

# Analisis Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan Perkuatan Geotextile Akibat Preloading Dikombinasikan Dengan PVD – PHD (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Paket II STA 21+850)

Diannery Vivi Viona<sup>1</sup>, Pratikso<sup>2</sup>, Soedarsono<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang

<sup>1, 2, 3</sup> Jl. Kaligawe Raya KM 4, Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112

<sup>1</sup> diannery11@gmail.com

**Abstrak** – Ruas Jalan Semarang – Demak sering terjadi banjir air laut yang menggenangi jalan akibat turunnya permukaan tanah atau naiknya permukaan air laut. Sehingga membuat daya dukung tanah menurun dan penurunan tanah (settlement) yang besar yang mengakibatkan waktu yang dibutuhkan dalam proses penurunan menjadi sangat lama. Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis konsolidasi tanah dengan tujuan mengetahui besar dan lamanya waktu penurunan tanah. Perhitungan dilakukan menggunakan Program Plaxis 8.6 dan Perhitungan manual Metode Terzaghi yang kemudian dibandingkan hasilnya dengan penurunan yang terjadi di lapangan. Dalam penelitian ini dilakukan perbaikan tanah dasarnya menggunakan perkuatan geotextile dengan Metode Preloading dikombinasikan Prefabricated Vertical Drain (PVD) dan Prefabricated Horizontal Drain (PHD). Data tanah yang dipakai merupakan data hasil boring log Standart Penetration Test pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Paket II STA 21+850. Dari hasil analisis menggunakan Program Plaxis 8.6 diperoleh besar penurunan tanah dengan waktu konsolidasi 1 tahun, 3 tahun, dan 10 tahun sebesar 3 m. Menggunakan perhitungan manual didapatkan besar penurunan tanah sebesar 2,984 m setelah terkonsolidasi dalam 1 tahun, sebesar 2,997 m setelah terkonsolidasi selama 3 tahun dan 10 tahun. Hasil tersebut tidak jauh beda dengan penurunan yang terjadi di lapangan yaitu sebesar 2,989 dalam waktu 1 tahun.

**Kata kunci:** Penurunan Tanah, Konsolidasi, Plaxis 8.6, Metode Terzaghi

**Abstract** – Semarang – Demak Road section often occurs flooding of sea water that floods the road due to the drop in ground level or rising sea level. Thus making the carrying capacity of the land decreases and a large decrease in land (settlement) resulting in the time required in the process of decline becomes very long. The purpose of this study is to conduct soil consolidation analysis with the aim of knowing the magnitude and length of time of soil decline. The calculation was done using Plaxis 8.6 Program and Terzaghi Method manual calculation which was then compared to the result with the decrease that occurred in the field. In this study, basic soil improvement was carried out using geotextile strengthening with Preloading Method combined Prefabricated Vertical Drain (PVD) and Prefabricated Horizontal Drain (PHD). The land data used is the result of boring log Standart Penetration Test on Semarang Toll Road Construction Project – Demak Package II STA 21+850. From the results of the analysis using the Plaxis Program 8.6 obtained a large decrease in soil with a consolidated time of 1 year, 3 years, and 10 years of 3 m. Using manual calculations obtained a large decrease in land by 2,984 m after consolidating in 1 year, amounting to 2,997 m after consolidated for 3 years and 10 years. The result is not much different from the decrease in the field of 2,989 within 1 year.

**Key words:** Settlement, Consolidation, Plaxis 8.6, Terzaghi Method

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Jalan Nasional Semarang – Demak adalah jalan yang terletak di daerah pesisir Pantai Utara yang menghubungkan antara Kota Semarang dengan Kabupaten Demak. Ruas jalan Semarang – Demak ini sering terjadinya bencana banjir air laut/rob yang diakibatkan karena turunnya permukaan tanah di daerah pesisir laut atau naiknya permukaan air laut disaat pasang sehingga banjir rob tersebut menggenangi jalan. Peristiwa ini mengakibatkan berbagai masalah dapat terjadi di daerah tersebut, contohnya daya dukung tanah yang menurun. Untuk menindaklanjuti masalah tersebut, diperlukan suatu jaringan jalan baru agar sistem transportasi lebih efektif dan

efisien. Untuk itu sebagai upaya pemerintah, dibangun sebuah Jalan Tol Semarang – Demak yang membentang sepanjang 27 km.

