

# **Pemodelan *Vertical Drain* Dengan Menggunakan Model Elemen Hingga Pada Analisis Konsolidasi Di Bendungan Marangkayu Kalimantan Timur**

**RADEN, WAHYU M<sup>1</sup>, HAMDHAN, INDRA N<sup>2</sup>, BEMBY S<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
(Institut Teknologi Nasional)

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
(Institut Teknologi Nasional)

<sup>3</sup>Staf Tenaga Ahli Geotechnical Engineering  
(PT. Soilens Bandung)

Email: raden\_wahyumaulana@yahoo.com

## **ABSTRAK**

*Analisis penurunan tanah pada kondisi setelah dilakukan perbaikan tanah berdasarkan data settlement plate pada proses preloading dan vertical drain Bendungan Marangkayu (2012-2013) menunjukkan penurunan sebesar -1,366 meter. Parameter tanah diperoleh dengan cara coba-coba menggunakan Plaxis 2D AE, dimana parameter tanah yang mendekati penurunan lapangan yang akan digunakan dalam analisis. Analisis ini bertujuan untuk memperoleh besarnya penurunan dan waktu selama proses preloading dan vertical drain dengan jarak antar vertical drain yang sesuai untuk mempercepat proses konsolidasi dan mempercepat penurunan nilai Pore Water Pressure (PWP). Hasil analisis konsolidasi dengan software Plaxis 2D AE pada kondisi tanah jenuh air dengan kombinasi preloading dan vertical drain menunjukkan bahwa jarak antara PVD yang sesuai dengan output analisis data lapangan adalah dengan jarak PVD 1 meter dengan kedalaman PVD 10 meter dari total kedalaman tanah lunak 30 meter atau (floating pvd).*

**Kata Kunci :** *preloading, vertical drain, metode elemen hingga.*

## **ABSTRACT**

*Analysis of soil settlement after improved soil conditions based on the settlement plate data on the preloading and vertical drains Marangkayu Dam (2012-2013) shows a decrease of -1.366 meters. Soil parameter was analysed by trial and error method using Plaxis 2D AE, where the parameters are closer to field settlement that will be used in the analysis. This analysis aimed to obtain the reduction in magnitude and time during the process of preloading and vertical distance between the vertical drain with drain corresponding to speed and accelerate the consolidation process Pore Water Pressure dissipation (PWP). The consolidation analysis using Plaxis 2D AE with PVD 1 meter spacing and 10 meter depth show good agreement with the field data, which total of soft soil 30 meter (floating PVD).*

**Keywords:** *preloading, vertical drains, finite element method.*

## 1. PENDAHULUAN

Tanah selalu mempunyai peranan yang penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan, atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri seperti pada tanggul dan bendungan. Jadi tanah selalu berperan pada setiap pekerjaan teknik sipil termasuk dalam pembangunan Bendungan Marangkayu yang memanfaatkan tanah sebagai pondasi pendukungnya. Selain itu pada ini cenderung dengan kondisi tanah lunak, lokasi yang akan dibangun sebagai bendungan ini dahulunya adalah areal rawa-rawa yang memiliki tanah yang kadar air nya jenuh atau jenuh air. Dalam rangka meningkatkan mutu tanah pada proyek pembangunan bendungan Marangkayu metode kombinasi *preloading* dan *vertical drain* digunakan dengan *prefabricated vertical drain* (Indratna, B. and Redana, I W., 1998).

