

Studi Kasus Perbaikan Tanah Lunak Pada Proyek Tol Semarang –Demak (STA 20+300 – STA 20+500)

¹Nabila Zarkasih Anggrahini*, ²Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D,
³Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng.

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung

*Corresponding Author:

lnabilazarang@gmail.com

Abstrak

Jalan tol adalah jalan yang diperuntukkan bagi lalu lintas umum dan merupakan bagian dari sistem jaringan jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar. Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 2 sta 20+300 – sta 20+500, akan dihitung analisa waktu yang dibutuhkan agar tanah mencapai konsolidasi >90 % dengan menggunakan metode kombinasi Prefabricated Vertical and Horizontal Drain (PVD & PHD), Tekanan air pori yang keluar dari dalam tanah tersebut, Faktor keamanan yang diperoleh dari akhir konstruksi sampai konstruksi berumur 10 tahun. Tujuan dari analisa ini adalah untuk mengetahui dan membandingkan penurunan tanah dengan timbunan antara tanpa Prefabricated Vertical and Horizontal Drain (PVD & PHD) dan dengan Prefabricated Vertical and Horizontal Drain (PVD & PHD) dengan menggunakan program Plaxis 8. 2 , mengetahui waktu yang dibutuhkan agar tanah mencapai konsolidasi >90% dengan menggunakan metode Prefabricated Vertical and Horizontal Drain (PVD & PHD). Berdasarkan hasil analisis permodelan timbunan dengan menggunakan Program Plaxis 8.6 diperoleh besar penurunan tanah sebesar 1,08 m, dengan menggunakan Metode Terzaghi didapatkan besar penurunan tanah sebesar 1,35 m setelah terkonsolidasi dalam waktu 1 tahun, 3 tahun dan 10 tahun. Didapatkan hasil yang hampir sama dengan di lapangan sebesar 1,2 m.

Kata kunci: Penurunan, Plaxis 8.2, Tanah Lunak, Timbunan, PHD, PVD

Abstract

Toll roads are roads reserved for general traffic and are part of the national road network system for which users are required to pay. In the Semarang Toll Road Development Project – Demak Section 2 sta 20 +300 – sta 20 +500, it will be calculated the analysis of the time needed for the land to achieve >90% consolidation using the combination method of Prefabricated Vertical and Horizontal Drain (PVD & PHD), pore water pressure coming out of the soil, safety factors obtained from the end of construction to construction aged 10 years. The purpose of this analysis is to find out and compare soil subsidence with deposits between without Prefabricated Vertical and Horizontal Drain (PVD & PHD) and with Prefabricated Vertical and Horizontal Drain (PVD & PHD) using plaxis 8 program. 2, knowing the time it takes for the soil to achieve >90% consolidation using the Prefabricated Vertical and Horizontal Drain (PVD & PHD) method. Based on the results of the analysis of the modeling of the heap using the Plaxis 8.6 Program obtained a large land subsidence of 1.08 m, using the Terzaghi Method obtained a large land subsidence of 1.35 m after consolidating within 1 year, 3 years and 10 years. Obtained almost the same result as in the field of 1.2 m.

Key words: Settlement, Plaxis 8.2, Soft soil, Heap, PHD, PVD

I. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur yang akan dibahas dalam tugas akhir ini merupakan jalan bebas hambatan atau jalan tol. Jalan bebas hambatan adalah jalan yang digunakan untuk lalu lintas umum dan merupakan bagian dari sistem jaringan jalan nasional dimana penggunaannya harus membayar biaya. Tujuan pembangunan jalan tol adalah untuk mewujudkan pembangunan dan pengembangan wilayah yang merata dan seimbang. Infrastruktur jalan tol yang dibahas ini akan menghubungkan Kota Semarang dan Kota Demak. Proyek pembangunan infrastruktur jalan tol ini dilaksanakan oleh PT. PP tbk sebagai kontraktor dan Virama Karya sebagai konsultan.