Tanah memiliki karakteristik yang berbeda – beda pada setiap daerah. Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak kondisi lahan eksisting didominasi oleh sawah dan rawa yang umumnya memiliki kondisi tanah dasar yang bersifat sangat lunak. Tanah lunak pada umumnya bersifat kurang menguntungkan untuk suatu pekerjaan kontruksi yang akan dibangun di atasnya. Permasalahan pada tanah lunak antara lain memiliki daya dukung tanah yang rendah, kembang susut yang tinggi, kandungan air yang tinggi, dan penurunan (*settlement*) yang besar jika diberi beban di atasnya. Hal ini disebabkan karena tanah lunak umumnya memiliki kuat geser rendah dan sulit terdrainase karena permeabilitas tanah yang relatif rendah. Dengan demikian untuk menghindari waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi yang lebih lama dan ketidakstabilan timbunan yang terjadi diperlukan suatu metode perbaikan tanah untuk dapat mengatasi permasalahan ini. Salah satu metode untuk mengatasi masalah pada tanah lunak tersebut adalah dengan menggunakan perkuatan *geotextile* dan suatu metode *Preloading* yang dikombinasikan dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dan *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD). Kemudian dianalisa mengenai konsolidasi/penurunan tanah menggunakan program Plaxis 8.6 dan perhitungan manual dengan metode Terzaghi.

### B. Rumusan Masalah dan Batasan Masalah

Penelitian mengungkap kasus perbaikan tanah yang telah dilaksanakan yaitu pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak berdasarkan data di lapangan yang diperoleh dari PT. PP Persero Tbk. Data yang dipakai berupa data sekunder yaitu data hasil uji laboratorium, data *boring log* dan SPT, spesifikasi PVD dan PHD, *Settlement Plate*, dan data rencana jalan tol. Perhitungan besar dan lamanya waktu penurunan hanya pada penurunan konsolidasi yang dihitung dengan menggunakan program Plaxis 8.6 2D dan perhitungan manual Metode Terzaghi.

### C. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut maka tujuannya adalah :

1. Mengetahui besar dan lamanya waktu konsolidasi dengan menggunakan program Plaxis 8.6?
2. Mengetahui besar dan lamanya waktu konsolidasi dengan perhitungan manual metode Terzaghi?
3. Mengetahui hasil perbandingan dari beberapa metode dengan penurunan aktual yang terjadi di lapangan?

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Tanah Lunak

Tanah lunak adalah tanah kohesif yang terdiri dari tanah yang sebagian besar butiran – butirannya berukuran sangat kecil, contohnya adalah tanah lempung dan tanah lanau. Tanah lunak umumnya memiliki kuat geser yang rendah yang dapat menyebabkan terbatasnya beban yang bekerja di atasnya akibat mengalami kegagalan geser. Sedangkan kompresibilitas yang tinggi pada tanah lunak dapat mengakibatkan terjadinya penurunan secara berlebih. Hal tersebut terjadi saat pemberian beban di atas tanah mengakibatkan penurunan seketika yang diikuti oleh proses konsolidasi. Kompresibilitas yang tinggi dan permeabilitas yang rendah juga mengakibatkan sulitnya terdrainase sehingga waktu yang dibutuhkan untuk proses konsolidasi semakin lama. Waktu yang dibutuhkan pada saat proses konsolidasi tergantung pada tebal lapisan tanah lunaknya dan pada kemampuan tanah lunaknya saat pembebanan berlangsung.