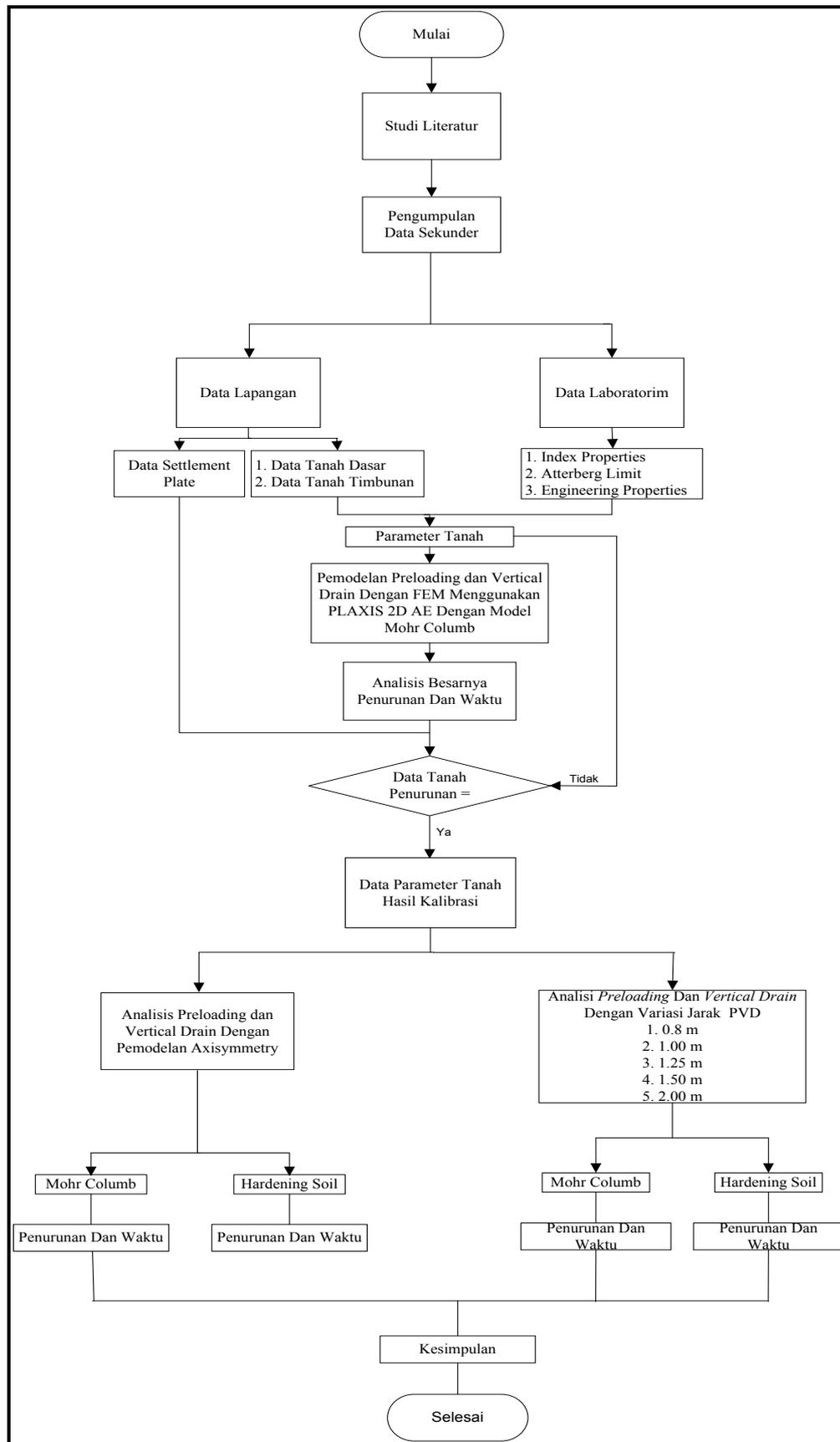
## 2. METODE PENELITIAN

Langkah pertama, yaitu tahapan mengumpulkan data yang akan digunakan untuk melakukan analisis dan merumuskan masalah yang akan terjadi pada penelitian tersebut. Analisis konsolidasi pada tanah lunak, memerlukan data parameter tanah yang didapat dari data penelitian terdahulu, dimana parameter tanah dan kondisi geometri tanah lapangan menghasilkan kondisi tanah yang sulit terkonsolidasi, yaitu nilai *total displacement* ( $|u|$ ) yang dihasilkan lebih kecil dari -1,366 m. Data yang dikumpulkan adalah data lapangan, yaitu data parameter tanah yang telah ditentukan sebelumnya, kondisi geometri yang akan dimodelkan, dan parameter *prefabricated vertical drain* sebagai alternatif perbaikan tanah.

Pemodelan geometri dilakukan sesuai dengan data lapangan. Secara keseluruhan pemodelan dilakukan dalam bentuk 2D. Kondisi perbaikan yang akan digunakan pada analisis menggunakan kondisi tanah yang sudah diperbaiki dengan PVD, dengan waktu konsolidasi yang relatif cepat, dimana selain memberikan nilai *total displacement* sesuai kondisi lapangan, tetapi juga efisien terhadap waktu dan biaya. Kondisi perbaikan tanah yang tepat dan efisien ditentukan dalam empat tahap, yaitu penentuan tinggi timbunan, penentuan jarak pvd, penentuan kedalaman pemasangan pvd, dan penentuan batasan area *smear zone* (Sathanantha, Iyathurai., 2005) Untuk mengetahui pengaruh ketinggian timbunan terhadap penurunan timbunan dilakukan secara bertahap (*staging*) untuk setiap pemodelan *axisymmetry* dan *plane strain* (I. Ikhya and H. F. Schweigea., 2000).

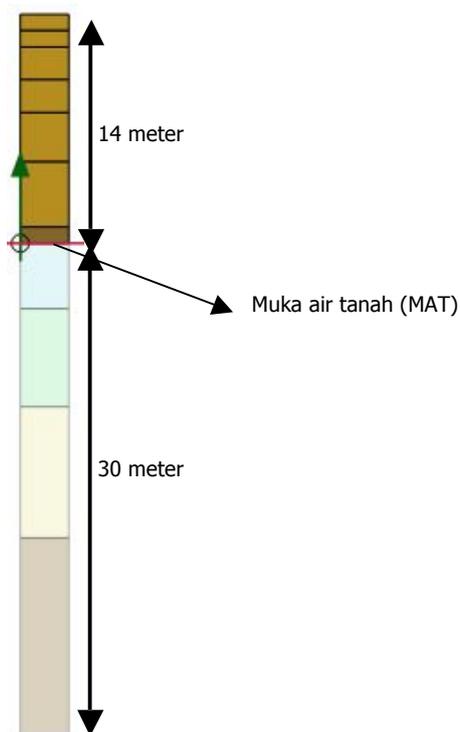
Keempat tahapan untuk memperoleh penurunan tanah yang sesuai dengan kenyataan dilapangan ini diterapkan pada tanah lunak, yaitu pada saat tanah eksisting yang jenuh air yang akan dianalisis sebelumnya. Hasil dari pemodelan tinggi timbunan dan jarak antar pvd yang sesuai dengan permasalahan dilapangan ini akan digunakan sebagai hasil akhir dari penelitian analisis konsolidasi yang dilakukan. Untuk lebih jelasnya tahapan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.

Pemodelan *Vertical Drain* Dengan Menggunakan Model Elemen Hingga Pada Analisis Konsolidasi Di Bendungan Marangkayu Kalimantan Timur

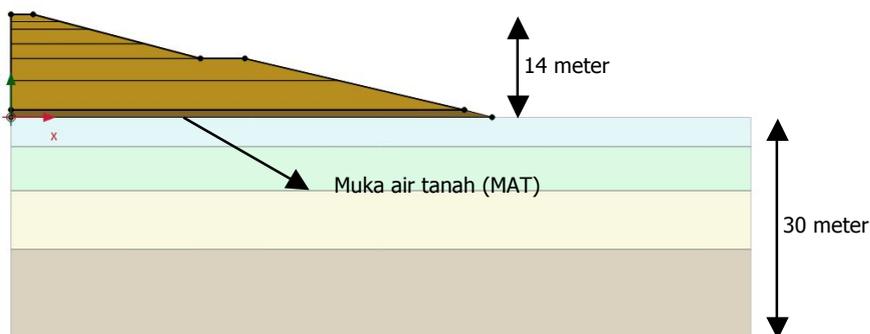


Gambar 1. Bagan alir penelitian

Geometri yang dimodelkan dengan dua pemodelan, yaitu dengan *axisymmetry* dan *plane strain*. Geometri yang dimodelkan untuk pemodelan *axisymmetry* memiliki elevasi 30 meter dengan lebar sepanjang 3 meter, sedangkan untuk pemodelan *plane strain* memiliki elevasi 30 m dengan lebar sepanjang 3 meter. Pemodelan geometri disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



**Gambar 2. Pemodelan Geometri *Axisymmetry***



**Gambar 3. Pemodelan Geometri *Plane Strain***

### 3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan analisis pada program Plaxis, sebaiknya ditentukan parameter tanah dan disesuaikan dengan model yang digunakan, data parameter tanah yang digunakan untuk masing-masing model analisis dapat dilihat pada Tabel 1 dan tabel 2.

