

KAJIAN PEMAMPATAN TANAH LUNAK DENGAN METODE PVD-PHD DI PELABUHAN KIJING KABUPATEN MEMPAWAH

Tya Andria¹, R.M Rustamaji², Eka Priadi²

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura

² Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura

Abstrak

Kalimantan Barat, khususnya di Pantai Kijing Kecamatan Sungai Kunyit, Kabupaten Mempawah, merupakan lokasi pembangunan pelabuhan internasional dengan hasil penyelidikan tanahnya ialah berupa tanah lunak yang sangat padat sehingga perlu adanya perbaikan tanah. Perbaikan tanah yang dilakukan yaitu dengan dipasangnya PVD (Prefabricated Vertical Drain), PHD (Prefabricated Horizontal Drain), ditambah dengan pemasangan Geotextile dan Geomembrane sebagai pendukung proses kerja dari Vacuum Consodilation yang dikombinasikan dengan Pembebanan awal (Preloading). Selain itu, dilakukan analisa dengan beberapa variasi metode perbaikan tanah seperti, metode PVD-PHD kombinasi Vacuum Consolidation, dan metode PVD-PHD kombinasi Preloading saja untuk mengetahui besar dan waktu penurunan tanah.

Hasil perhitungan konsolidasi primer dengan derajat konsolidasi 90% pada tanah asli mengalami penurunan sebesar 1,092 m selama 1,8 tahun, dengan metode PVD-PHD kombinasi Vacuum Consolidation mengalami penurunan sebesar 1,429 m, dengan metode PVD-PHD kombinasi Preloading mengalami penurunan sebesar 1,995 m, sedangkan untuk metode PVD-PHD dengan Vacuum Consolidation kombinasi Preloading mengalami penurunan sebesar 1,199 m masing-masing terjadi dalam waktu 25 hari. Untuk hasil pengamatan dilapangan dengan derajat konsolidasi 90% menghasilkan penurunan sebesar 1,067 m selama 100 hari. Perhitungan tersebut dilakukan berdasarkan Teori Konsolidasi Satu Dimensi oleh Terzaghi.

Kata kunci: Penurunan, preloading, PVD-PHD, tanah lunak, vacuum consolidation.

Abstract

West Kalimantan, especially in Kijing Beach, Sungai Kunyit Subdistrict, Mempawah Regency, is the location of the construction of an international port with the results of the investigation of the land is in the form of soft soil which is very dense so that there is a need for soil improvement. Soil improvement is carried out by installing PVD (Prefabricated Vertical Drain), PHD (Prefabricated Horizontal Drain), coupled with the installation of Geotextile and Geomembrane as supporting the work process of Vacuum Consodilation combined with Preloading. Besides, an analysis was carried out with a variety of soil improvement methods such as the Vacuum Consolidation PVD-PHD method, and the Preloading combination PVD-PHD method only to determine the extent and time of land subsidence.

The results of the calculation of primary consolidation with 90% consolidation degree in the original soil decreased by 1,092 m over 1.8 years, with the PVD-PHD combination Vacuum Consolidation method decreased by 1,429 m, with the Preloading combination PVD-PHD method decreased by 1,995 m, whereas for the PVD-PHD method with Vacuum Consolidation the combination of Preloading has decreased by 1,199 m each occurring within 25 days. For field observations with a degree of consolidation of 90% resulted in a decrease of 1,067 m for 100 days. The calculation is based on the One Dimensional Consolidation Theory by Terzaghi.

Keywords: Decrease, preloading, PVD-PHD, soft soil, vacuum consolidation.

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Untuk menunjang mobilitas barang dan berbagai macam keperluan manusia maka perlu dibangunnya pelabuhan disuatu wilayah. Adanya pelabuhan disuatu wilayah akan memicu perputaran roda perekonomian baik dari skala kecil maupun skala internasional. Kalimantan Barat, khususnya di Pantai Kijing Kecamatan Sungai Kuyit, Kabupaten Mempawah, menjadi lokasi yang dipilih oleh pemerintah dalam merealisasikan program pembangunan pelabuhan internasional karena memiliki lokasi yang sangat strategis dimana wilayah ini berada pada jalur tengah Sumatra, Asia Tenggara, dan punya akses langsung ke Malaysia, Filipina, hingga Jepang.

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah, pembangunan pelabuhan ini dilakukan diatas tanah dasar berupa tanah lunak yang sangat padat, dimana tanah jenis ini memiliki banyak permasalahan contohnya memiliki kandungan air yang tinggi yang dapat menyebabkan konstruksi diatasnya mengalami kerusakan. Perbaikan tanah yang dilakukan pada pelabuhan Kijing ini adalah dengan dipasangnya PVD (*Prefabricated Vertical Drain*), PHD (*Prefabricated Horizontal Drain*), ditambah dengan pemasangan *Geotextile* dan *Geomembrane* sebagai pendukung proses kerja dari *Vacuum Consodilation* yang dikombinasikan dengan Pembebanan awal (*Preloading*). Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pita sintesis pada stabilisasi tanah lunak maka pada penelitian ini, peneliti mengkaji pengaruh metode PVD-PHD terhadap proses pemampatan tanah lunak pada pembangunan Pelabuhan Kijing, Kecamatan Sungai Kuyit, Kabupaten Mempawah.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh waktu dan besar penurunan tanah yang dilakukan dengan metode PVD-PHD kombinasi *Vacuum Consolidation*?
2. Bagaimana pengaruh waktu dan besar penurunan tanah apabila menggunakan metode PVD-PHD kombinasi *Preloading* saja?
3. Berapa besar dan waktu penurunan tanah yang terjadi setelah dilakukannya proses PVD-PHD serta kombinasi dari *Vacuum Consolidation* dan *Preloading*?