Perbaikan tanah pada konstruksi jalan diatas tanah lunak dapat dilakukan dengan berbagai metode. Salah satu metode untuk mengatasi masalah pada tanah lunak tersebut adalah dengan menggunakan perkuatan *geotextile* dengan metode *Preloading* yang dikombinasikan dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dan *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD). *Preloading* merupakan pembebanan awal yang dilakukan dengan cara penghamparan timbunan lapis per lapis yang dapat menyebabkan tanah termampatkan. PVD adalah pengalir sistem drainase yang dipasang vertikal di dalam lapisan tanah sedangkan PHD adalah pengalir sistem drainase yang dipasang secara horizontal di dalam lapisan tanah. PVD dan PHD merupakan material dengan inti berbentuk sirip dan bentuk silinder berongga yang terbuat dari *polypropylene* yang dibungkus dengan bahan polimer. Dengan adanya penggunaan PVD, kadar air maupun kadar udara yang terkandung pada butiran tanah dapat dikeluarkan sehingga terjadi konsolidasi/mempercepat penurunan tanah dan akan didapatkan tanah yang lebih padat. Air dari PVD yang mengalir ke atas secara vertikal harus dibuang ke luar timbunan secara horizontal menggunakan PHD yang diselimuti pasir (*Sand Ditch*).

### B. Penurunan Tanah (*Settlement*) dan Konsolidasi

Penurunan tanah adalah salah satu permasalahan utama yang terjadi pada tanah lunak. Penurunan tanah dapat terjadi ketika lapisan tanah diberikan pembebanan (misal timbunan atau pondasi), sehingga partikel tanah mengalami penambahan tegangan dan pemampatan, serta mengalami regangan pada tanah sehingga timbul penurunan (*settlement*). Berubahnya susunan tanah maupun keluarnya air dari dalam pori tanah yang disertai oleh berkurangnya volume tanah merupakan penyebab penurunan (*settlement*) pada lapisan tanah.

Proses pengecilan volume atau terperasnya air tanah secara perlahan – lahan karena kecilnya permeabilitas tanah biasa disebut dengan konsolidasi. Konsolidasi terjadi ketika tanah dibebani maka tekanan air pori bertambah sehingga menyebabkan air mengalir dalam keadaan tekanan air pori yang rendah dengan diikuti penurunan tanah dalam waktu tertentu. Proses konsolidasi ini terjadi secara terus menerus sampai hilangnya kelebihan tekanan air pori yang

disebabkan oleh kenaikan tegangan total. Jangka waktu terjadinya konsolidasi sangat dipengaruhi oleh kecepatan tekanan air pori berlebih sebab beban yang bekerja dihilangkan.

1. Konsolidasi Primer

Menurut riwayat pembebanan, terdapat tiga jenis dalam tahap konsolidasi primer, antara lain :

- a. *Normally Consolidated*, dimana tegangan efektif *overburden* pada saat ini merupakan tegangan maksimum yang dialami oleh tanah. Tanah yang terkonsolidasi secara normal dapat dihitung dengan persamaan :

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1+e_o} \log \frac{P_o' + \Delta p}{P_{o'}} \dots\dots\dots(2.1)$$