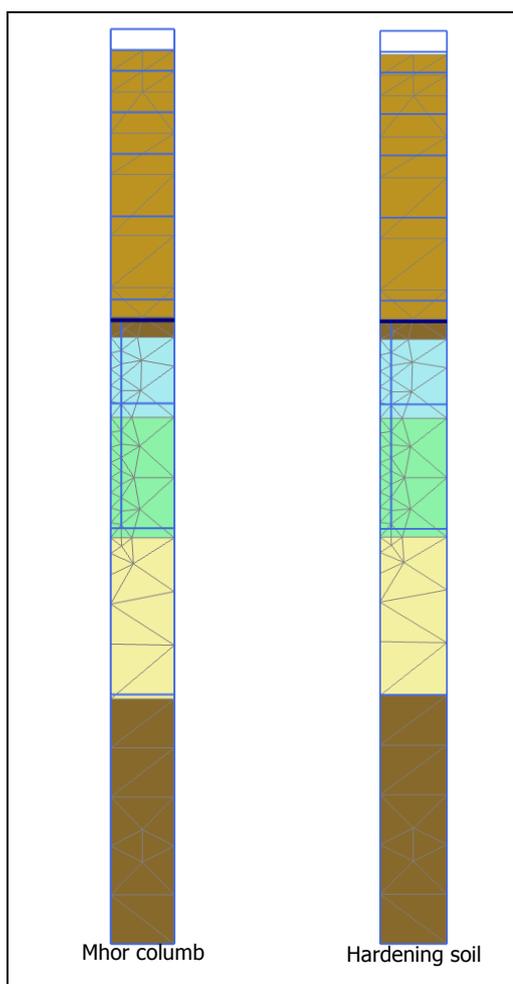
**Tabel 1. Parameter Tanah *Mhor Columb***

Parameter	Embankment	Sand	Clay I	Clay II	Clay III	Unit
$\gamma_{\text{unsat}}$	12,66	17,00	14,40	13,60	12,10	kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_{\text{sat}}$	16,56	20,00	17,82	17,61	15,85	kN/m <sup>3</sup>
E'	2000	5000	2000	2000	2000	kN/m <sup>2</sup>
V'	0,32	0,1000	0,30	0,31	0,32	-
Cref	6.770	0,000	3.240	4.458	4.258	kN/m <sup>2</sup>
$\varphi$	21,57	35,00	18,00	17,00	18,00	°

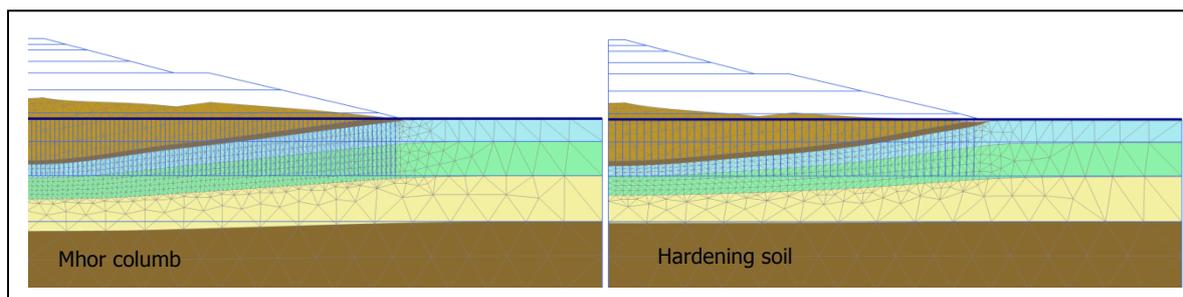
**Tabel 2. Parameter Tanah *Hardening Soil***

Parameter	Embankment	Sand	Clay I	Clay II	Clay III	Unit
$\gamma_{\text{unsat}}$	12,66	17,20	14,40	13,60	12,10	kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_{\text{sat}}$	16,56	20,00	17,82	17,61	15,85	kN/m <sup>3</sup>
E50	2000	21000	2000	2000	2000	kN/m <sup>2</sup>
E <sub>oed</sub>	2000	21000	2000	2000	2000	kN/m <sup>2</sup>
E <sub>ur</sub>	6000	63000	6000	6000	6000	kN/m <sup>2</sup>
Cref	6.770	0.0	3.240	4.458	4.258	kN/m <sup>2</sup>
$\varphi$	21,57	35,00	18,00	17,00	18,00	°

Pemodelan yang digunakan pada tahap analisis dengan menggunakan Plaxis 2D AE (*Anniversary Edition*) adalah pemodelan *plane strain* dan *axisymmetry*, dengan contoh pemodelan disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



**Gambar 4. Penurunan Tanah akibat *Preloading*, dengan Pemodelan *Axisymmetry***



**Gambar 5. Penurunan Tanah akibat *Preloading* dan *Vertical Drain*, dengan menggunakan Pemodelan *Plane Strain***

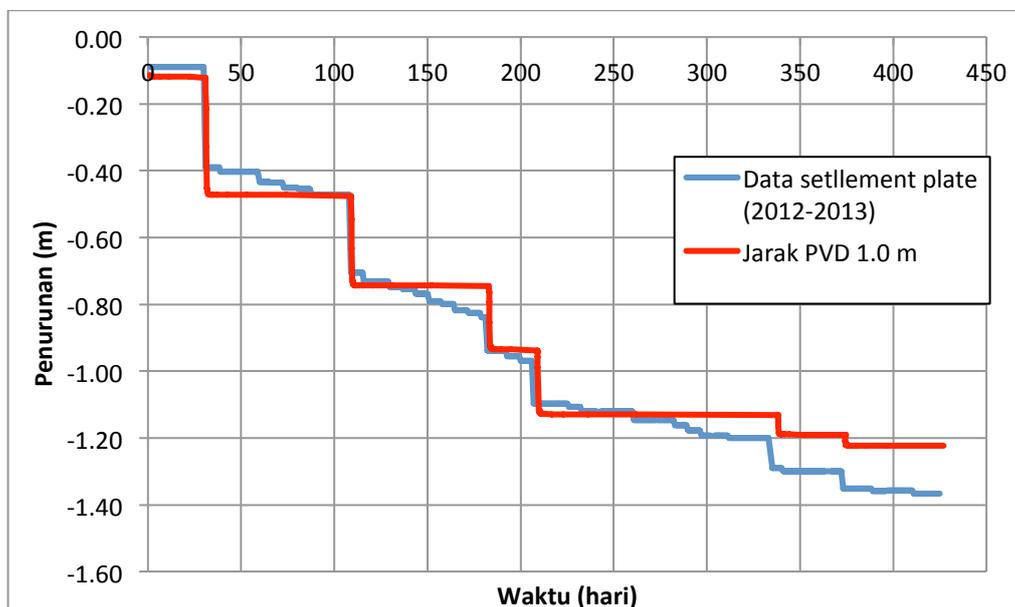
Pemodelan yang digunakan pada analisis menggunakan Plaxis 2D AE adalah pemodelan *plane strain* dengan jarak antar PVD 1.0 meter dengan menggunakan model *mohr coulomb*, yang bertujuan untuk mendekati nilai besarnya penurunan dan waktu yang terjadi dilapangan dengan mengacu kepada data *settlement plate* Bendungan Marangkayu. Rekapitulasi nilai penurunan dan waktu hasil analisis disajikan pada Tabel 3.