Tujuan Penelitian

Tujuan penulis dalam penelitian ini adalah :

1. Mengetahui waktu dan besar penurunan tanah yang dilakukan dengan metode PVD-PHD kombinasi *Vacuum Consolidation*.
2. Mengetahui pengaruh waktu dan besar penurunan tanah apabila menggunakan metode PVD-PHD kombinasi *Preloading* saja.

3. Mengetahui besar dan waktu penurunan tanah yang terjadi setelah dilakukannya proses PVD-PHD serta kombinasi dari *Vacuum Consolidation* dan *Preloading*. Kemudian hasil dari perhitungan tersebut akan dibandingkan dengan hasil pengamatan dilapangan.

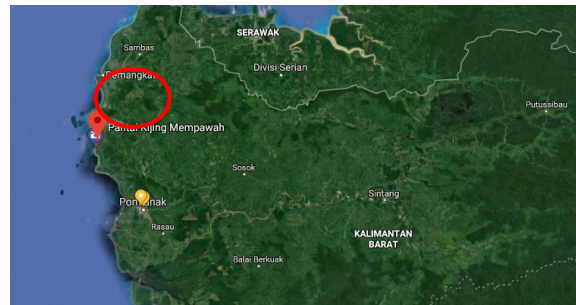
Pembatasan Masalah

Adapun yang menjadi pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Wilayah pengamatan hanya dilakukan pada zona 1 area *Container Yard* (CY) dengan luas 25.605,92 m² di Pelabuhan Kijing Kecamatan Sungai Kuyit Kabupaten Mempawah.
2. Hanya melakukan perhitungan waktu (t) dan besar penurunan (Sc) akibat konsolidasi primer dengan derajat konsolidasi (U) 90% yang dianalisa secara manual, yang mana perhitungan dilakukan dengan variasi metode perbaikan tanah menggunakan PVD-PHD dengan kombinasi *Preloading*, *Vacuum Consolidation*, dan *Vacuum Consolidation* kombinasi *Preloading*.
3. Hasil analisa manual yang dibandingkan dengan pengamatan dilapangan adalah dari perhitungan besar dan waktu penurunan menggunakan metode PVD-PHD dengan *Vacuum Consolidation* kombinasi *Preloading*.
4. Menggunakan data sekunder yang berupa data *Boring Log*, data tanah dasar dan tanah timbunan hasil uji laboratorium, serta *shop drawing* pada Zona 1.
5. Pola PVD yang digunakan adalah Pola Segiempat dengan jarak antar PVD yaitu 1 meter dan jarak antar PHD yaitu 1 meter.
6. Tidak memperhitungkan beban rencana pada area *Container Yard*.
7. Tidak memperhitungkan biaya dan fluktuasi (ketidaktetapan) air tanah akibat curah hujan maupun pasang surut air laut.

2. Metodologi Penelitian

Lokasi proyek pembangunan Pelabuhan Kijing berada di Desa Sungai Kuyit Kecamatan Sungai Kuyit Kabupaten Mempawah Provinsi Kalimantan Barat. Peta lokasi penelitian dapat ditinjau pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Lokasi penelitian



Gambar 2. Lokasi tinjauan proyek

Pengumpulan Data

Adapun data-data yang diperoleh berikut ini :

Data sekunder dari PT.Wijaya Karya yang berupa :

- Gambar Potongan melintang
- Data tanah dasar (*subgrade*)

Tabel 1. Data Boring Log BH-02

No	Location of sample	Depth of Sample	USCS Soil Class.	Index Properties						Mechanical properties			
				W _n (%)	γ _s (gr/cm ³)	γ _d (gr/cm ³)	γ _{sat} (gr/cm ³)	Void Ratio	Porosity (%)	S _r (%)	Specific Gravity	C _c	C _u cm ² /sec
1		2,55 - 3,55	OH - MH	78,940	1,597	0,867	1,512	2,005	0,592	100,0	2,540	0,440	0,003
2		4,00 - 4,30	CH								2,653		
3	BH-02	6,55 - 7,55	ML - OL	36,850	1,767	1,383	1,766	0,986	0,426	91,7	2,561	0,340	0,016
4		9,00 - 9,30	CL								2,665		
5		17,00 - 17,30	SC								2,689		

- Data tanah timbunan

Tabel 2. Data Tanah Timbunan

Lapisan	H _{timb} (cm)	γ _d (gr/cm ³)	γ _w (gr/cm ³)	e	S _r (%)	γ (gr/cm ³)
timbunan leveling	115,000	1,675	1,000	0,669	58,938	1,911

- Data hasil monitoring lapangan di zona 1

Tabel 3. Data hasil monitoring (Geo+2)