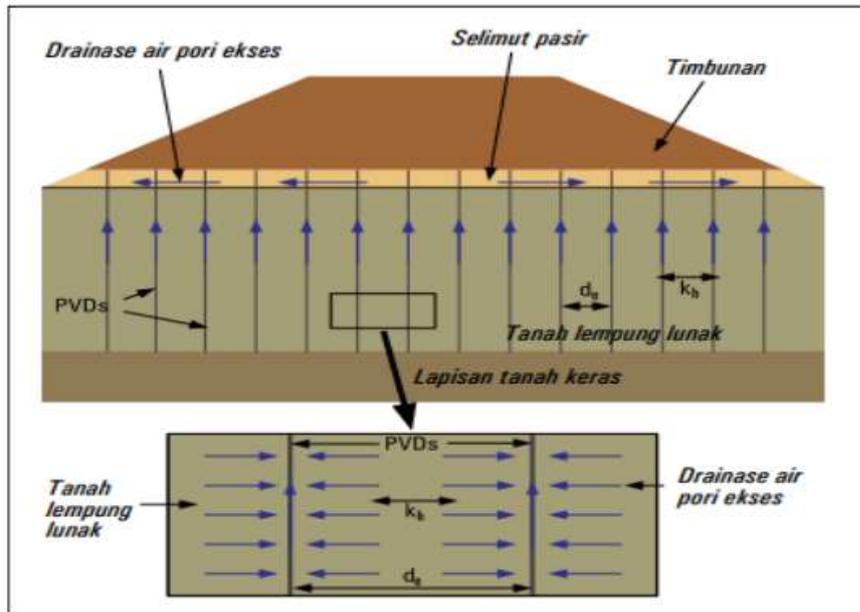
- b. *Over Consolidated*, dimana tegangan efektif *overburden* saat ini lebih kecil daripada tegangan yang pernah dialami oleh tanah sebelumnya. Tegangan efektif *overburden* maksimum yang pernah dialami sebelumnya dinamakan tegangan perkonsolidasi (*preconsolidation pressure/PC*). Berikut adalah persamaan untuk *over consolidated* :

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1+e_o} \log \frac{P_{c'}}{P_{o'}} + \frac{C_s \cdot H}{1+e_o} \log \frac{P_o' + \Delta p}{P_{o'}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- S<sub>c</sub> = Penurunan konsolidasi primer
- C<sub>c</sub> = Indeks pemampatan
- C<sub>s</sub> = Indeks pemuai/mengembang
- H = Tebal lapisan tanah
- e<sub>o</sub> = Angka pori
- P<sub>o</sub>' = Tekanan *overburden* efektif
- P<sub>c</sub>' = Tekanan perkonsolidasi
- Δp = Distribusi tekanan