Pemodelan *Vertical Drain* Dengan Menggunakan Model Elemen Hingga Pada Analisis Konsolidasi Di Bendungan Marangkayu Kalimantan Timur

**Tabel 3. Rekapitulasi nilai penurunan tanah dengan Menggunakan Pemodelan *plane strain***

Model	Tinggi Timbunan (m)	Penurunan (m)
Mohr Coulomb	1,00	-0,118
	5,00	-0,471
	8,00	-0,743
	10,00	-0,934
	12,00	-1,130
	13,00	-1,190
	14,00	-1,224

Tahap analisis menentukan besarnya penurunan dan waktu sesuai dengan kondisi dilapangan dengan menggunakan *preloading* dan *vertical drain*, dengan mengacu kepada data besarnya penurunan dan waktu yang diperoleh dari data *settlement plate* Bendungan Marangkayu dengan nilai penurunan sebesar -1,366 meter dengan waktu 427 hari. Berdasarkan hasil data lapangan, analisis yang sesuai dengan penurunan dan waktu yang terjadi dilapangan menggunakan pemodelan *plane strain* dengan menggunakan jarak PVD 1.00 meter dengan model *mohr coulomb* adalah -1,224 < -1,366 meter (data lapangan) dengan waktu 424 hari. Perbedaan hasil analisis dengan data lapangan penurunan adalah -0,142 meter, perbedaan antara hasil analisis dengan data lapangan dapat dilihat pada Gambar 6.



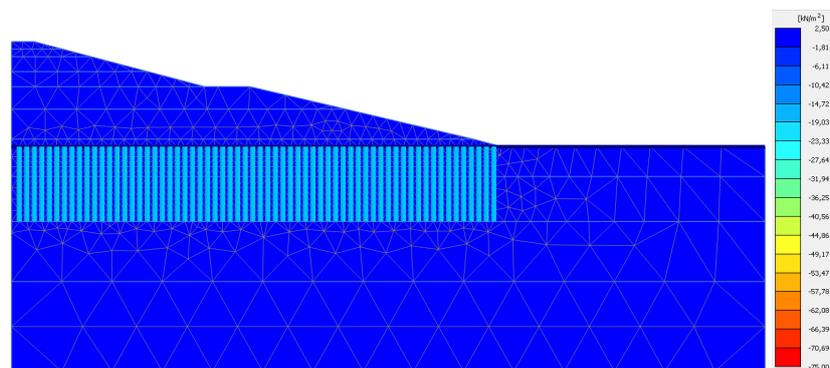
**Gambar 6 Grafik Hubungan Waktu terhadap Penurunan Tanah Hasil Analisis dengan data *Settlement Plate***

Berdasarkan Gambar 6, perbedaan antara data lapangan dan data analisis adalah sebesar -1,224 meter < -1,366 meter (data lapangan) dengan waktu penurunan yang relatif sama untuk setiap tahapan timbunan pada studi kasus perbaikan tanah lunak bendungan marangkayu.

Besarnya penurunan dan waktu *pore water pressure* dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 7 sampai dengan Gambar 8.

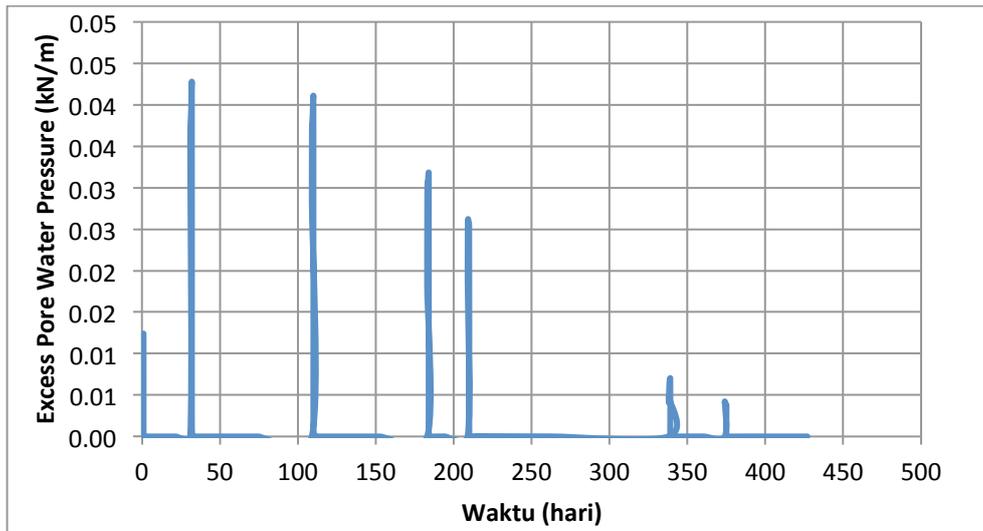
**Tabel 4. Rekapitulasi Nilai PWP akibat *Preloading* dan *Vertical Drain***