Rumusan Masalah

1. Analisa penurunan tanah dengan timbunan dengan *Prefabricated Vertical and Horizontal Drain* (PVD & PHD) menggunakan program *Plaxis 8.2* dan hitung secara teori untuk mengetahui besarnya *settlement* pada tanah dalam Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 2 sta 20+300 – sta 20+500,
2. Analisa waktu yang dibutuhkan tanah untuk mencapai konsolidasi >90% dengan menggunakan metode timbunan kombinasi *Prefabricated Vertical and Horizontal Drain* (PVD & PHD),
3. Tekanan air pori (*Pore Pressure*) yang keluar dari dalam tanah tersebut, serta faktor keamanan (*safety factor*) selama 1 tahun, 3 tahun, dan 10 tahun.

Maksud dan Tujuan

1. Mengetahui serta membandingkan penurunan tanah dengan timbunan antara tanpa *Prefabricated Vertical and Horizontal Drain* (PVD & PHD) dan dengan *Prefabricated Vertical and Horizontal Drain* (PVD & PHD) dengan menggunakan program *Plaxis 8.2* untuk mengetahui besarnya penurunan tanah (*Settlement*) pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 2,
2. Mengetahui waktu yang dibutuhkan tanah untuk mencapai konsolidasi >90% dengan menggunakan metode timbunan kombinasi *Prefabricated Vertical and Horizontal Drain* (PVD & PHD),
3. Mengetahui tekanan air pori (*Pore Pressure*) yang keluar dari dalam tanah tersebut, serta faktor keamanan (*Safety Factor*) selama 1 tahun, 3 tahun, dan 10 tahun.

Batasan Masalah

1. Dibatasi hanya pada permodelan dengan program *Plaxis 8.2* dan perhitungan metode *Terzaghi* untuk mengetahui besarnya penurunan tanah (*settlement*) yang terjadi,
2. Pola *Prefabricated Vertical and Horizontal* yang digunakan adalah pola segitiga dengan jarak 0,9 m.

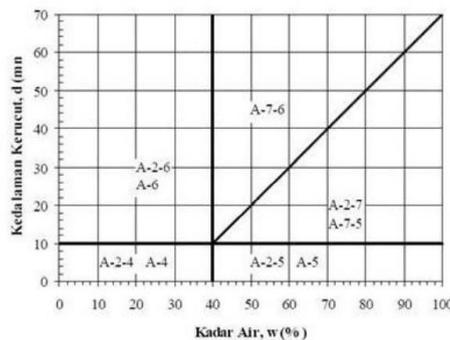
II. TINJAUAN PUSTAKA/ LANDASAN TEORI

Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu usaha pengelompokan berbagai jenis tanah yang berbeda namun memiliki sifat yang mirip menjadi kelompok dan subkelompok

berdasarkan pemakaiannya. Terdapat 2 sistem klasifikasi yang biasa digunakan dalam ilmu mekanika tanah. Kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran partikel dan batas – batas *Atterberg*, sistem – sistem tersebut adalah Sistem Klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dan Sistem Klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*). Sistem Klasifikasi AASHTO membagi tanah menjadi 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, A-3 adalah tanah berbutir dimana 35% butirannya lolos ayakan no. 200. Tanah yang butirannya lolos ayakan no.200 lebih dari 35% diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7.

Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 sebagian besar adalah lanau dan lempung.



Gambar 1. Grafik plastisitas untuk klasifikasi tanah sistem AASHTO (DAS, 1995)

Tabel 1. Klasifikasi tanah AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35 atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						Tanah lanau-lempung (lebih dari 35 % dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)				
	A-1		A3	A2			A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7			A-7-5*	A-7-6*
Analisis ayakan (% lolos)											
No. 10	≤ 50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40	≤ 30	≤ 50	≤ 51	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 batas cair (LL) Indeks elastisitas (PI)				≤ 41	≥ 41	≤ 40	≥ 40	≤ 40	≤ 41	≤ 40	≥ 41
	≤ 6		NP	≤ 10	≥ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan dasar tanah	Baik sekali sampai baik							sedang sampai jelek			

Keterangan : * Untuk A-7-5, PI ≤ LL – 30
 ** Untuk A-7-6, PI > LL – 30

Sumber : DAS, 1995

Sistem Klasifikasi USCS membagi tanah menjadi 3 kelompok,

1. Tanah butiran kasar (*coarse grained soil*), lolos saringan no. 20 kurang dari 50%, yaitu tanah kerikil dan berpasir dengan simbol awal **G** untuk kerikil (*gravel*) dan **S** untuk pasir (*sand*).
2. Tanah berbutir halus (*fine grained soil*), lolos saringan no. 200 lebih dari 50%, yaitu tanah lanau dan lempung dengan simbol awal **M** untuk lanau anorganik, **C** untuk lempung organik, dan **O** untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol **Pt** digunakan untuk gambut (*peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi.