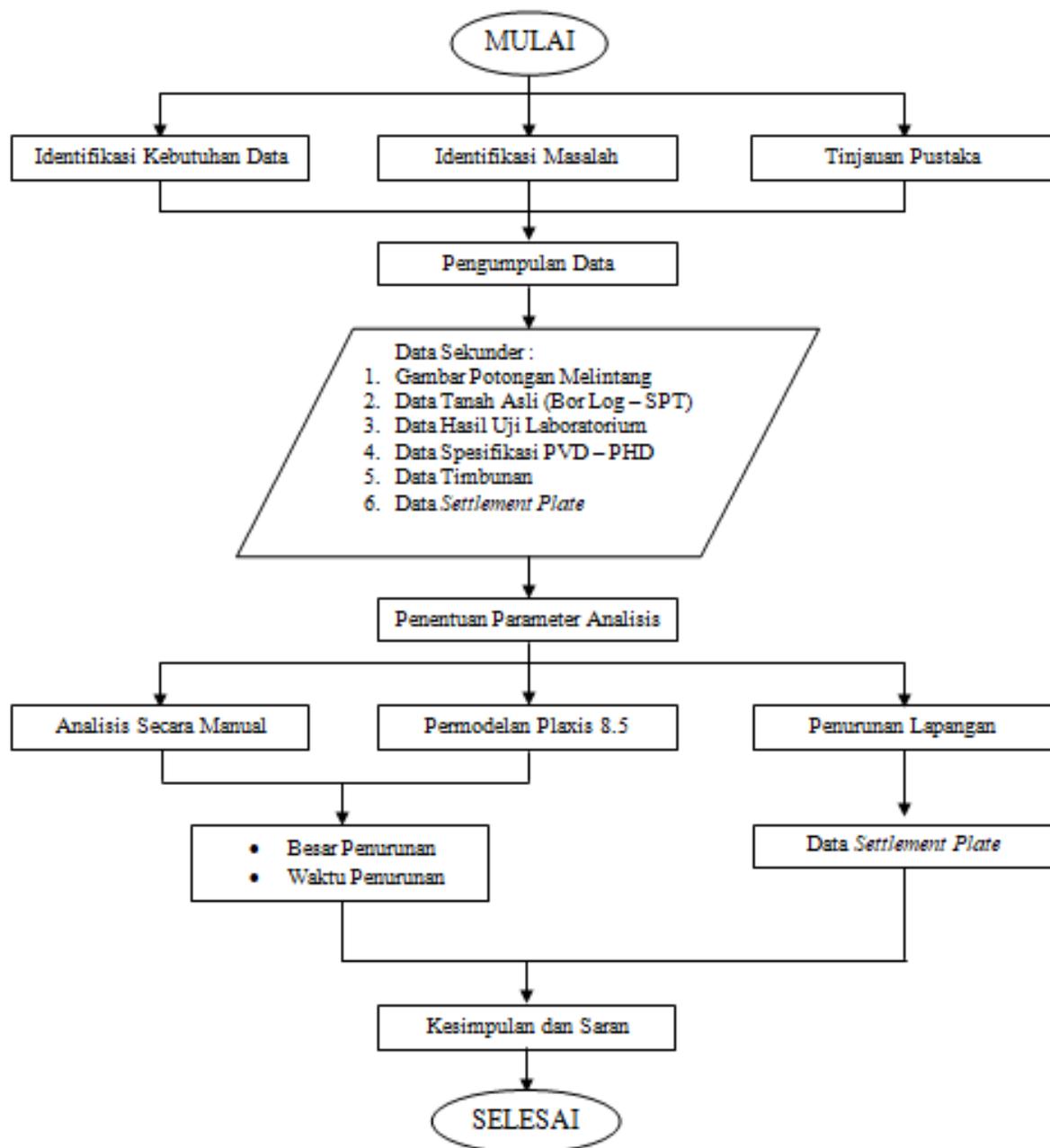
- c. *Under Consolidated*, dimana tegangan efektif *overburden* saat ini belum mencapai maksimum, sehingga proses konsolidasi masih berlangsung pada saat sampel tanah diambil.



Gambar 1. Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan PVD

III. METODE PENELITIAN

Diagram alir penelitian seperti yang tertera pada Gambar 2 di bawah ini :



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 1. Perhitungan Manual Metode Terzaghi

## a. Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer

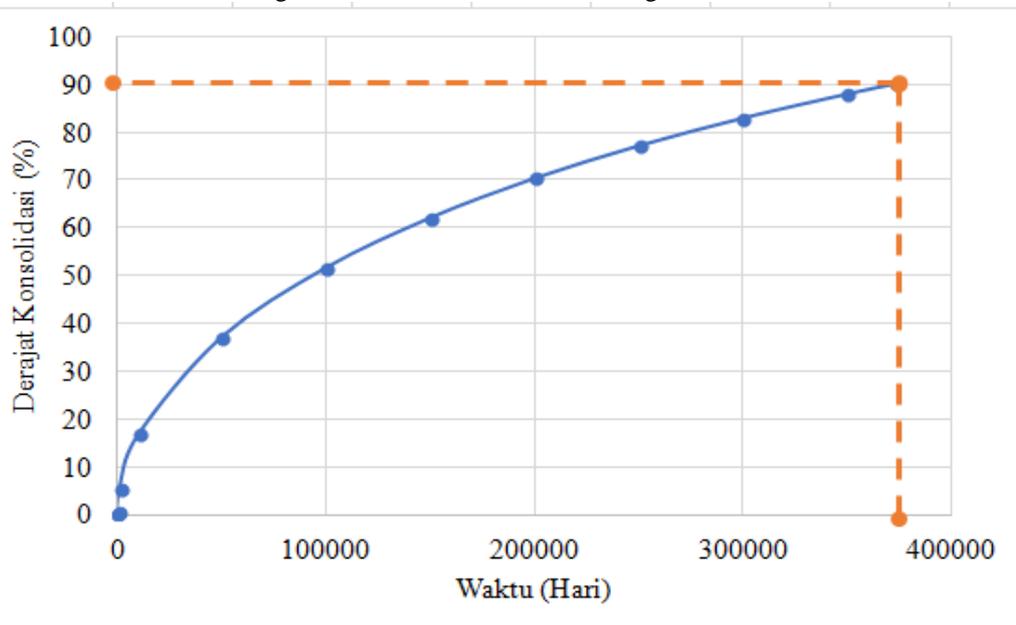
Perhitungan penurunan konsolidasi primer menggunakan metode Terzaghi dengan  $Q$  pada tanah dasar sebesar  $912 \text{ gr/cm}^2$  dan tinggi timbunan 4,8 meter dihitung menggunakan prinsip *normally consolidated*. Dari hasil perhitungan pada Tabel 1 dapat dilihat total penurunan konsolidasi primer sebesar 299,69 cm.