Model	Tahapan Konstruksi	Penurunan (m)	<i>Pore water pressure</i> $kN/m^2$
Mohr Columb	timbunan (+1 m)	-0,118	0,012
	konsolidasi (30 hari)		0,000
	timbunan (+ 5 m)	-0,471	0,043
	Konsolidasi (107 hari)		0,000
	timbunan (+ 8 m)	-0,743	0,041
	konsolidasi (180 hari)		0,000
	timbunan (+10 m)	-0,934	0,032
	Konsolidasi (205 hari)		0,000
	timbunan (+12 m)	-1,130	0,026
	konsolidasi (333 hari)		0,000
	timbunan (+13 m)	-1,190	0,000
	konsolidasi (368 hari)		0,000
	timbunan (+14 m)	-1,224	0,000
	konsolidasi (427 hari)		0,000



**Gambar 7. Penurunan Nilai PWP akibat timbunan Tahap VII (+14 m) dengan jarak antar PVD 1.0 m**

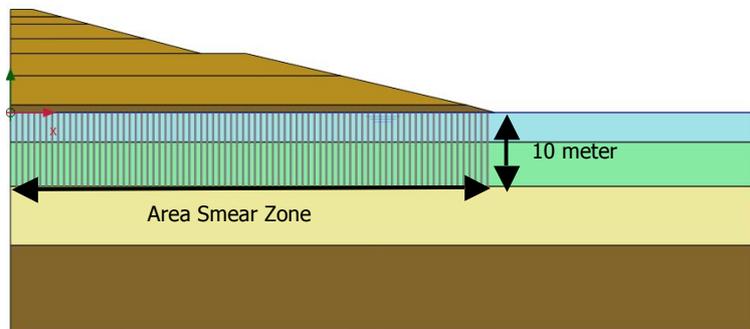
Pemodelan *Vertical Drain* Dengan Menggunakan Model Elemen Hingga Pada Analisis Konsolidasi Di Bendungan Marangkayu Kalimantan Timur



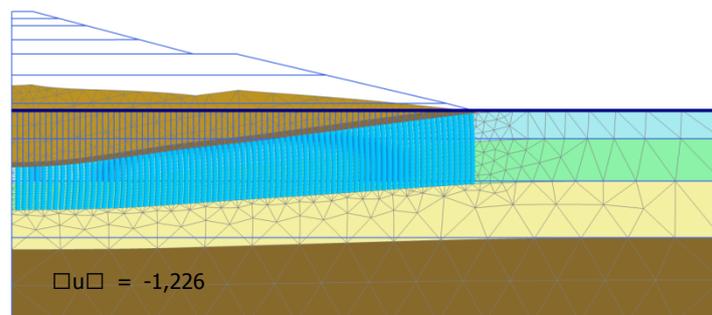
**Gambar 8. Grafik Hubungan Penurunan Nilai PWP dan Waktu**

Hasil data rekapitulasi penurunan nilai PWP akibat *preloading* dan *vertical drain* menunjukkan bahwa kenaikan nilai PWP terjadi pada saat penimbunan dan terjadi pada saat konsolidasi.

Pada proses instalasi PVD, tanah disekitar PVD mengalami gangguan (*smear zone*) akibat lebar mandrel pada proses pemasangan PVD. Perbedaan besarnya penurunan dan waktu dengan memperhitungkan area *smear zone* dengan menggunakan pemodelan *plane strain* dengan jarak antar PVD 1.00 meter dapat dilihat pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 10.



**Gambar 9. Pemodelan Geometri dengan Memperhitungkan Area *Smear Zone***

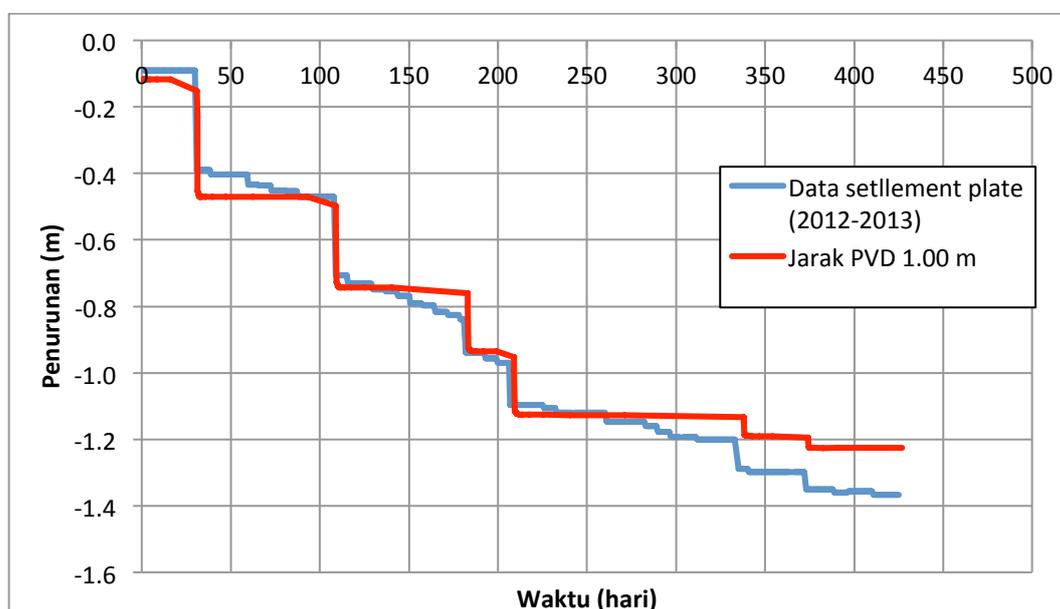


**Gambar 10. Analisis penurunan konsolidasi akibat *smear zone* pada *Preloading* Tahap VII (+14 m) dan *Vertical Drain***

Sedangkan, besarnya penurunan dan waktu dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 11.

**Tabel 5. Rekapitulasi nilai penurunan Tanah Akibar Area *Smear Zone***

Model	Tinggi timbunan (m)	Penurunan (m)
Mohr coulomb	1.00	-0,118
	5.00	-0,471
	8.00	-0,743
	10.00	-0,935
	12.00	-1,127
	13.00	-1,191
	14.00	-1,226



**Gambar 11. Grafik Hubungan Antara Penurunan dan Waktu Hasil Analisis dengan Data Lapangan**

Gambar 11 menunjukkan perbedaan antara data lapangan dan data analisis sebesar -1,226 meter < -1,366 meter (data lapangan) dengan waktu penurunan relatif berbeda karena adanya gangguan tanah disekitar wilayah instalasi PVD, yang mengakibatkan perubahan permeabilitas tanah. Waktu penurunan tanah dengan memperhitungkan area *smear zone* dengan data lapangan dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 12.

