perhitungan di atas digunakan untuk menentukan model geometri yang akan digunakan pada PLAXIS 2D AE. Pada tahapan terakhir, Analisa dilakukan dengan menggunakan PLAXIS 2D AE untuk mengetahui besar penurunan tanah (U) dan lama waktu penurunan (t) yang dibutuhkan dari perbaikan tanah dengan menggunakan kombinasi metode *preloading* dan *vertical drain*.

Analisis Konsolidasi dengan Menggunakan Metode *Preloading* dan *Vertical Drain* pada Areal Reklamasi
Proyek Pengembangan Pelabuhan Belawan Tahap II



Gambar 1 Bagan alir metodologi penelitian.

2.1. Data Pengujian di Laboratorium

Data hasil pengujian di laboratorium yang digunakan merupakan parameter tanah hasil pengujian *index properties test*, *triaxial test* dan *consolidation test*. Berikut ini adalah data hasil pengujian yang digunakan dalam analisa :

Tabel 1 Data parameter tanah hasil uji laboratorium.

BORE HOLE NO	KEDALAMAN CONTOH TANAH UDS YANG DIAMBIL	DATA TRIAXIAL COMPRESSION TEST		CONSOLIDATION TEST		INDEX PROPERTIES	
		Cohesion (C) kg / cm ²	Angle Of Int. Friction (Ø) ^o	CC	eo	Wet Density (t/m ³)	Dry Density (Yd)
BH. 2R	7,00 - 7,50	0.10	5.61	0.390	1.865	1.370	0.760
	13.00 - 13.50	0.10	6.50	0.330	1.795	1.410	0.840
	21.00 - 21.50	0.14	6.03	0.370	1.645	1.520	0.850
	31.00 - 31.50	0.13	6.03	0.380	1.640	1.290	0.670

2.2. Data Parameter Material Timbunan

Material timbunan yang digunakan merupakan pasir yang diambil dari sekitar lokasi reklamasi, parameter tanah timbunan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- γ_{dry} = 16 kN/m³ (diatas permukaan air)
- γ_{sat} = 18 kN/m³ (dibawah permukaan air)
- c = 5 kN/m²
- ϕ = 35°/30° (untuk lapisan di bawah permukaan air)

2.3. Data Perencanaan Pelabuhan

Data rencana pelabuhan yang digunakan dalam pembahasan yaitu :

- Tinggi elevasi pelabuhan = + 4,055m
- Luas rencana areal reklamasi = 371,8m x 400,75m
- Kemiringan lereng timbunan = 1 : 2
- Beban rencana :
 - Berat satu peti kemas 20-ft = 20 ton
 - Dimensi peti kemas = 6 x 2,438 x 2,586 (m)
 - Rencana penumpukan maksimum = 4 tumpuk

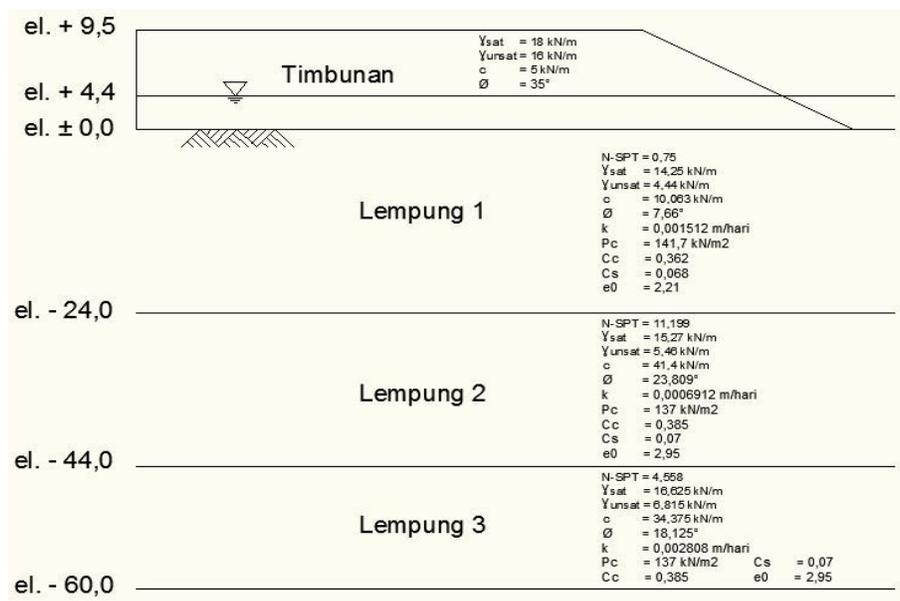
3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Dalam menentukan besar penurunan dan lama waktu yang dibutuhkan, perhitungan awal meliputi, penentuan tinggi timbunan yang akan digunakan, pemodelan lapisan tanah dan penentuan pola pemasangan dan jarak antar *vertical drain*, sebagai acuan pemodelan geometri. Analisis penurunan akan dilakukan dengan menggunakan perhitungan manual dan juga menggunakan Metode Elemen Hingga dengan program PLAXIS 2D AE.