3. Tanah organik (gambut/humus), dapat ditentukan dengan cara penelitian di laboratorium jika perbedaan batas cair tanah contoh yang belum dioven dengan yang telah dioven sebesar >25%.

Simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi adalah **W** untuk gradasi baik (*well graded*), **P** untuk gradasi buruk (*poorly graded*), **L** untuk plastisitas rendah (*low plasticity*), dan **H** untuk plastisitas tinggi (*high plasticity*).

Tabel 2. Sistem klasifikasi USCS

Divisi Utama	Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi	
Tanah berbutir kasar > 50% butiran terhalus saringan No. 200 Kerikil > 50% fraksi kasar terhalus saringan No. 4	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
	GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	
	GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$	
	Pasir dengan butiran halus Pasir > 50% fraksi kasar lolos saringan No. 4	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3
		SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
		SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan No. 200	Lanau dan lempung batas cair < 50%	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)	
		OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis	
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
		PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

Sumber : Christady, 1996

Parameter Tanah

Parameter tanah merupakan nilai acuan untuk mengetahui atau menilai suatu proses perubahan yang terjadi dalam tanah. Beberapa parameter pada tanah adalah sudut geser dalam, kohesi, kuat geser, *poisson ratio*, *modulus young*, kadar air, derajat kejenuhan, porositas, angka pori, kompresibilitas, dan permeabilitas.

Tanah Lunak

Tanah lunak merupakan istilah untuk tanah – tanah yang sering menyebabkan masalah ketidakstabilan. Menurut Pedoman Konstruksi dan Bangunan 2005 (Soetjiono & Pasaribu), tanah lunak adalah tanah yang bersifat lemah, secara alamiah terbentuk dari proses pengendapan sebagai lapisan *alluvial*, biasanya ada di rawa dan danau. Sedangkan menurut Bina Marga 2010, definisi tanah lunak dari sisi kekuatan adalah tanah yang memiliki nilai CBR lapangan <2. Tanah lunak memiliki daya dukung yang kecil, indeks

plastisitas yang besar, dan ukuran partikel yang relatif halus. Tanah lunak memerlukan waktu yang lama untuk konsolidasi, karena tanah lunak memiliki sifat permeabilitas (kemampuan tanah untuk dilewati air) yang kecil.

Indeks plastisitas yang tinggi merupakan salah satu faktor yang melemahkan daya dukung tanah. Dengan bertambahnya air maka partikel akan terpisahkan oleh cairan tersebut sehingga membuat antar partikel tersebut slip satu sama lain untuk mendapatkan posisi baru tanpa adanya kecenderungan kembali ke posisi semula dengan tidak ada perubahan volume dan tanpa mengurangi kohesi (Goldschmidt, 1952).

Sifat – sifat tanah lunak menurut Suyono (1986), Yelvi dan Adibroto (2007) adalah sebagai berikut :

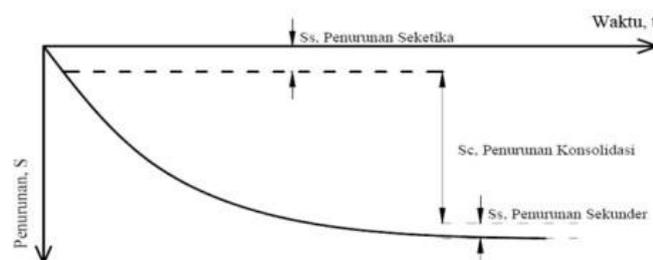
1. Gaya geser kecil,
2. Kemampatan besar,
3. Permeabilitas tinggi,
4. Tanah lunak identik dengan sifat kompresibilitas yang sangat tinggi, salah satu penyebabnya adalah karena tanah jenis ini memiliki angka pori yang tinggi,
5. Kadar air yang tinggi mampu menyebabkan tanah lunak memiliki daya dukung yang sangat rendah, sehingga terjadi penurunan. Hal inilah yang sering menjadi kendala selama konstruksi maupun selama konstruksi berlangsung.

Geosintetik

Geosintetik merupakan suatu bahan polimerisasi yang berfungsi sebagai material perkuatan atau dapat mempercepat proses konsolidasi lapisan tanah lunak. Geosintetik memiliki beberapa fungsi yaitu sebagai filtrasi, drainase, separator, perkuatan, penghalang, dan proteksi. Geosintetik dibagi menjadi beberapa jenis yaitu geotekstil, geomembran, *geo-linear element*, geogrid, dan geokompisit.

Settlement dan Konsolidasi

Dalam proses penahanan beban, tanah memiliki daya dukung yang bergantung dari jenis tanah yang ada. Apabila suatu lapisan tanah diberi penambahan beban, maka tanah akan mengalami penurunan. Penurunan ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah termasuk pengurangan air di dalam tanah yang menyebabkan perubahan pula pada rongga pori tanah. Keluarnya air dari dalam pori selalu disertai dengan berkurangnya volume tanah, turunnya volume tanah tersebut menjadi penyebab dari turunnya lapisan tanah di atasnya. Jadi, untuk tanah lempung perubahan volume yang disebabkan oleh keluarnya air dari dalam pori akan terjadi setelah penurunan segera. Dalam ilmu geoteknik, penurunan dikenal dalam 3 jenis, yaitu penurunan segera, penurunan konsolidasi/primer, dan penurunan rangkai/sekunder.



Gambar 2. Tahapan penurunan tanah (DAS, 1995)

Besarnya penurunan total yang terjadi dapat dilihat dalam persamaan (1) :

$$S = S_i + S_c + S_s \quad (1)$$

Parameter Perhitungan Konsolidasi

A. Koefisien Konsolidasi

Arah vertikal (C_v)

Kecepatan aliran air secara vertikal di dalam tanah dapat dihitung dengan persamaan (2) :

$$C_v = \frac{T_v \cdot H^2}{t} \quad (2)$$

Arah horizontal (C_h)

Dikutip dari jurnal “*Aspects on the Modelling of Smear Zone around Vertical Drain*” oleh Muller dan Larsson, koefisien konsolidasi horizontal dapat dihitung dengan persamaan (3) :

$$C_H = (1 + s/d^2) C_v \quad (3)$$

Gabungan

Untuk tanah dengan lapisan dengan kedalaman berbeda, nilai C_v gabungan dapat dianalisa dengan persamaan (4) :

$$C_{v\text{gabungan}} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}} \right)^2} \quad (4)$$

B. Indeks Pemuaian (C_s)

Indeks pemuaian memiliki nilai lebih kecil dibanding indeks pemampatan (C_c), nilai C_s dapat ditentukan dengan persamaan (5) :

$$C_s = 1/5 \text{ sampai } 1/10 C_c \quad (5)$$

C. Indeks Pemampatan (C_c)

Indeks pemampatan berfungsi untuk menghitung nilai penurunan aktual akibat konsolidasi, dapat dihitung dengan persamaan (6) dan persamaan (7):

$$C_c = 0,009 (LL - 10) \quad (6)$$

$$C_c = 0,007 (LL - 10) \quad (7)$$

Tabel 3. Nilai Indeks Pemampatan (Cc) Berbagai Jenis Tanah Lempung

Jenis Tanah	Indeks Pemampatan (Cc)
Normally consolidated medium sensitive clays	0.2 - 0.5
Chicago silt clay (CL)	0.1 - 0.3
Boston blue clay (CL)	0.3 - 0.5
Swedish medium sensitive clays (CLi - i CH)	1 - 3
Canadian leeds clay (CLi - i CH)	1 - 4
Mexico city clay (MH)	7 - 10
Organic clays (OH)	> 4
Peats (Pt)	10 - 15
Organics silt and clayey silts (ML - MH)	1.5 - 4
San Francisco bay mud (CL)	0.4 - 1.2
San Francisco old bay clays (CH)	0.7 - 0.9
Bangkok clay (CH)	0.4

Sumber : Kovacs, 1981

D. Tekanan *Overburden* Efektif (P_0')

Tekanan *overburden* efektif adalah tekanan efektif vertikal yang dimiliki tanah asli akibat beban atau lapisan tanah di atas titik tanah asli yang ditinjau. Dapat dianalisa dengan persamaan (8) :

$$P_0' = \gamma' \cdot H \quad (8)$$

E. Distribusi Tegangan Tanah (Δp)

Penyebaran tegangan tanah adalah tegangan tambahan yang disebabkan oleh pengaruh beban timbunan di atas tanah. Distribusi tegangan tanah dapat dihitung menggunakan persamaan (9), persamaan (10) dan persamaan (11) :

$$\Delta p = q_0 \cdot I \quad (9)$$

$$q_0 = \gamma \text{Timbunan} \cdot H_{\text{Preloading}} \quad (10)$$

$$I = \frac{(a+b)}{a} (a_1 + a_2) - \frac{b}{a} (a_2) \quad (11)$$

F. Faktor Waktu

Arah vertikal

Faktor waktu konsolidasi yang terjadi di lapangan dapat dihitung dengan persamaan (12) :

$$Tv = \frac{Cv \cdot t}{H^2} \quad (12)$$

Arah horizontal

Faktor waktu konsolidasi arah horizontal dapat dihitung menggunakan persamaan (13):

$$T_h = \frac{C_h \times t}{d e^2} \quad (13)$$

G. Kecepatan Waktu Konsolidasi (t)

Laju waktu penurunan merupakan parameter dalam memerkirakan penurunan konsolidasi. Menurut *Terzaghi* (1943) kecepatan waktu konsolidasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (14) :

$$t = \frac{T_v \times H d r^2}{C_v} \quad (14)$$

H. Derajat Konsolidasi

Arah vertikal

Untuk mendapatkan nilai U_v dapat dihitung dengan persamaan (15) dan persamaan (16) :

Untuk $U_v < 60\%$, maka U_v adalah :

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{n \cdot 4T_v}{\pi}}}{(1 + (\frac{4T_v}{\pi})^{2,8})^{0,1790}} \quad (15)$$

Untuk $U_v > 60\%$, maka U_v adalah :

$$U_v = 1 - \frac{1}{\pi^2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{(2m+1)^2} \text{Exp} - \left[\frac{\pi (2m+1)}{4} \right] T_v \quad (16)$$

Arah Horizontal

Analisa derajat konsolidasi arah horizontal dapat dihitung menggunakan persamaan (17) dan persamaan (18) :

$$U_H = 1 - \frac{u_{av}}{u_i} = 1 - \text{Exp} \frac{(8T_h)}{F(n)} \quad (17)$$

$$F(n) = \ln \left(\frac{v_e}{D_w} \right) - \frac{3}{4} \quad (18)$$

Derajat Konsolidasi Rata - Rata (U)

Derajat konsolidasi tanah (U) adalah perbandingan waktu penurunan tanah terhadap penurunan total, dapatdihitung menggunakan persamaan (19) :

$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_r) \quad (19)$$

III. METODE PENELITIAN/EKSPERIMEN

Teknik Pengumpulan Data

1. Masterplan Proyek

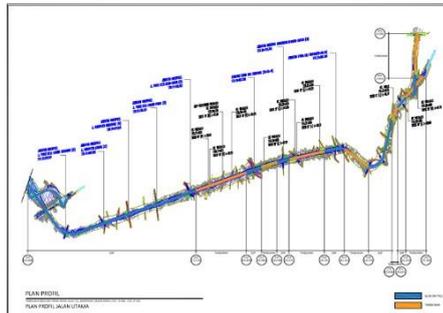
Masterplan menggambarkan denah rencana jalan tol dari Kota Semarang sampai Demak, Jawa Tengah.



Gambar 3. Masterplan Proyek Jalan Tol Semarang – Demak

2. Plan Profil Proyek

Masterplan menggambarkan detail timbunan dan jembatan rencana jalan tol dari Kota Semarang sampai Demak, Jawa Tengah.



Gambar 4. Plan Profil Proyek Jalan Tol Semarang – Demak

I. Evaluasi dan Analisa Parameter Tanah Dasar

Evaluasi dan Analisa parameter tanah dilaksanakan menurut data tanah dasar yang didapatkan dari lapangan dan pengujian. Data – data laboratorium tersebut dapat didapatkan dari uji sondir, bor log, *settlement plate*, *inclinometer*, dan *piezometer*.

II. Data Timbunan

Metode timbunan adalah suatu metode untuk mempercepat proses konsolidasi tanah di proyek, sebab tanah akan mengeluarkan air pori akibat dari tekanan yang diberikan.

III. Bacaan *Settlement Plate*

Data - data tanah yang didapatkan dikelompokkan sesuai kedalaman sehingga dapat dilakukan evaluasi dan analisa parameter tanah dasar sebagai berikut:

- Dari data sondir dan data *bor log*, tanah dasar di lapangan di-plot menjadi beberapa lapisan sesuaikekerasannya.
- Data timbunan yang diperoleh, meliputi sifat fisik timbunan, dimensi timbunan dan jadwal penimbunanmaterial tanah.

- c. Dari data parameter tanah lainnya dapat dianalisa pada masing - masing lapisan tanah.
- d. Data pemasangan dan material PVD diperoleh berupa pola pemasangan PVD, jarak antar PVD, sertakedalaman pemasangan PVD.
- e. Penurunan tanah dipantau dengan dengan sistem PVD menggunakan instrumen geoteknik.

IV. Analisa Data

Data yang diperoleh adalah jenis tanah lunak yang akan dianalisis dengan analisis reklamasi tanah untuk mendapatkan daya dukung tanah, serta besarnya konsolidasi tanah yang akan terjadi. Dalam hal ini, operasi reklamasi tanah dilakukan sesuai dengan opsi yang ada, dan kemudian diperlakukan sedemikian rupa sehingga reklamasi tanah paling efisien dan ekonomis.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan Derajat Konsolidasi tanpa PVD dan PHD

Tabel 4. Rekapitulasi Derajat Konsolidasi tanpa PVD dan PHD

t (Hari)	Cv gab (m ² /day)	Tv	Uv	S (m)
1	0,00269	2,2E-06	0,001662	0,00226
10	0,00269	2,2E-05	0,005255	0,00714
100	0,00269	0,00022	0,016618	0,02256
1000	0,00269	0,00217	0,052552	0,07135
10000	0,00269	0,02168	0,166183	0,22563
100000	0,00269	0,2168	0,522999	0,71010
150000	0,00269	0,32519	0,634321	0,86124
200000	0,00269	0,43359	0,720441	0,97817
250000	0,00269	0,54199	0,787001	1,06854
300000	0,00269	0,65039	0,837673	1,13734
350000	0,00269	0,75878	0,875687	1,18895
360000	0,00269	0,78046	0,882034	1,19757
370000	0,00269	0,80214	0,888014	1,20569
380000	0,00269	0,82382	0,893648	1,21334
390000	0,00269	0,8455	0,898956	1,22055
392100	0,00269	0,85006	0,900031	1,22201

Hasil Perhitungan Derajat Konsolidasi dengan PVD dan PHD

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Analisis Derajat Konsolidasi menggunakan PVD dan PHD

T (Hari)	Tv	Cv (m ² /day)	Uv	Ch (m ² /day)	Th	Uh	U	S (m)
1	8,069E-04	2,685E-03	3,206E-02	4,028E-03	4,511E-03	2,343E-01	2,588E-01	3,514E-01
10	8,050E-03	2,685E-03	1,013E-01	4,028E-03	4,511E-02	2,110E-01	2,909E-01	3,950E-01
20	1,610E-02	2,685E-03	1,432E-01	4,028E-03	9,022E-02	3,775E-01	4,667E-01	6,336E-01
30	2,415E-02	2,685E-03	1,754E-01	4,028E-03	1,353E-01	5,089E-01	5,950E-01	8,079E-01
40	3,219E-02	2,685E-03	2,025E-01	4,028E-03	1,804E-01	6,125E-01	6,910E-01	9,382E-01
50	4,024E-02	2,685E-03	2,264E-01	4,028E-03	2,255E-01	6,943E-01	7,635E-01	1,037E+00
60	4,829E-02	2,685E-03	2,480E-01	4,028E-03	2,706E-01	7,588E-01	8,186E-01	1,111E+00
70	5,634E-02	2,685E-03	2,679E-01	4,028E-03	3,158E-01	8,097E-01	8,607E-01	1,169E+00
80	6,439E-02	2,685E-03	2,863E-01	4,028E-03	3,609E-01	8,499E-01	8,929E-01	1,212E+00
85	6,841E-02	2,685E-03	2,951E-01	4,028E-03	3,834E-01	8,667E-01	9,060E-01	1,230E+00
90	7,243E-02	2,685E-03	3,037E-01	4,028E-03	4,060E-01	8,816E-01	9,175E-01	1,246E+00
100	8,048E-02	2,685E-03	3,201E-01	4,028E-03	4,511E-01	9,066E-01	9,365E-01	1,271E+00
110	8,853E-02	2,685E-03	3,357E-01	4,028E-03	4,962E-01	9,263E-01	9,510E-01	1,291E+00
120	9,658E-02	2,685E-03	3,506E-01	4,028E-03	5,413E-01	9,418E-01	9,622E-01	1,306E+00
130	1,046E-01	2,685E-03	3,648E-01	4,028E-03	5,864E-01	9,541E-01	9,709E-01	1,318E+00
140	1,127E-01	2,685E-03	3,786E-01	4,028E-03	6,315E-01	9,638E-01	9,775E-01	1,327E+00
150	1,207E-01	2,685E-03	3,918E-01	4,028E-03	6,766E-01	9,714E-01	9,826E-01	1,334E+00
160	1,288E-01	2,685E-03	4,046E-01	4,028E-03	7,217E-01	9,775E-01	9,866E-01	1,340E+00
190	1,529E-01	2,685E-03	4,405E-01	4,028E-03	8,570E-01	9,889E-01	9,938E-01	1,349E+00
220	1,771E-01	2,685E-03	4,736E-01	4,028E-03	9,924E-01	9,946E-01	9,971E-01	1,354E+00
250	2,012E-01	2,685E-03	5,043E-01	4,028E-03	1,128E+00	9,973E-01	9,987E-01	1,356E+00
280	2,253E-01	2,685E-03	5,329E-01	4,028E-03	1,263E+00	9,987E-01	9,994E-01	1,357E+00
310	2,495E-01	2,685E-03	5,598E-01	4,028E-03	1,398E+00	9,994E-01	9,997E-01	1,357E+00
340	2,736E-01	2,685E-03	5,850E-01	4,028E-03	1,534E+00	9,997E-01	9,999E-01	1,358E+00
360	2,897E-01	2,685E-03	6,011E-01	4,028E-03	1,624E+00	9,998E-01	9,999E-01	1,358E+00
365	2,937E-01	2,685E-03	6,050E-01	4,028E-03	1,646E+00	9,998E-01	9,999E-01	1,358E+00

Hasil Perhitungan Konsolidasi Menggunakan Aplikasi *Plaxis 8.2*

1. Output konsolidasi 1 tahun

Konsolidasi selama 1 tahun terjadi penurunan 1,08 m, tekanan air pori -166,73 kN/m², tegangan efektif rata – rata -277,87 kN/m², safety factor senilai 1,6416.

2. Output konsolidasi 3 tahun
 Konsolidasi selama 3 tahun terjadi penurunan 1,08 m, tekanan air pori -159,84 kN/m², tegangan efektif rata – rata -278,17 kN/m², safety factor senilai 1,7843.
3. Output konsolidasi 10 tahun
 Konsolidasi selama 10 tahun terjadi penurunan 1,08 m, tekanan air pori -146,91 kN/m², tegangan efektif rata – rata -278,70 kN/m², safety factor senilai 1,7119.