Pemodelan *Vertical Drain* Dengan Menggunakan Model Elemen Hingga Pada Analisis Konsolidasi Di Bendungan Marangkayu Kalimantan Timur

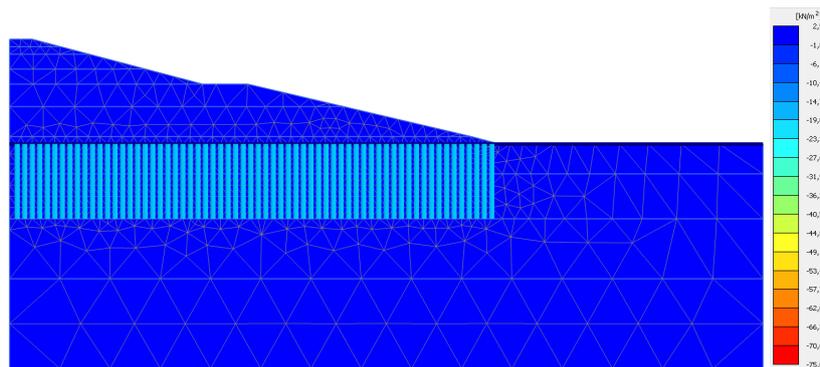
**Tabel 6. Rekapitulasi Watu Penurunan Lapangan dan Hasil Analisis dengan Area *Smear Zone***

Timbunan (m)	Waktu Penurunan Mohr Columb (hari)	Waktu Penurunan Lapangan (hari)
1,00	31	30
5,00	109	107
8,00	183	180
10,00	209	205
12,00	338	333
13,00	374	370
14,00	427	427

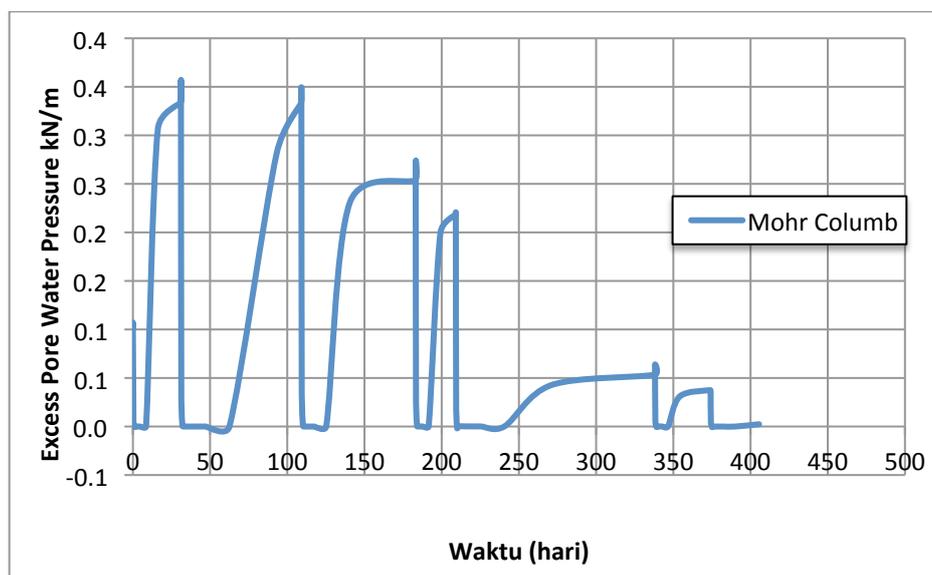
Besarnya penurunan dan waktu dengan memperhitungkan area *smear zone* terhadap nilai *pore water pressure* dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 12 sampai dengan Gambar 13.

**Tabel 7. Penurunan nilai pwp akibat *Preloading* dan *Vertical Drain***

Model	Tahapan Konstruksi	Penurunan (m)	<i>Pore water pressure</i> $kN/m^2$
Mohr Coulomb	timbunan (+1 m)	-0,118	0,107
	konsolidasi (30 hari)		0,000
	timbunan (+ 5 m)	-0,471	0,354
	Konsolidasi (107 hari)		0,000
	timbunan (+ 8 m)	-0,743	0,347
	konsolidasi (180 hari)		0,000
	timbunan (+10 m)	-0,935	0,272
	Konsolidasi (205 hari)		0,000
	timbunan (+12 m)	-1,127	0,221
	konsolidasi (333 hari)		0,000
	timbunan (+13 m)	-1,191	0,064
	konsolidasi (368 hari)		0,000
timbunan (+14 m)	-1,226	0,036	
konsolidasi (427 hari)		0,000	



**Gambar 12. Penurunan Nilai PWP Akibat Timbunan Tahap VII (+14 m) dengan Memperhitungkan Area *Smear Zone***

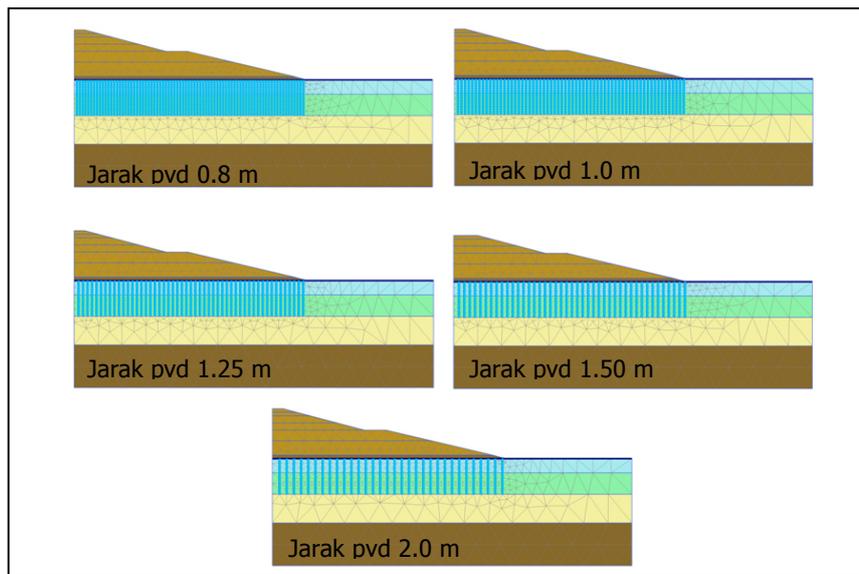


**Gambar 13. Grafik Hubungan Penurunan Nilai PWP dan Waktu**

Hasil data rekapitulasi penurunan nilai PWP akibat *preloading* dan *vertical drain* dengan memperhitungkan area *smear zone*, menunjukkan bahwa kenaikan nilai PWP terjadi pada saat penimbunan dan terjadi perlambatan waktu akibat *smear zone*.