3.1. Pemodelan Lapisan Tanah

Pemodelan lapisan tanah yang dilakukan mengacu pada hasil pengujian SPT, dimana dalam menentukan suatu lapisan tanah, harus mempertimbangkan deskripsi tanah dan juga N-SPT. Berdasarkan data hasil pengujian, pemodelan lapisan tanah yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 2.

Analisis Konsolidasi dengan Menggunakan Metode *Preloading* dan *Vertical Drain* pada Areal Reklamasi
 Proyek Pengembangan Pelabuhan Belawan Tahap II



Gambar 2 Pemodelan lapisan tanah.

3.2. Penentuan Tinggi Timbunan

Penentuan tinggi timbunan mengacu pada beban yang akan bekerja dimana beban terbesar merupakan beban tumpukan peti kemas dengan rencana 4 tumpuk pada area *container yard* dan elevasi rencana setinggi 4,055 m dari muka air laut atau 8,455 m dari dasar laut. Berdasarkan hasil perhitungan, tinggi timbunan yang diperlukan untuk menggantikan beban rencana adalah 3,42 m. Tinggi ini tidak memenuhi elevasi rencana, sehingga tinggi timbunan akan ditentukan kembali dengan menghitung besar penurunan. Berdasarkan hal ini, tinggi timbunan yang dibutuhkan adalah 9,5 m.

3.3. Analisa Konsolidasi Akibat Beban Timbunan

Berdasarkan kepada hasil penentuan tinggi timbunan, data parameter material tanah timbunan dan data parameter lapisan tanah, data tanah yang digunakan adalah :

Tabel 2 Parameter tanah dan besar beban timbunan.

	Ketebalan (h)	Berat Isi Kering (γ_d)	Berat Isi Basah (γ_{sat})
	(m)	(kN/m^3)	(kN/m^3)
Di Atas Air	4.6	16	-
Di Bawah Air	4.4	-	18

Tabel 3 Parameter lapisan tanah hasil pengujian di laboratorium.

Lapisan Tanah	Tebal Lapisan (h)	Berat Isi Basah (γ_{sat})	Berat Isi Air (γ_w)	Berat Isi Efektif (γ')	Tekanan Prakonsolidasi (P_c)	Koefisien Konsolidasi	Koefisien Pemuaian	Angka Pori
	(m)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(kN/m^2)	(C_c)	(C_s)	(e_0)
Lempung 1	24	14.25	9.81	4.44	141.7	0.363	0.068	2.21
Lempung 2	20	15.27	9.81	5.46	137	0.385	0.07	2.95
Lempung 3	16	16.625	9.81	6.815	137	0.385	0.07	2.95

Dengan menggunakan data pada Tabel 2 dan Tabel 3, besar penurunan tanah yang terjadi dapat dilihat pada tabel 4 dibawah ini :

Tabel 4 Analisa konsolidasi untuk lapisan tanah lempung 1.