VI. SIMPULAN

Berdasarkan perhitungan Terzaghi tanpa PVD dan PHD dengan menggunakan PVD dan PHD dapat ditunjukkan pada tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Hasil Perhitungan untuk Mencapai Derajat Konsolidasi 90%

	Derajat Konsolidasi 90%	
	Waktu (hari)	Penurunan (m)
Tanpa PVD & PHD	392100	1,22
Dengan PVD & PHD	85	1,23

Kemudia perbandingan penurunan tanah dengan perhitungan manual dan program *Plaxis* 8.2 dijelaskan pada tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7. Perbandingan Penurunan Tanah

Waktu	Perhitungan manual (m)	Program Plaxis (m)
1 Tahun	1,35	1,08
3 Tahun	1,35	1,08
10 Tahun	1,35	1,08

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fitriyana, Lisa, Pengaruh Feldspar dan Ampas Tebu terhadap Propertis Tanah Ekspansif, 2019.
- [2] Winner, D., Noor Endah, dan Putu Tantri Kumalasari, Perbaikan Tanah Dasar menggunakan Prefabricated Vertical Drain dengan Variasi Kedalaman dan Perkuatan Lereng dengan Turap, Jurnal Teknik ITS Vol. 6, 2017.
- [3] Yeung, Albert T., *On The Effectiveness of Sand Drains*, *Canadian Geotechnical Journal*, 2011.
- [4] Bowles, J. E., Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. PT. Erlangga, 1991.
- [5] Das, B. M., Mekanika Tanah, Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid 1, PT. Erlangga, 1993.
- [6] Das, B. M., Mekanika Tanah, Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid 2, PT.

- Erlangga, 1993.
- [7] Das, B. M., Mekanika Tanah, Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid 1, PT. Erlangga, 1995.
- [8] Das, B. M., Mekanika Tanah, Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid 1, PT. Erlangga, 1998.
- [9] Begeman, Myron L., Teknologi Mekanika, PT. Erlangga, 1965.
- [10] Irsyam, Mahsyur, Rekayasa Pondasi, ITB Press, 2012.
- [11] Hardiyatmo, G. C., Mekanika Tanah Jilid 1, Gajah Mada University Press, 2002.
- [12] Lambe, T. W dan R. V. Whitman, *Soil Mechanics, Massachusetts Institue of Technology*, 1969.
- [13] Mayerhoff, G. G., Proceeding ASCE Vol. 102, American Society of Civil Engineering, 1976.
- [14] Terzaghi, K. and R.B. Peck, Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley & Sons inc, 1967.
- [15] Verhoef, PNW., Geologi untuk Teknik Sipil, PT. Erlangga, 1994.
- [16] Wesley, L. D., Mekanika Tanah, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, 1977.
- [17] Pratikso, Topik Khusus Geoteknik, Teknik Sipil Univeritas Islam Sultan Agung, 2014.
- [18] Pratikso, Mekanika Tanah II Bahan Ajar, Program S1 Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung, 2013.
- [19] Lilabsari, Zahra Febrina, Evaluasi Perbaikan Tanah Lunak menggunakan *Instrument Geoteknik* pada Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Area Cluster, Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 2018.
- [20] Manihuruk, Jeremy Natama, Evaluasi Derajat Konsolidasi Timbunan menggunakan *Preloading* dan PVD dengan Metode Asaoka, skripsi, Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, 2019.
- [21] Bimantara, Denni, dan Pradana, Ardi Yudha, Analisis Perkuatan *Geotextile* pada Timbunan menggunakan *Program Plaxis V8.2*, skripsi, Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung, 2018.
- [22] Viona, D. V. Analisis Konsolidasi Tanah Lunak menggunakan Perkuatan *Geotextile* akibat *Preloading* Dikombinasikan dengan PVD dan PHD, skripsi, Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung, 2021.

- [23] Efendi, Aflah Baihaqi, Evaluasi Penurunan Akhir Tanah di Lapangan menggunakan Metode Observasional : Asaoka dan Hiperbolik pada Proyek PPKA Seksi 2 Palembang Sumatera Selatan, skripsi, Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember, 2019.
- [24] Michael, Analisis Konsolidasi Tanah Lunak menggunakan *Preloading* dan PVD dengan Metode Analitis dan Metode Elemen hingga, skripsi, Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, 2017.
- [25] Nazali, Wahyu dan Tegar A.U. Analisis Konsolidasi Tanah dengan menggunakan *Vacuum Consolidation Methode*, skripsi, Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung, 2021.