Tabel 1. Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer

Lapisan	H (cm)	Po' (gr/cm <sup>2</sup> )	$\Delta P$ (gr/cm <sup>2</sup> )	e	Cc (cm <sup>2</sup> /s)	S (cm)
1	500	899,5	912	1,012	0,153	11,56
2	700	1088,5	912	1,670	0,108	7,48
3	200	339,4	912	1,255	0,171	8,59
4	100	80,9	912	1,602	0,207	8,67
5	100	80	912	1,528	0,171	7,40
6	100	85	912	1,172	0,234	11,52
7	200	172,4	912	1,118	0,216	16,29
8	600	509,7	912	1,216	0,174	20,98
9	500	386	912	1,591	0,279	28,36
10	650	534	912	1,303	0,261	31,87
11	700	503	912	2,061	0,243	24,96
12	150	120,7	912	1,870	0,180	8,77
13	250	203,1	912	1,786	0,279	18,52
14	150	108,8	912	1,997	0,243	11,83
15	200	156,3	912	1,421	0,198	13,65
16	200	156,5	912	1,835	0,126	7,42
17	1500	1218,8	912	1,786	0,279	36,44
18	250	180,4	912	1,640	0,225	16,67
19	350	255,5	912	1,863	0,108	8,71
<b>Total Penurunan</b>						<b>299,69</b>

## b. Perhitungan Derajat Konsolidasi Tanpa PVD

Perhitungan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% tanpa menggunakan PVD dilakukan dengan metode konsolidasi 1-D Terzaghi.