Soil Layer	Ketebalan (H)	(h)	ΔP	Tekanan Overburden (Po)	Jenis Konsolidasi	Pc/Po	(Po+ΔP)/Po	Penurunan (Sc)
	(m)	(m)		(kN/m2)				(kN/m2)
1	0.899	0.450	58.818	1.996	OC1	70.980	30.463	0.028
2	0.924	0.462	58.818	4.047	OC1	35.013	15.534	0.023
3	0.937	0.468	58.818	6.127	OC1	23.127	10.600	0.020
4	0.946	0.473	58.818	8.226	OC1	17.225	8.150	0.018
5	0.952	0.476	58.818	10.339	OC1	13.705	6.689	0.017
6	0.957	0.478	58.818	12.463	OC1	11.369	5.719	0.015
7	0.961	0.480	58.818	14.596	OC1	9.708	5.030	0.014
8	0.964	0.482	58.818	16.736	OC1	8.467	4.515	0.013
9	0.966	0.483	58.818	18.881	OC1	7.505	4.115	0.013
10	0.969	0.484	58.818	21.032	OC1	6.737	3.797	0.012
11	0.971	0.485	58.818	23.187	OC1	6.111	3.537	0.011
12	0.972	0.486	58.818	25.345	OC1	5.591	3.321	0.011
13	0.974	0.487	58.818	27.507	OC1	5.151	3.138	0.010
14	0.975	0.488	58.818	29.672	OC1	4.775	2.982	0.010
15	0.976	0.488	58.818	31.840	OC1	4.450	2.847	0.009
16	0.978	0.489	58.818	34.011	OC1	4.166	2.729	0.009
17	0.979	0.489	58.818	36.183	OC1	3.916	2.626	0.009
18	0.979	0.490	58.818	38.357	OC1	3.694	2.533	0.008
19	0.980	0.490	58.818	40.534	OC1	3.496	2.451	0.008
20	0.981	0.491	58.818	42.712	OC1	3.318	2.377	0.008
21	0.982	0.491	58.818	44.891	OC1	3.157	2.310	0.008
22	0.982	0.491	58.818	47.072	OC1	3.010	2.250	0.007
23	0.983	0.492	58.818	49.255	OC1	2.877	2.194	0.007
24	0.984	0.492	58.818	51.438	OC1	2.755	2.143	0.007
Σ								0.297

Contoh perhitungan untuk layer 1 lapisan tanah lempung 1 :

$$\begin{aligned}
 P_0 &= \gamma' * \Delta h \\
 &= 4,44 * 0,5 \\
 &= 2,22 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$(\Delta P + P_0) < P_{cr}$, maka jenis konsolidasi layer 1 adalah over consolidated

$$\begin{aligned}
 S_c &= \frac{C_s}{1 + e_o} H \log \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right) \\
 &= \frac{0,068}{1+2,21} * 1 * \log \left(\frac{2,22+58,818}{2,22} \right) \\
 &= 0,030 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan untuk layer selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama, sehingga total penurunan yang terjadi pada lapisan tanah lempung 1 sebesar 0,297m. Perhitungan untuk lapisan tanah lempung 2 dan lempung 3 dapat dilihat pada Lampiran B, dimana besar penurunan tanah akibat beban timbunan dengan tinggi 9,5m adalah 0,835m.