Analisis ini juga membandingkan variasi jarak antar PVD dengan menggunakan perbandingan model *mohr columb* dan *hardening soil* untuk setiap analisisnya. Jarak antar PVD adalah 0.8 m, 1.0 m, 1.25 m, 1.50 m, dan 2.0 meter untuk pemodelan *plane strain*, sedangkan untuk pemodelan *axisymmetry* menggunakan jarak antar PVD 0.5 meter. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan besarnya penurunan dan waktu untuk masing-masing jarak PVD yang digunakan. Untuk lebih jelasnya, pemodelan variasi jarak dan pemodelan geometri dapat dilihat pada Gambar 14.

Pemodelan *Vertical Drain* Dengan Menggunakan Model Elemen Hingga Pada Analisis Konsolidasi Di Bendungan Marangkayu Kalimantan Timur

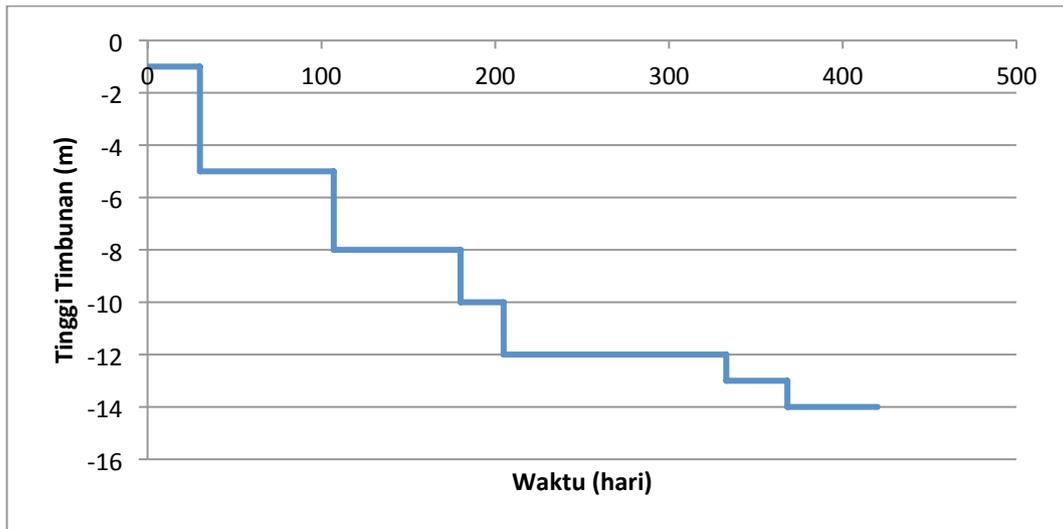


**Gambar 14. Pemodelan *Preloading* dan *Vertical Drain* dengan menggunakan Model *mohr columb* dan *Hardening Soil***

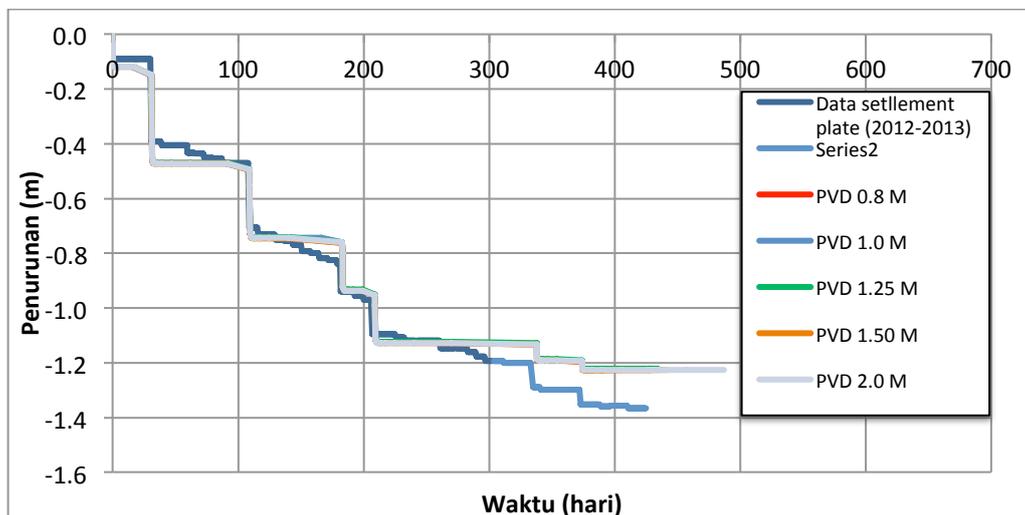
Hasil analisis menggunakan Plaxis 2D AE yang bertujuan untuk mengetahui besarnya penurunan dan waktu untuk setiap variasi jarak PVD dengan menggunakan model *mohr columb* dan *hardening soil* dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar 15 sampai dengan Gambar 16.

**Tabel 8. Rekapitulasi Tinggi Timbunan dan Penurunan Untuk Masing-Masing Jarak PVD Pada Model *Mohr Columb***

Tinggi Timbunan (m)	Penurunan (m)				
	PVD 0,8 m	PVD 1.0 m	PVD 1.25 m	PVD 1.50 m	PVD 2.00 m
1,00	-0,118	-0,118	-0,118	-0,118	-0,118
4,00	-0,471	-0,471	-0,472	-0,472	-0,472
8,00	-0,743	-0,743	-0,744	-0,744	-0,744
10,00	-0,934	-0,934	-0,936	-0,936	-0,935
12,00	-1,130	-1,129	-1,132	-1,130	-1,132
13,00	-1,190	-1,190	-1,192	-1,191	-1,191
14,00	-1,224	-1,224	-1,227	-1,125	-1,125