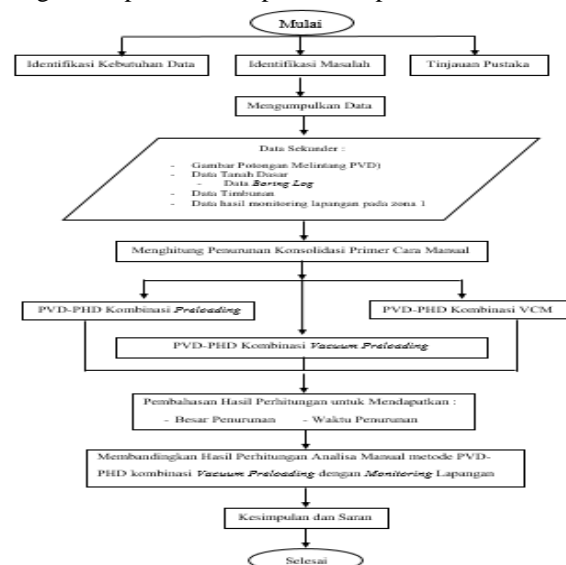
t (hari)	Sc (m)	t (hari)	Sc (m)
0	0	60	0,827
5	0,229	65	0,873
10	0,361	70	0,898
15	0,427	75	0,918
20	0,466	80	0,958
25	0,491	85	0,985
30	0,586	90	1,001
35	0,618	95	1,045
40	0,657	100	1,067
45	0,701	130	1,189
50	0,748	135	1,200
55	0,805	140	1,213

Bagan Alir Penelitian

- Dimulai dari tahap persiapan, yaitu mengidentifikasi kebutuhan data, mengidentifikasi masalah, menyiapkan dan mempelajari tinjauan pustaka yang digunakan sebagai referensi agar mempermudah suatu penelitian, dan melakukan survey lokasi yang bertujuan untuk mengetahui keadaan sebenarnya yang ada dilapangan.

- Mengumpulkan data sekunder dari PT.Wijaya Karya, yang mana data tersebut harus sesuai dengan kebutuhan studi penelitian sehingga memperoleh hasil yang ideal.
- Dilanjutkan analisa perhitungan dengan cara manual untuk mendapatkan besar dan lamanya waktu penurunan tanah yang dilakukan dengan metode PVD-PHD dengan *Preloading*, metode PVD-PHD dengan *Vacuum Consolidation* saja, dan metode PVD-PHD dengan *Vacuum Consolidation* kombinasi *Preloading*. Adapun dibawah ini langkah-langkah perhitungan yang dimaksud :
 - Menghitung besar dan waktu penurunan sebelum menggunakan PVD
 - Menghitung koefisien konsolidasi vertikal (C_v)
 - Menghitung koefisien konsolidasi horizontal (C_h)
 - Menghitung faktor waktu vertikal (T_v)
 - Menghitung derajat konsolidasi arah vertikal (U_v)
 - Menghitung diameter hidrolis (D)
 - Menghitung diameter ekivalen (d_w)
 - Menghitung faktor waktu horizontal (T_h)
 - Menghitung efek *smear*; faktor hambatan (F), faktor hambatan disebabkan karena jarak PVD (F_n), dan faktor hambatan tanah terganggu (F_s)
 - Menghitung derajat konsolidasi horizontal (U_h)
 - Menghitung derajat konsolidasi total (U)
 - Menghitung besar penurunan konsolidasi (S_c)
 - Menghitung waktu penurunan konsolidasi (t)
- Kemudian bandingkan kesimpulan dari hasil pengamatan dilapangan dengan hasil perhitungan yang didapat dari analisa manual.

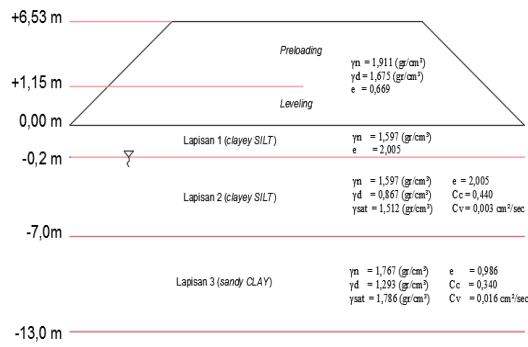
Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



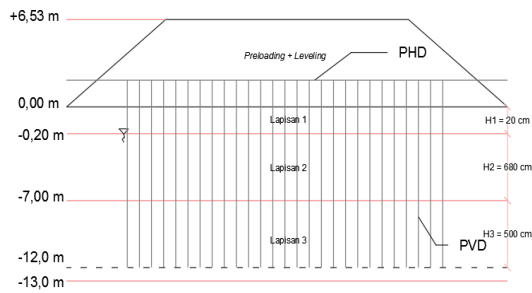
Gambar 3. Bagan alir penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Gambar Potongan Melintang Lapisan Tanah



Gambar 4. Lapisan tanah tanpa PVD



Gambar 4. Lapisan tanah dengan PVD

Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer

- Tegangan *overburden* efektif (P_{o1})

$$P_{o1} = \gamma_n \cdot \frac{1}{2} H \quad (1)$$

$$P_{o2} = (\gamma' \cdot \frac{1}{2} H) + P_{o1} \quad (2)$$
- Tegangan akibat beban timbunan (Δp)
- Besar Penurunan Konsolidasi Primer (Sc)
Pada kondisi *Normally Consolidation*

$$Sc = \frac{Cc}{1+e_o} H \log \frac{p'_{o2} + \Delta p}{p'_{o1}} \quad (3)$$
- Waktu Penurunan (t)

$$t = \frac{T_v \times H_{dr}^2}{C_v} \quad (4)$$

Perhitungan Penurunan dengan PVD Pola Segiempat

- Faktor Waktu Arah Vertikal (T_v)