3.4. Penentuan Pola Pemasangan dan Jarak Antar *Vertical Drain*

Beberapa koefisien dan parameter tanah yang perlu ditentukan dalam menentukan jarak antar *vertical drain* yaitu faktor kadar lapisan pasir (f), koefisien konsolidasi vertikal (c_v) dan horizontal (c_h), diameter ekivalen *vertical drain* (d_e), faktor waktu konsolidasi vertikal (T_v), derajat konsolidasi vertikal (U_v), derajat konsolidasi radial (U_r), faktor waktu konsolidasi radial (T_r), diameter daerah tangkapan *vertical drain* (D). Hasil perhitungan jarak antar *vertical drain* untuk pola persegi dan segitiga adalah :

- Pola persegi

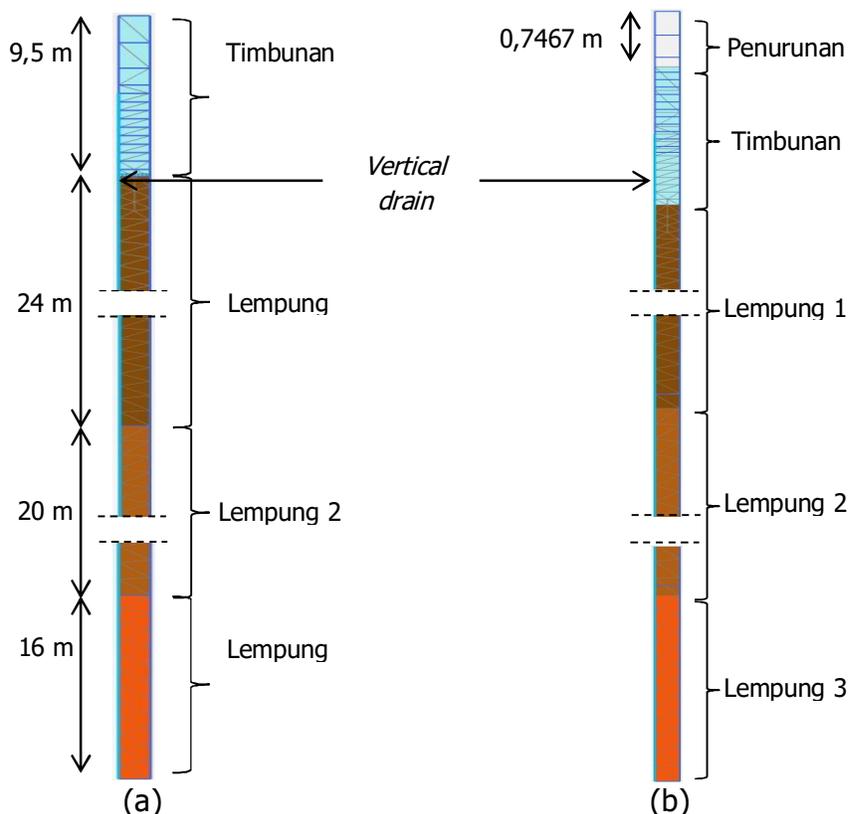
$$D = 1,13 * S, \text{ maka } S = \frac{2,5414}{1,13} = 2,25 \text{ m}$$

- Pola segitiga

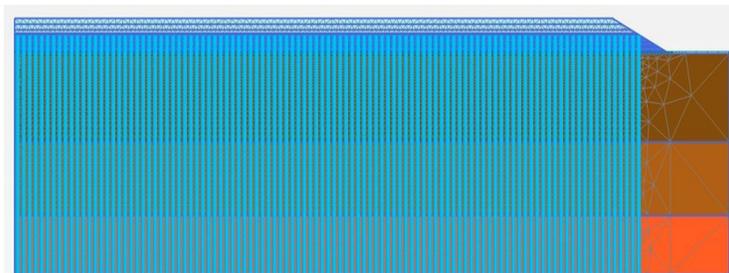
$$D = 1,06 * S, \text{ maka } S = \frac{2,5414}{1,06} = 2,4 \text{ m}$$