**Gambar 15. Grafik Hubungan Tinggi Timbunan dan Waktu**

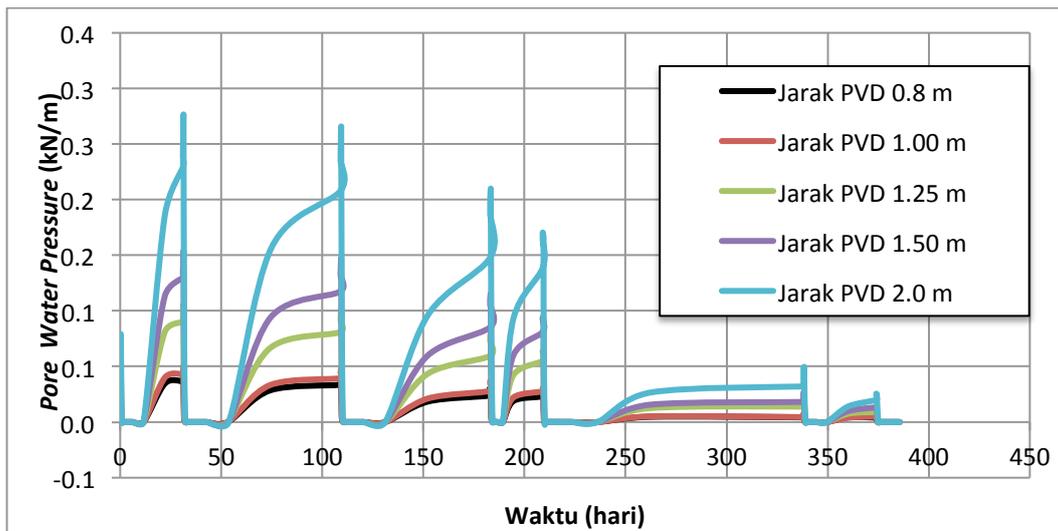


**Gambar 16. Grafik Hubungan Antara Penurunan dan Waktu**

Hasil analisis dengan Plaxis 2D menunjukkan jarak PVD yang sesuai waktu dan besarnya penurunan yang mendekati data lapangan yaitu menggunakan jarak antar PVD 0.8 meter dan 1.00 meter. Hal ini dapat disimpulkan bahwa, semakin dekat jarak PVD yang digunakan maka waktu penurunan akan semakin cepat.

Besarnya penurunan nilai PWP akibat *preloading* dan *vertical drain* dapat dilihat pada Gambar 17.

Pemodelan *Vertical Drain* Dengan Menggunakan Model Elemen Hingga Pada Analisis Konsolidasi Di Bendungan Marangkayu Kalimantan Timur



**Gambar 17. Grafik Hubungan Penurunan Nilai PWP dengan Waktu**

#### 4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis konsolidasi pada tanah lunak dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil analisis *settlement plate* dengan menggunakan PVD 1.0 meter menunjukkan waktu untuk mencapai konsolidasi 95% adalah selama 424 hari dan besar penurunan pada hari ke-424 hari ini sebesar -1,36 meter.
2. Hasil analisis dengan program Plaxis dengan menggunakan jarak PVD 1.0 m menunjukkan besar penurunan tanah -1,224 meter terjadi pada hari ke 424, besar tekanan pori maksimum terjadi pada hari ke-108 sebesar  $0,041 \text{ kN/m}^2$
3. Hasil analisis dengan menggunakan program Plaxis dengan membandingkan besarnya penurunan dan waktu konsolidasi dengan menggunakan model *mor coulomb* dan *hardening soil* diperoleh besar penurunan untuk model *mor coulomb* sebesar -1,226 meter, sedangkan untuk model *hardening soil* diperoleh besarnya penurunan sebesar -1,227 meter dengan waktu yang relatif sama yaitu 427 hari.
4. Sedangkan hasil dari program Plaxis menggunakan jarak PVD 1.0 meter dengan memperhitungkan adanya area *smear zone* diperoleh besar penurunan sebesar -1,226 meter terjadi pada hari ke-427,775, besar tekanan air pori maksimum yang terjadi pada hari ke-108 sebesar  $0,347 \text{ kN/m}^2$
5. Pada umumnya penentuan titik penurunan pada Plaxis 2D harus sesuai dengan penempatan alat instrumentasi *settlement plate* yang terpasang dilapangan, agar hasil output Plaxis 2D mendekati penurunan sebenarnya yang terjadi dilapangan.
6. Timbunan bertahap (*staging*) sangat membantu proses konsolidasi dan mempercepat keluarnya air melalui pori tanah dikarenakan adanya beban timbunan.
7. Lamanya proses konsolidasi disebabkan adanya area *smear zone* pada saat proses instalasi PVD yang mengakibatkan tanah disekitar PVD terganggu yang akan mempengaruhi permeabilitas tanah sekitar, semakin kecil permeabilitas tanah maka akan semakin lama air keluar dari dalam tanah.

Adapun saran yang diberikan adalah sebagai berikut

1. Untuk studi selanjutnya, analisis dilakukan dengan menggunakan model tanah *soft soil*, agar mendekati hasil analisis data lapangan pada studi kasus tanah lunak.
2. Alternatif kedalaman pemasangan *prefabricated vertical drain* perlu dikaji baik dengan *floating PVD* dan *full penetration PVD*.
3. Pemodelan area *smear zone* pada Plaxis 2D AE dapat dimodelkan dengan 2 kondisi, pada kondisi pertama mengganti parameter tanah terganggu akibat instalasi PVD sampai dengan kedalaman PVD sampai dengan tanah yang terkonsolidasi dan pada kondisi kedua membagi tanah yang terganggu akibat instalasi PVD hingga kedalaman PVD sampai dengan tanah yang terkonsolidasi.
4. Sebaiknya untuk studi selanjutnya, pemodelan dilakukan dengan Plaxis 3D AE agar hasil pemodelan dan output sesuai dengan kondisi asli lapangan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Indratna, B. and Redana, I W., (1998), Effect of smear around vertical drains. J Ground Improvement, Thomas Telford, UK.
- I. Ikhyia and H. F. Schweigee., (2000) *Numerical Modeling Of Floating Prefabricated Vertical Drains In Layered Soil*.
- Craig, R.F. (2007) *Craig's Soil Mechanics*. UK: University Of Dundee
- Hansbo, S. (2004). *Experience of Consolidation Process from Test Areas with and Without* Chalmers University of Technology. Sweden
- Sathananthan, Iyathurai. (2005). *Modelling Of Vertical Drain With Smear Installed In Soft Clay*