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H_{dr}^2} \quad (5)$$
- Derajat Konsolidasi Arah Vertikal (U_v)

$$U_v = \frac{\sqrt{4 \cdot T_v / \pi}}{\left(1 + \left(4 \cdot T_v / \pi\right)^{2,8}\right)^{0,179}} \quad (6)$$
- Faktor Waktu Arah Horizontal (T_h)

$$T_h = \frac{C_h \cdot t}{D^2} \quad (7)$$
- Derajat Konsolidasi Arah Horizontal (U_h)

$$U_h = 1 - \exp\left(\frac{-8 \cdot T_h}{F}\right) \quad (8)$$
- Derajat Konsolidasi Total (U)

$$U = 1 - [(1 - U_v) \cdot (1 - U_h)] \quad (9)$$
- Besar Penurunan (Sc)

$$Sc = U \cdot S_{ult} \quad (10)$$

Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer pada Tanah Asli

Tabel 4. Hasil Perhitungan Nilai P_o

Lapisan (m)	H (cm)	γ_n (gr/cm ³)	γ_w (gr/cm ³)	γ_{sat} (gr/cm ³)	γ' (gr/cm ³)	P_o (gr/cm ²)
0,00 - 0,20	20,00	1,597	1,00			15,970
0,20 - 7,00	680,00	1,597	1,00	1,512	0,512	190,209
7,00 - 12,00	500,00	1,767	1,00	1,786	0,786	386,696

Tabel 5. Hasil Perhitungan Nilai Δp

a (cm)	b (cm)	z (cm)	q_o (gr/cm ²)	α_1 (rad)	α_2 (rad)	I	Δp (gr/cm ²)
817,5	10479,1	10,000	219,785	0,00007	1,570	1,57080	690,475
817,5	10479,1	360,000	219,785	0,00248	1,536	1,57077	690,465
817,5	10479,1	950,000	219,785	0,00651	1,480	1,57036	690,282

Ditinjau pada STA (04 + 450) didapat nilai a dan b untuk menghitung faktor pengaruh (I).

Tabel 6. Hasil Perhitungan Nilai Sc

Lapisan	H (cm)	C_c	e	P_o (gr/cm ²)	Δp (gr/cm ²)	Sc (cm)	Sc (m)
1	20,000	0,440	2,005	15,970	690,475	4,819	0,048
2	680,000	0,440	2,005	190,209	690,475	66,269	0,663
3	500,000	0,340	0,986	386,696	690,475	38,082	0,381
Sc total						109,171	1,092

Perhitungan waktu penurunan (t) dihitung dengan persamaan (4), didapat waktu penurunan selama 1,8 tahun.

Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer dengan Metode *Vacuum Consolidation*.

Pada analisa penurunan ini, tekanan hisap pompa yang digunakan adalah 80 kPa = 800 gr/cm². Menurut Puspita (2017) pada jurnal penelitiannya, tekanan hisap pompa digunakan sebagai tegangan tambahan ($\Delta p'$) pada analisa penurunan konsolidasi (persamaan 2). Sehingga tegangan tambahannya menjadi Δp total = $\Delta p'$ pompa + Δp tanah timbunan.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Penurunan (Sc_{ult})

Lapisan	H (cm)	C_c	e	P_o (gr/cm ²)	Δp_{tot} (gr/cm ²)	Sc (cm)	Sc (m)
1	20,000	0,440	2,005	15,970	1490,475	5,783	0,058
2	680,000	0,440	2,005	190,209	1490,465	94,214	0,942
3	500,000	0,340	0,986	386,696	1490,282	58,725	0,587
Sc total						158,721	1,587

Tabel 8. Hasil Perhitungan Penurunan dengan PVD Pola Segiempat dan Tekanan Vakum

t (detik)	t (hari)	t (tahun)	T_v (%)	U_v (%)	1- U_v	T_h	U_h (%)	1- U_h	U (%)	Sc (cm)	Sc (m)
0	0	0,000	0,0000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
432000	5	0,014	0,0064	0,091	0,909	0,182	0,341	0,659	0,400	63,544	0,635
864000	10	0,027	0,0129	0,128	0,872	0,384	0,565	0,435	0,621	98,551	0,986
1296000	15	0,041	0,0193	0,157	0,843	0,546	0,713	0,287	0,758	120,355	1,204
1728000	20	0,055	0,0258	0,181	0,819	0,727	0,811	0,189	0,845	134,151	1,342
2160000	25	0,068	0,0322	0,203	0,797	0,909	0,875	0,125	0,901	142,942	1,429
2332800	27	0,074	0,0348	0,211	0,789	0,982	0,894	0,106	0,917	145,496	1,455
3024000	35	0,096	0,0451	0,240	0,760	1,273	0,946	0,054	0,959	152,179	1,522
3456000	40	0,110	0,0516	0,256	0,744	1,455	0,964	0,036	0,973	154,501	1,545
3888000	45	0,123	0,0580	0,272	0,728	1,637	0,976	0,024	0,983	155,997	1,560
4320000	50	0,137	0,0645	0,287	0,713	1,818	0,984	0,016	0,989	156,961	1,570
4752000	55	0,151	0,0709	0,300	0,700	2,000	0,990	0,010	0,993	157,583	1,576
5184000	60	0,164	0,0774	0,314	0,686	2,182	0,993	0,007	0,995	157,985	1,580
5616000	65	0,178	0,0838	0,327	0,673	2,364	0,996	0,004	0,997	158,245	1,582
6048000	70	0,192	0,0903	0,339	0,661	2,546	0,997	0,003	0,998	158,413	1,584
6480000	75	0,205	0,0967	0,351	0,649	2,728	0,998	0,002	0,999	158,521	1,585
6912000	80	0,219	0,1032	0,362	0,638	2,910	0,999	0,001	0,999	158,592	1,586
7344000	85	0,233	0,1096	0,373	0,627	3,091	0,999	0,001	0,999	158,637	1,586
7776000	90	0,247	0,1161	0,384	0,616	3,273	0,999	0,001	1,000	158,667	1,587
8208000	95	0,260	0,1225	0,395	0,605	3,455	1,000	0,000	1,000	158,696	1,587
8640000	100	0,274	0,1290	0,405	0,595	3,637	1,000	0,000	1,000	158,719	1,587
11232000	130	0,356	0,1677	0,461	0,539	4,728	1,000	0,000	1,000	158,719	1,587
11664000	135	0,370	0,1741	0,470	0,530	4,910	1,000	0,000	1,000	158,720	1,587
12096000	140	0,384	0,1806	0,478	0,522	5,092	1,000	0,000	1,000	158,720	1,587