3.5. Analisis Konsolidasi dengan Metode Elemen Hingga

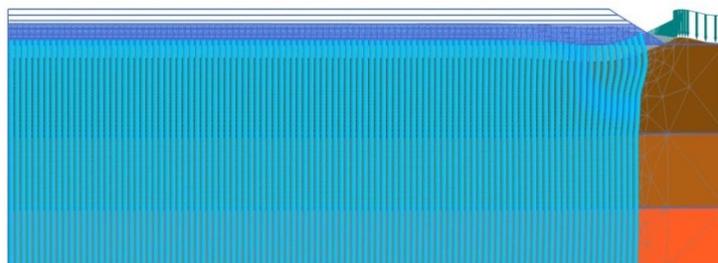
Analisa dengan metode elemen hingga ini dilakukan untuk metode perbaikan tanah dengan kombinasi *preloading* dan *vertical drain*, keduanya akan dianalisa dengan menggunakan model *axisymmetric* dan *plane strain* dengan menggunakan PLAXIS 2012 AE, seperti pada gambar di bawah ini.



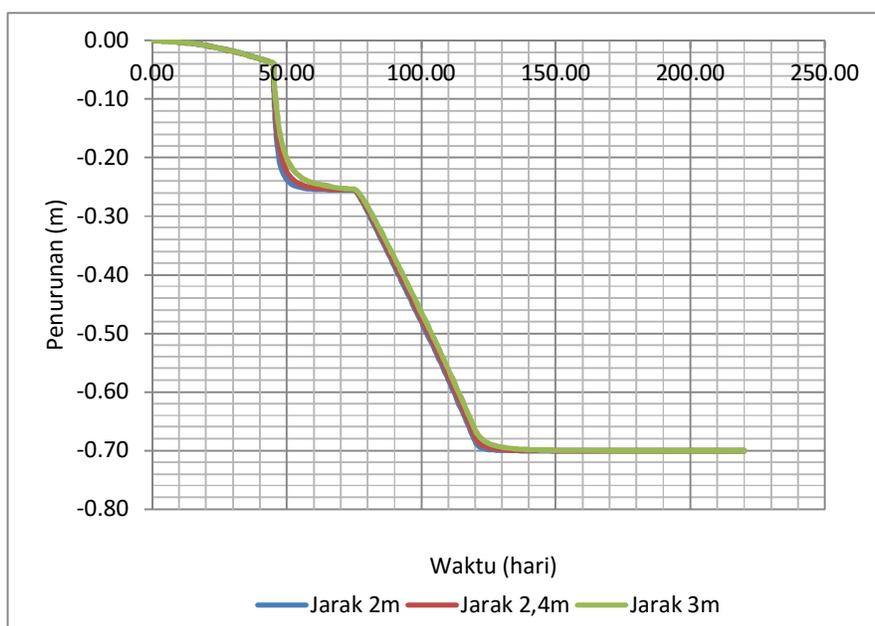
Gambar 3 (a) Model geometri (b) deformasi penurunan tanah untuk analisa konsolidasi metode *preloading* dan *vertical drain* untuk model *axisymmetric*.



Gambar 4 Pemodelan geometri untuk perbaikan tanah dengan menggunakan metode *preloading* dan *vertical drain* untuk model *plane strain*.

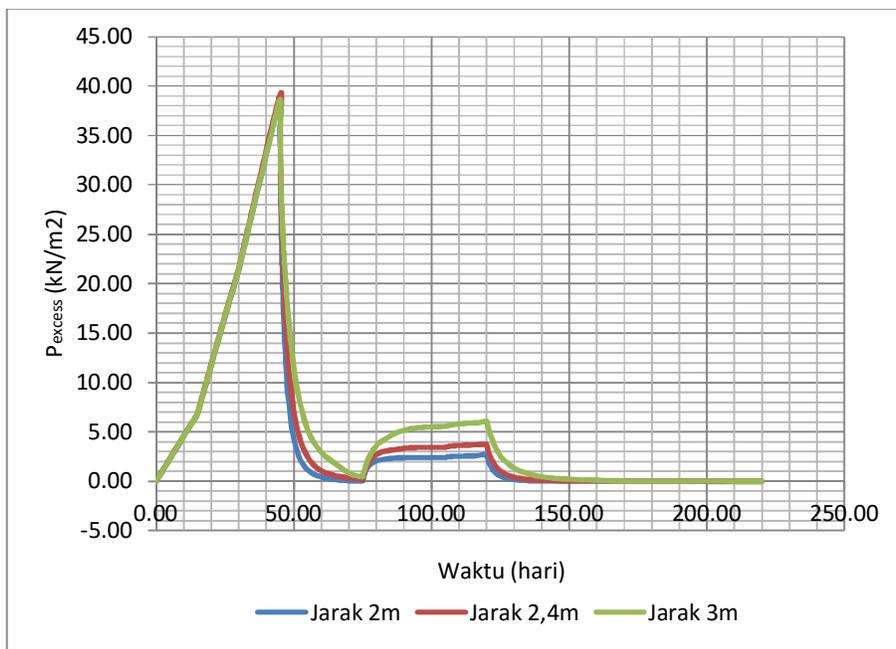


Gambar 5 Deformasi penurunan tanah untuk metode perbaikan dengan *preloading* dan *vertical drain* untuk model *plane strain*.



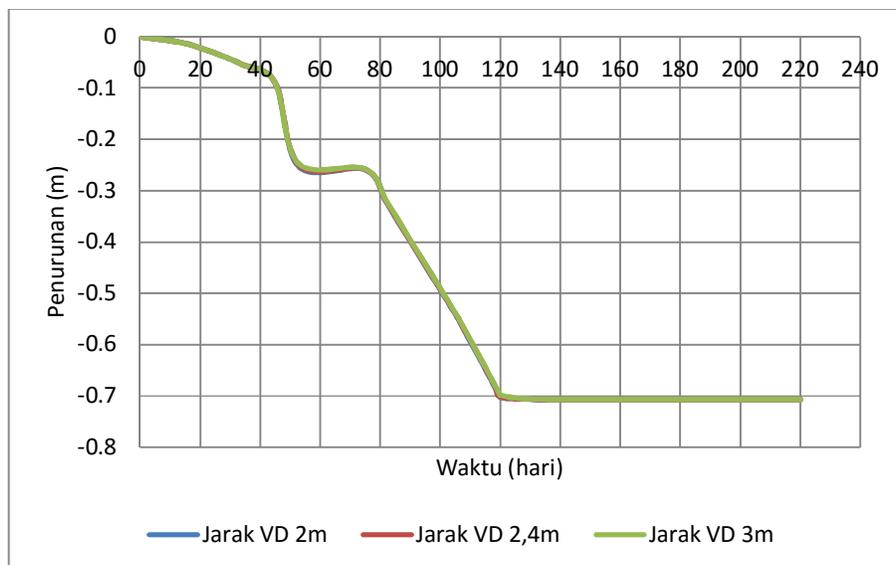
Gambar 6 Grafik perbandingan hubungan penurunan tanah (U) dan waktu (t) untuk model *axisymmetric*.

Dari perbandingan yang dilakukan pada Gambar 6, tidak ada perbedaan besar penurunan yang terjadi, sedangkan waktu untuk mencapai penurunan maksimum yang dibutuhkan antara ketiga kombinasi jarak antar *vertical drain* yang dilakukan terdapat sedikit perbedaan dimana untuk jarak *vertical drain* 2m lebih cepat mencapai penurunan maksimum, sedangkan untuk jarak *vertical drain* 3m lebih lama. Sehingga, pengaruh jarak antar *vertical drain* sangat mempengaruhi lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penurunan maksimum.



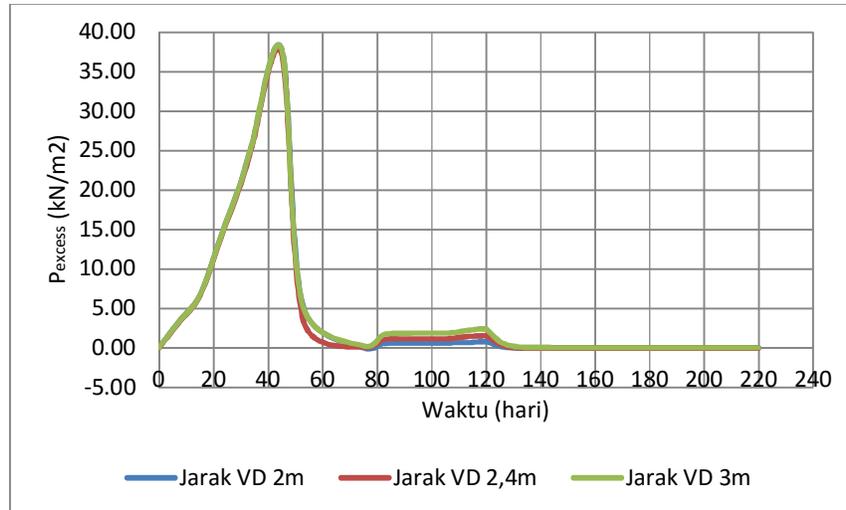
Gambar 7 Grafik perbandingan hubungan tekanan air pori (P_{excess}) dan waktu (t) untuk model *axisymmetric*.

Pada Gambar 7, tekanan air pori terbesar terjadi ketika jarak antar *vertical drain* yang digunakan adalah 3 meter sedangkan yang terkecil terjadi pada jarak antar *vertical drain* 2 meter. Semakin jauh jarak antar *vertical drain*, maka tekanan air pori akan semakin besar. Hal ini disebabkan air yang terdesak akibat beban akan membutuhkan jarak yang lebih lama untuk mencapai drainase. Air semakin terdesak akibat tegangan yang timbul oleh beban tetap bekerja sehingga air mencapai *vertical drain* dan air dapat teralirkan dengan bebas sehingga tanah mencapai penurunan maksimum.



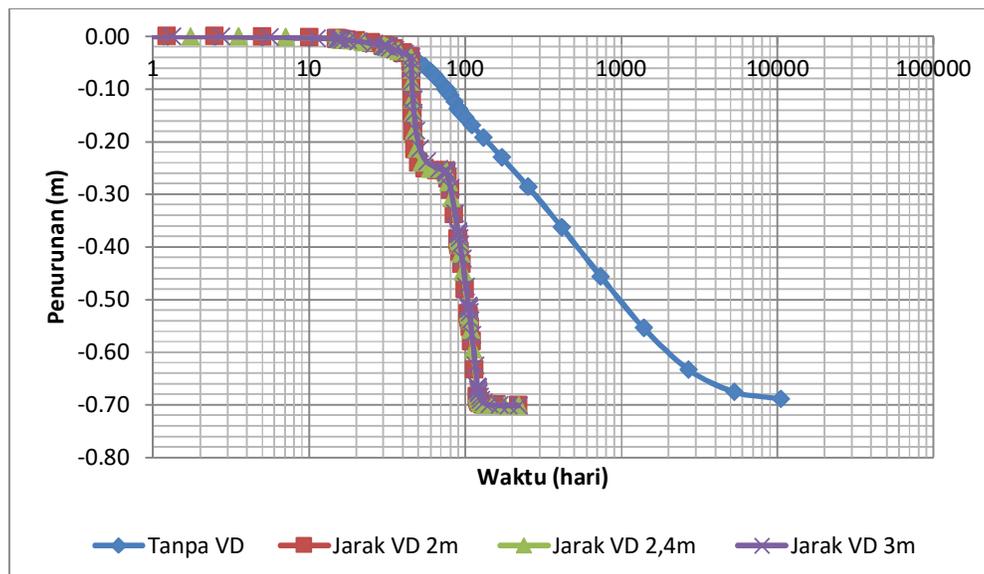
Gambar 8 Grafik perbandingan hubungan penurunan tanah (U) dan waktu (t) untuk model *plane strain*.

Dari perbandingan yang dilakukan pada Gambar 8 di atas, ada kesamaan antara perbandingan besar penurunan untuk pemodelan *axisymmetric* dan *plane strain*, dimana tidak terdapat perbedaan yang cukup besar yang disebabkan jarak antar *vertical drain* terhadap besar penurunan, tetapi hanya mempercepat proses penurunan tanah.



Gambar 9 Grafik perbandingan hubungan tekanan air pori (P_{excess}) dan waktu (t) untuk model *plane strain*.

Pada Gambar 9, ada perbedaan tekanan air pori antara kombinasi jarak *vertical drain*, dimana untuk jarak 2 meter tekanan air pori yang terjadi lebih kecil dibandingkan tekanan air pori untuk jarak 2,4 meter dan juga untuk jarak 3 meter. Hal ini cenderung sama dengan yang terjadi pada pemodelan *axisymmetric*, dimana semakin besar jarak antar *vertical drain* maka semakin besar tekanan air pori.



Gambar 10 Grafik perbandingan hubungan penurunan tanah (U) dan waktu (t) untuk perbaikan tanah dengan dan tanpa menggunakan *vertical drain*.

Berdasarkan pada Gambar 10, perbedaan menunjukkan signifikansi antara perbaikan tanah dengan menggunakan *vertical drain* dan tanpa menggunakan *vertical drain*, dimana dengan menggunakan *vertical drain* waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penurunan hanya membutuhkan waktu 120 hingga 130 hari sedangkan untuk perbaikan tanah dengan hanya menggunakan *preloading* membutuhkan waktu lebih dari 10000 hari atau 27 tahun.

Besar penurunan yang terjadi antara perbaikan tanah dengan menggunakan *preloading* saja dan juga perbaikan tanah dengan menggunakan *vertical drain* tidak berbeda jauh, seperti pada Tabel 5 di bawah ini :

Tabel 5 Hasil analisis konsolidasi untuk perbaikan tanah metode *preloading* dan metode *preloading* dan *vertical drain*

	Metode <i>Preloading</i>	Metode <i>Preloading</i> dan <i>Vertical Drain</i>					
		<i>Axisymmetry</i>			<i>Plane Strain</i>		
		Jarak antar <i>vertical drain</i> 2m	Jarak antar <i>vertical drain</i> 2,4m	Jarak antar <i>vertical drain</i> 3 m	Jarak antar <i>vertical drain</i> 2m	Jarak antar <i>vertical drain</i> 2,4m	Jarak antar <i>vertical drain</i> 3 m
Besar Penurunan	0,835 m	0,7467 m	0,7471 m	0,7466 m	0,8664 m	0,8678 m	0,8658 m

Perbedaan kedua metode perbaikan hanya terletak pada penggunaan *vertical drain*, hal ini yang menyebabkan perbedaan magnitudo penurunan tanah tidak terlalu signifikan, karena *vertical drain* hanya memberikan pengaruh pada waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penurunan maksimum.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Perbedaan besar penurunan tanah yang terjadi untuk perbaikan tanah dengan menggunakan metode *preloading* dan juga metode *preloading* dan *vertical drain* tidak terlalu signifikan, dimana besar penurunan untuk perbaikan tanah dengan menggunakan *vertical drain* sebesar 0,7 meter sedangkan untuk perbaikan tanah dengan menggunakan *preloading* sebesar 0,835 meter.
2. Jarak antar *vertical drain* mempengaruhi lama waktu penurunan, dimana penggunaan *vertical drain* dengan jarak 2m membutuhkan waktu 130 hari, jarak 2,4m membutuhkan 135 hari dan untuk jarak 3m membutuhkan 140 hari. Hal ini menunjukkan bahwa semakin dekat jarak antar *vertical drain* maka semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penurunan tanah maksimum, walaupun tidak signifikan.

DAFTAR RUJUKAN

Das, Braja M. (1985), "**Mekanika Tanah Jilid 1**". Erlangga. Jakarta.