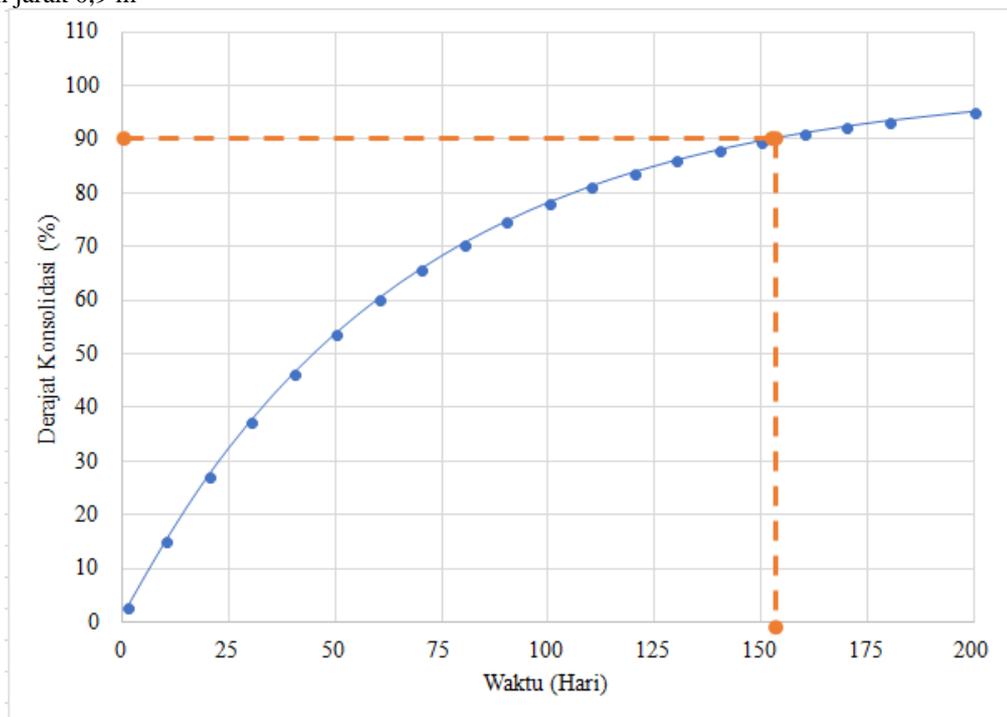


Gambar 3. Grafik Hubungan Waktu dan Derajat Konsolidasi Tanpa PVD

Pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% tanpa disertai penggunaan PVD adalah 372800 hari dengan besar penurunan sebesar 2,6973 meter.

## c. Perhitungan Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD

Perhitungan derajat konsolidasi menggunakan PVD dilaksanakan dengan pola segitiga. PVD dipasang dengan jarak 0,9 m



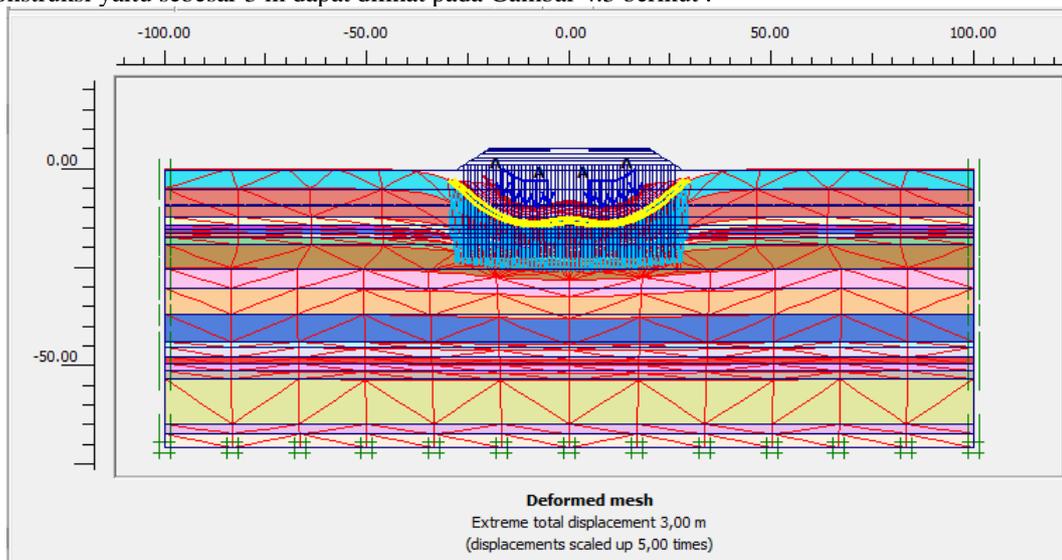
**Gambar 4.** Grafik Hubungan Waktu dan Derajat Konsolidasi Menggunakan PVD dengan Pola Pemasangan Segitiga dan Jarak 0,9 meter

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dengan pola segitiga dan jarak pemasangan 0,9 meter adalah 153 hari dengan besar penurunan 2,697 meter.