Untuk analisa perhitungan konsolidasi primer dengan derajat konsolidasi 90 % pada metode ini didapat penurunan sebesar 1,429 m dalam waktu 25 hari.

Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer dengan Metode Preloading.

Perhitungan penurunan konsolidasi dengan metode *preloading* kombinasi PVD sama seperti perhitungan penurunan pada tanah asli, yang membedakan ialah adanya penambahan beban awal berupa beban kontainer sebesar 70 kPa dan beban perkerasan sebesar 20 kPa yang ditinjau pada STA 40+450.

W. Kontainer = 70 kPa = 700 gr/cm²
 W. Perkerasan = 20 kPa = 200 gr/cm²
 W. Timbunan = $\gamma_{\text{timbunan}} \cdot H$
 $= 1,911 \times 115 = 219,785 \text{ gr/cm}^2$ +
 W = 1119,785 gr/cm²
 W. Faktor = 1119,785 x 1,2 = 1343,7 gr/cm²
 W. Load rasio
 = 1343,7 - 1119,785 = 223,957 gr/cm²
 W total = 700 + 200 + 223,957 = 1123,957 gr/cm²
 q₀ = W total = 1123,957 gr/cm²

Tabel 9. Hasil Perhitungan Nilai Δp

a	b	z	q ₀	α_1	α_2	I	Δp
cm	cm	cm	(gr/cm ²)	rad	rad		(gr/cm ²)
817,5	10479,1	10,000	1123,957	0,00007	1,570	1,57080	3531,015
817,5	10479,1	360,000	1123,957	0,00248	1,536	1,57077	3530,961
817,5	10479,1	950,000	1123,957	0,00651	1,480	1,57036	3530,026

Tabel 10. Hasil Perhitungan Penurunan ($S_{c_{ult}}$)

Lapisan	H	C _c	e	P _o	Δp	S _c
	cm			(gr/cm ²)	(gr/cm ²)	cm
						m
1	20,000	0,440	2,005	15,970	3531,015	6,872
2	680,000	0,440	2,005	190,209	3531,015	128,584
3	500,000	0,34	0,986	386,696	3531,015	86,078
					Sc total	221,533
						2,215

Tabel 11. Hasil Perhitungan Penurunan dengan *Preloading* dan PVD Pola Segiempat

s	s	s	T _v	U _v	1-U _v	T _h	U _h	1-U _h	U _v	S _c
(cm)	(cm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(cm)
0	0	0,000	0,0000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000
432000	5	0,014	0,0064	0,091	0,909	0,182	0,341	0,659	0,400	88,690
864000	10	0,027	0,0129	0,128	0,872	0,364	0,565	0,435	0,621	137,551
1296000	15	0,041	0,0193	0,157	0,843	0,546	0,713	0,287	0,758	167,984
1728000	20	0,055	0,0258	0,181	0,819	0,727	0,811	0,189	0,845	187,240
2160000	25	0,068	0,0322	0,203	0,797	0,909	0,875	0,125	0,901	199,511
2592000	27	0,074	0,0348	0,211	0,789	0,982	0,894	0,106	0,917	203,075
3024000	35	0,096	0,0451	0,240	0,760	1,273	0,946	0,054	0,959	212,403
3456000	40	0,110	0,0516	0,256	0,744	1,455	0,964	0,036	0,973	215,444
3888000	45	0,123	0,0580	0,272	0,728	1,637	0,976	0,024	0,983	217,731
4320000	50	0,137	0,0645	0,287	0,713	1,818	0,984	0,016	0,989	219,077
4752000	55	0,151	0,0709	0,300	0,700	2,000	0,990	0,010	0,993	219,945
5184000	60	0,164	0,0774	0,314	0,686	2,182	0,993	0,007	0,995	220,506
5616000	65	0,178	0,0838	0,327	0,673	2,364	0,996	0,004	0,997	220,869
6048000	70	0,192	0,0903	0,339	0,661	2,546	0,997	0,003	0,998	221,103
6480000	75	0,205	0,0967	0,351	0,649	2,728	0,998	0,002	0,999	221,255
6912000	80	0,219	0,1032	0,362	0,638	2,910	0,999	0,001	0,999	221,353
7344000	85	0,233	0,1096	0,373	0,627	3,091	0,999	0,001	0,999	221,416
7776000	90	0,247	0,1161	0,384	0,616	3,273	0,999	0,001	1,000	221,458
8208000	95	0,260	0,1225	0,395	0,605	3,455	1,000	0,000	1,000	221,484
8640000	100	0,274	0,1290	0,405	0,595	3,637	1,000	0,000	1,000	221,502
9072000	130	0,356	0,1677	0,461	0,539	4,728	1,000	0,000	1,000	221,531
9504000	135	0,370	0,1741	0,470	0,530	4,910	1,000	0,000	1,000	221,532
9936000	140	0,384	0,1806	0,478	0,522	5,092	1,000	0,000	1,000	221,532

Untuk analisa perhitungan konsolidasi primer dengan derajat konsolidasi 90 % pada metode ini didapat penurunan sebesar 1,995 m dalam waktu 25

hari.

Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer dengan Metode Preloading Kombinasi Vacuum Consolidation

Pada beban timbunan *preloading* sebagai pengganti beban kontainer dan perkerasan yaitu sebesar 70+20 kPa. Menurut PT. Wijaya Karya tinggi timbunan ± 6 m akan terjadi kegagalan pada stabilitas lereng dimana SF < 1.

$$H = \frac{W \text{ perkerasan} + W \text{ kontainer} + W \text{ load rasio}}{\gamma_{\text{timbunan}}}$$

$$H = \frac{200 + 700 + 223,957}{1,911}$$

$$H = 588,15 \text{ cm}$$

$$H \text{ Preloading} + H \text{ Leveling} = 588,15 + 115 = 703,25 \text{ cm.}$$

Dikarenakan tinggi timbunan tersebut melebihi tinggi kritis maka dilakukan penambahan tekanan hisap pompa vakum sebesar 80 kPa = 800 gr/cm² dengan tujuan untuk mengurangi tinggi kritis pada timbunan. Menurut Puspita (2017), tekanan hisap pompa sebesar 80 kPa = 800 gr/cm² dianggap sebagai beban timbunan yang digunakan untuk mengurangi tinggi timbunan kritis. Maka, untuk perhitungan Δp , Nilai q₀ adalah sebagai berikut:

$$q_0 = W \text{ total} - W \text{ vakum}$$

$$= 1123,957 - 800 = 323,927 \text{ gr/cm}^2$$

Tabel 12. Hasil Perhitungan Nilai Δp

a	b	z	q ₀	α_1	α_2	I	Δp
cm	cm	cm	(gr/cm ²)	rad	rad		(gr/cm ²)
817,5	10479,1	10,000	323,957	0,00007	1,570	1,57080	1017,741
817,5	10479,1	360,000	323,957	0,00248	1,536	1,57077	1017,725
817,5	10479,1	950,000	323,957	0,00651	1,480	1,57036	1017,456

Tabel 13. Hasil Perhitungan Penurunan ($S_{c_{ult}}$) dengan Adanya Beban *Preloading* dan Tekanan Vakum

Lapisan	H	C _c	e	P _o	Δp_{tot}	S _c
	cm			(gr/cm ²)	(gr/cm ²)	cm
						m
1	20,00	0,440	2,005	15,970	1017,741	5,304
2	680,00	0,440	2,005	190,209	1017,741	79,933
3	500,00	0,34	0,986	386,696	1017,741	47,944
					Sc total	133,180
						1,332

Tabel 14. Hasil Perhitungan Penurunan dengan *Preloading* Kombinasi *Vacuum Consolidation* dan PVD Pola Segiempat

t (hari)	U (%)	Sc (mm)	t (hari)	U (%)	Sc (mm)
0	0	0	60	69	0,827
5	19	0,229	65	73	0,873
10	30	0,361	70	75	0,898
15	36	0,427	75	77	0,918
20	39	0,466	80	80	0,938
25	41	0,491	85	82	0,958
30	49	0,586	90	83	1,001
35	52	0,618	95	87	1,045
40	55	0,657	100	89	1,067
45	58	0,701	130	99	1,189
50	62	0,748	135	100	1,200
55	67	0,805	140	101	1,213

Berdasarkan hasil analisa penurunan konsolidasi 90% besar penurunan konsolidasi primer dengan pola segiempat adalah 1,199 m selama 25 hari.

Perhitungan Derajat Konsolidasi Dari Hasil Monitoring

Perhitungan derajat konsolidasi dilakukan untuk mengetahui kondisi penurunan dengan derajat konsolidasi 90% yang terjadi dilapangan. Nilai S_t diambil pada metode PVD-PHD kombinasi *Vacuum Preloading* dengan derajat konsolidasi 90% yang terjadi pada hari ke 25 yaitu sebesar 1,199 m, contoh perhitungan diambil pada hari ke 5 yang dihitung dengan rumus berikut ini:

$$U = \frac{S_t}{S} \times 100\% \quad (11)$$

$$U = \frac{1,199}{0,229} \times 100\%$$

$$U = 19\%$$

Tabel 15. Hasil Perhitungan Derajat Konsolidasi dengan Settlement Plate Geo+2

t (hari)	U (%)	Sc (mm)	t (hari)	U (%)	Sc (mm)
0	0	0	60	69	0,827
5	19	0,229	65	73	0,873
10	30	0,361	70	75	0,898
15	36	0,427	75	77	0,918
20	39	0,466	80	80	0,938
25	41	0,491	85	82	0,958
30	49	0,586	90	83	1,001
35	52	0,618	95	87	1,045
40	55	0,657	100	89	1,067
45	58	0,701	130	99	1,189
50	62	0,748	135	100	1,200
55	67	0,805	140	101	1,213

Derajat konsolidasi dari hasil *monitoring* lapangan terjadi pada hari ke 100 dengan derajat konsolidasi 89% mendekati 90% dengan penurunan 1,067 m.

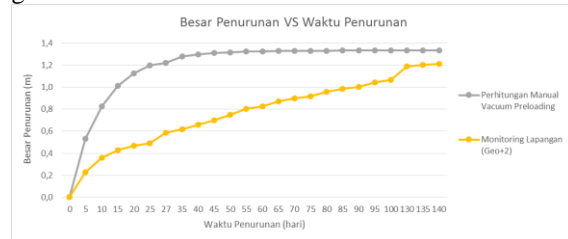
Rangkuman Hasil Perhitungan

Hasil penurunan dari berbagai metode yaitu metode PVD-PHD kombinasi *Vacuum Consolidation*, PVD-PHD kombinasi *Preloading* saja, dan PVD-PHD kombinasi *Vacuum Preloading* dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 16. Rangkuman Hasil Perhitungan

Waktu (hari)	Derajat Konsolidasi (%)	Besarnya Penurunan (m)			Pengamatan Lapangan	
		Vacuum	Preloading	Vacuum Preloading	Derajat Konsolidasi (%)	Monitoring Lapangan (Geo+2)
0	0	0,000	0,000	0,000	0	0,000
5	40	0,635	0,887	0,533	19	0,229
10	62	0,986	1,376	0,827	30	0,361
15	76	1,204	1,680	1,010	36	0,427
20	85	1,342	1,872	1,126	39	0,466
25	90	1,429	1,995	1,199	41	0,491
27	92	1,455	2,031	1,221	49	0,586
35	96	1,522	2,124	1,277	52	0,618
40	97	1,545	2,156	1,296	55	0,657
45	98	1,560	2,177	1,309	58	0,701
50	99	1,570	2,191	1,317	62	0,748
55	99	1,576	2,199	1,322	67	0,805
60	100	1,580	2,205	1,326	69	0,827
65	100	1,582	2,209	1,328	73	0,873
70	100	1,584	2,211	1,329	75	0,898
75	100	1,585	2,213	1,330	77	0,918
80	100	1,586	2,214	1,331	80	0,938
85	100	1,586	2,214	1,331	82	0,958
90	100	1,587	2,215	1,331	83	1,001
95	100	1,587	2,215	1,332	87	1,045
100	100	1,587	2,215	1,332	89	1,067
130	100	1,587	2,215	1,332	99	1,189
135	100	1,587	2,215	1,332	100	1,200
140	100	1,587	2,215	1,332	101	1,213

Berdasarkan hasil analisa penurunan dengan derajat konsolidasi 90% yang terjadi pada hari ke 25, besar penurunan konsolidasi primer dengan PVD pola segiempat pada metode *vacuum consolidation* ialah sebesar 1,429 m, untuk besar penurunan konsolidasi primer pada metode *preloading* ialah sebesar 1,995 m, dan untuk metode *vacuum preloading* mengalami penurunan konsolidasi primer sebesar 1,199 m. Sedangkan pengamatan penurunan dilapangan menggunakan *settlement plate* (Geo+2) didapat derajat konsolidasi sebesar 89% mendekati 90% yang terjadi pada hari ke 100 dengan besar penurunan yaitu 1,067 m. Perbandingannya dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



Grafik 1. Perbandingan Besar dan Waktu Penurunan

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa hasil perhitungan manual dengan metode *vacuum preloading* lebih besar atau mendekati pengamatan langsung dilapangan menggunakan *settlement plate*. Tetapi untuk kondisi derajat konsolidasi 90% pada metode *vacuum preloading* terjadi pada hari ke 25 yang mana didapat penurunan sebesar 1,199 m sedangkan pada *monitoring* lapangan menggunakan *settlement plate* (Geo+2) derajat konsolidasi 90% terjadi pada hari ke 100 dengan penurunan sebesar 1,067 m, yang mana apabila dibandingkan

berdasarkan derajat konsolidasi yang sama memiliki selisih yaitu sebesar 0,132 m.

4. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan penurunan konsolidasi primer yang dilakukan di Pelabuhan Kijing Kabupaten Mempawah pada Zona 1 STA 04+450, didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Besar penurunan konsolidasi primer pada tanah lunak dengan derajat konsolidasi 90% yang dilakukan dengan metode PVD-PHD kombinasi *Vacuum Consolidation* saja ialah sebesar 1,429 m dalam waktu 25 hari.
2. Besar penurunan konsolidasi primer pada tanah lunak dengan derajat konsolidasi 90% yang dilakukan dengan metode PVD-PHD kombinasi *Preloading* sebagai pengganti beban 70+20 kPa ialah sebesar 1,995 m dalam waktu 25 hari.
3. Untuk besar penurunan konsolidasi primer pada tanah lunak dengan derajat konsolidasi 90% yang dilakukan dengan metode PVD-PHD dengan *Vacuum Consolidation* kombinasi *Preloading* ialah sebesar 1,199 m dalam waktu 25 hari. Sedangkan hasil monitoring lapangan dengan menggunakan *settlement plate* (Geo+2) dengan derajat konsolidasi 90% terjadi pada hari ke 100 yang menghasilkan penurunan sebesar 1,067 m.
4. Besar penurunan yang terjadi pada tanah asli ialah sebesar 1,092 m sedangkan waktu penurunan yang didapat dari hasil analisa tanpa melakukan perbaikan tanah ialah selama 1,8 tahun dengan derajat konsolidasi 90%.

5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Dr.rer.nat. Ir. R. M. Rustamaji, M.T. dan Dr. Ing. Ir. Eka Priadi, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberi bimbingan serta masukan sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan lancar, dan kepada Ibu Vivi Bachtiar, S.T, M.T. serta Bapak Ir. Ahmad Faisal, DEA selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat bermanfaat. Ucapan terima kasih juga penulis ucapkan kepada seluruh dosen Prodi Teknik Sipil, serta kawan-kawan Prodi Teknik Sipil Angkatan 2015 yang telah membantu dan memperlancar penulis selama penelitian berlangsung.

6. Daftar Pustaka

Arsyad, Ardy.; Djamaluddin, Abd Rachman., dan T, Dian Utami. 2017. *Desain Prefabricated Vertical Drain (PVD) Pada Rencana Pembangunan Depo Kontainer Di Kawasan Berikat Nusantara (KBN) Cakung-Cilincing Jakarta Utara. Jurnal Teknik Sipil.*

Astro florentinus. 2018. *Prosedur Alat Uji dengan Cara Hand Bor.* 6 Juni 2019. <https://id.scribd.com/document/373704901/Prosedur-Alat-Uji-Tanah-Dengan-Cara-Hand-Bor>

Damayanti, Putri. 2017. *Metode Perbaikan Tanah Menggunakan Prefabricated Vertical Drain (PVD) dengan Vacuum (Vacuum Consolidation System–VCM).* Makalah, 23 Mei 2017. Universitas Borneo Tarakan.

Darwis. 2017. *Dasar-dasar Teknik Perbaikan Tanah.* Makassar: Pustaka AQ

Das, Braja.M.; Endah, Noor., dan Mochtar, indrasurya B. 1995. *Mekanika Tanah: Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis*, Jilid 1. Jakarta: Erlangga.

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. *Panduan Geoteknik 1: Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak.* Edisi Pertama. Juli, 2002.

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2004. *Perencanaan Konstruksi Timbunan Jalan Di Atas Gambut dengan Metode Prapembebanan.* Pedoman Konstruksi dan Bangunan.

Google Earth. Diakses pada Mei 2019. <https://earth.google.com/web/>

Google Maps. Diakses Mei 2019. www.google.com/maps/

Hamdhan, Indra Noer., dan Rivanga, Nadia Utami. 2018. *Analisis Vacuum Consolidation pada Perbaikan Tanah Lempung Lunak dengan Model Axisymmetric.* *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional.* Vol.4 No.1, Hal 70.

Hardiyatmo, H.C. 1992. *Mekanika Tanah 1.* Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Hardiyatmo, H.C. 2002. *Mekanika Tanah 2.* Edisi Ketiga. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H.C. 2008. *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya.* Edisi Pertama. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah 2,* Edisi Kelima. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Kumalasari, Putu Tantri. Sejarah Perkembangan dan Kegunaan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) sebagai Salah Satu Metode Perbaikan Tanah Dasar Lunak. <https://www.academia.edu/11980717/>
- Kuswanda, Wahyu P. 2016. Perbaikan Tanah Lempung Lunak Metoda *Preloading* Pada Pembangunan Infrastruktur Transportasi Di Pulau Kalimantan. *Prosiding Seminar nasional Geoteknik, tanggal 1 Oktober 2016*. Unlam Banjarmasin. <https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/infoteknik/article/view/3064/2618>
- Maspanji, D.A., (2016), Prediksi Penurunan Metode Asaoka Pada Tanah Lunak Yang Diperbaiki dengan *Prefabricated Vertical Drain* (Studi Kasus Timbunan Pada Jalan Tol Pejagan – Pemalang). Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah. Yogyakarta.
- Pasaribu, T.H., 2012. Analisa Penurunan Pada Tanah Lunak Akibat Timbunan (Studi Kasus Runway Bandara Medan Baru). *Jurnal Teknik Sipil USU*. Vol. 1 No. 2.
- PT. Wijaya Karya
- Puspita, N, dan Capri, A, 2017. Analisa Penurunan Tanah Lunak dengan Beberapa Metode Konsolidasi pada Proyek Jalan Tol Palindra. *Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*. Vol.6 No.1, Hal 20 dan Hal 22.
- Rioputra, M.Dian.; Wibisono, Gunawan., dan Sandhyavitri, Ari. 2009. Aplikasi Metode Vertical Drain untuk Stabilisasi Tanah dasar Landasan Pacu Lapangan Terbang. *Simposium XII FSTPT, Desember 2009*. Universitas Riau.
- Santoso, K., (2010), Analisis *Soil Improvement* Tanah Bekas Tambak Proyek Stadion Utama Surabaya Barat dengan System PVD dan PHD. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Mercu Buana, Jakarta.
- Satindra, S.K. 2018. *Analisa Penurunan Konsolidasi Metode Preloading Dengan Dan Tanpa Prefabricated Vertical Drain (PVD) Pada Proyek Jalan Tol Balikpapan-Samarinda Segmen Lima Sta 20+375*. Program Studi Rekayasa Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda.
- Seputar Ilmu Teknik Sipil dan Bangunan. 2017. 27 September 2017.
- <http://insinyursipil.blogspot.com/2015/01/mode-metode-perbaikan-tanah.html>
- SNI 8460. 2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Badan Standarisasi Nasional.
- Terzaghi Karl, dan Peck Ralph B. 1987. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*. Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga.
- Utomo Marsudi. 2018. *Analisa Pengaruh Waktu Pada Fenomena Elektrokinerik terhadap Daya Dukung Tiang Tunggal*. Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura Pontianak.
- Winner, D., (2017), Perbaikan Tanah Dasar Menggunakan *Pre-fabricated Vertical Drain* dengan Variasi Kedalaman dan Perkuatan Lereng Dengan Turap. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.