## 2. Perhitungan Program Plaxis 8.6

Analisa penurunan tanah menggunakan program Plaxis 8.6 ditujukan untuk mendapatkan total penurunan tanah dan faktor angka keamanan. Analisis dilakukan dengan memodelkan timbunan dengan model plane strain menggunakan elemen 15-nodes dengan permodelan Mohr Coulomb.

Setelah adanya konsolidasi selama 1 tahun, 3 tahun, dan 10 tahun didapatkan total penurunan yang sama pada konstruksi yaitu sebesar 3 m dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut :



**Gambar 5.** Total Penurunan Tanah Konsolidasi Program Plaxis 8.6

Setelah dilakukan perhitungan secara manual Metode Terzaghi dan menggunakan Program Plaxis 8.6, kemudian dibandingkan dengan penurunan yang terjadi di lapangan dengan hasil dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut :

**Tabel 2.** Perbandingan Penurunan Tanah

Waktu	Perhitungan Manual (m)	Program Plaxis 8.6 (m)	Lapangan (m)
1 Tahun	2,984	3	2,989
3 Tahun	2,997	3	-
10 Tahun	2,997	3	-

Berdasarkan Tabel 4.2 di atas dapat disimpulkan bahwa perhitungan penurunan tanah dengan menggunakan perhitungan manual Metode Terzaghi dan pada Program Plaxis 8.6 didapatkan hasil yang hampir sama dengan penurunan yang terjadi di lapangan

## V. SIMPULAN

1. Hasil analisis permodelan timbunan dengan menggunakan Program Plaxis 8.6 diperoleh besar penurunan tanah dengan waktu konsolidasi 1 tahun, 3 tahun, dan 10 tahun yang sama yaitu sebesar 3 m.
2. Hasil perhitungan dengan menggunakan Metode Terzaghi didapatkan besar penurunan tanah sebesar 2,984 m setelah terkonsolidasi dalam waktu 1 tahun, dan diperoleh besar penurunan tanah yang sama sebesar 2,997 setelah terkonsolidasi selama 3 tahun dan setelah terkonsolidasi dalam waktu 10 tahun.
3. Perbandingan perhitungan penurunan tanah dengan Perhitungan Manual Metode Terzaghi, dan Program Plaxis 8.6, didapatkan hasil yang hampir sama dengan penurunan yang terjadi di lapangan. Penurunan yang terjadi di lapangan adalah sebesar 2,989 m

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kepada Allah SWT yang telah memberikan kelancaran dalam proses penelitian ini.  
Kepada kedua orang tua tercinta bapak dan ibu, atas cinta, kasih sayang dan doanya.  
Kepada dosen pembimbing khususnya dan para dosen yang senantiasa membagikan ilmunya.  
Kepada semua pihak yang telah membantu dan memberi dukungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bjerrum, L., dan Simons, N. E., 1960. *Comprison of Shear Strength Characteristic of Normally Consolidated Clay*. Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils.
- [2] Das, B. M. 1993. *Mekanika Tanah, Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis*, Jilid 1, Erlangga : Jakarta.
- [3] Lilabsari, Zahra Febrina, 2018. *Evaluasi Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Instrument Geoteknik Pada Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Area Cluster Amanda Dan Btari Dengan Penggunaan Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain (PVD)*, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- [4] Michael, 2017. *Analisis Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan Preloading Dan PVD Dengan Metode Analitis Dan Metode Elemen Hingga*. Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- [5] Pratikso. 2013. *Mekanika Tanah II, Bahan Ajar : Program S1 Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil UNISSULA*.
- [6] Terzaghi, K. And Peck, R. B., 1967, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, New York : John Wiley & Sons
- [7] Winner, D, 2017. *Perbaikan Tanah Dasar Menggunakan Prefabricated Vertical Drain Dengan Variasi Kedalaman Dan Perkuatan Lereng Dengan Turap*, Surabaya : Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember