

ANALISA PENURUNAN TANAH GAMBUT BERLEMPUNG MENGUNAKAN METODE PRELOADING DENGAN PVD DAN MENGUNAKAN BAHAN LIMBAH POWER PLANT BIOMASSA

Samuel Ronal¹, Putera Agung Maha Agung²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta

Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat 16424

e-mail: samuelronal.sr@gmail.com¹, putera.agungmagung@sipil.pnj.ac.id²

ABSTRACT

Construction of a river dock or TUKS port located on land with loamy peat soil types. This wharf is made for loading and unloading operations of bio-mass material for power plants. By utilizing the available biomass waste as material to add pre-loading. This study aims to analyze the land subsidence that occurs at this pier. The method used for soil subsidence is the pre-loading method and combined with the use of PVD in order to shorten the settlement time. The results of this study found a decrease in consolidation of 1.4 meters with the fulfillment of the degree of consolidation for 637 days.

Keywords: Consolidation; Preloading; PVD

ABSTRAK

Pembangunan dermaga sungai atau pelabuhan TUKS yang berada di atas lahan dengan jenis tanah gambut berlempung. Dermaga ini dibuat untuk operasional bongkar muat material bio-massa untuk Pembangkit Tenaga Listrik. Dengan memanfaatkan limbah bio-massa yang tersedia sebagai bahan untuk menambah pra-pembebanan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa penurunan tanah yang terjadi pada dermaga ini. Metode yang digunakan agar terjadi penurunan tanah adalah dengan metode pra-pembebanan dan dikombinasikan dengan penggunaan PVD agar memperpendek waktu penurunan. Hasil dari penelitian ini ditemukan penurunan konsolidasi sebesar 1,4 meter dengan terpenuhinya derajat konsolidasi selama 637 hari.

Kata kunci: Konsolidasi; Pra-pembebanan; PVD

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dermaga sungai atau Terminal Untuk Kebutuhan Sendiri (TUKS) adalah suatu dermaga yang digunakan untuk operasional khusus bongkar muat material bio-massa untuk Pusat Pembangkit Tenaga Listrik. Material bio-massa inilah yang menjadi material yang akan digunakan sebagai timbunan dan akan dicampur dengan tanah pilihan. Pada pembuatan konstruksi TUKS ini, data yang digunakan adalah data Geoteknik, yaitu boring log dan tes konsolidasi. Namun, kenaikan kekuatan tanah dapat menghabiskan waktu yang

banyak. Guna mempersingkat waktu untuk pemadatan tanah disekitar TUKS, maka waktu konsolidasi tanah dipercepat dengan menggunakan metode pra-pembebanan (preloading) dan dikombinasikan dengan PVD. Hasil dari analisis ini dapat mengetahui seberapa besar penurunan konsolidasi dan juga derajat konsolidasi dari penggunaan metode pra-pembebanan dan dikombinasikan penggunaan PVD.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari dibuatnya penelitian ini untuk mengetahui proses perencanaan konstruksi sehingga memiliki wawasan dan pengetahuan yang luas, terlebih lagi untuk mengetahui besarnya penurunan

tanah akibat konsolidasi, serta menghitung waktu untuk mencapai derajat konsolidasi dengan metode *preloading* dan PVD.

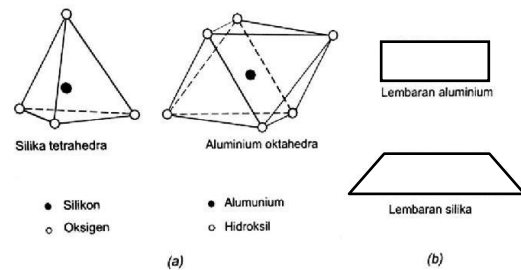
TINJAUAN PUSTAKA

Karakteristik Tanah Lempung

Tanah lempung adalah tanah yang memiliki ukuran mikroskopis hingga sub mikroskopis yang berasal dari pelapukan unsur kimiawi penyusun batuan, tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan memiliki sifat yang plastis pada kadar air sedang. Pada kadar air lebih tinggi lempung memiliki sifat yang lengket (kohesif) dan sangat lunak [1].

Mineral Lempung

Mineral lempung merupakan pelapukan unsur kimia yang menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm. Karena itu, tanah lempung mempunyai sifat yang dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Secara umum mineral lempung dapat diklasifikasikan menjadi kira-kira 15 macam[2]. Susunan pada umumnya, tanah lempung terdiri dari silika tetrahedra dan aluminium oktahedra (**Gambar 1a**). Silika dan aluminium secara parsial dapat digantikan oleh elemen yang lain dalam kesatuannya. Kombinasi dari susunan kesatuan dalam bentuk lempeng disajikan dalam simbol (**Gambar 1b**). Berbagai jenis lempung terbentuk oleh dari susunan lempeng dasar dengan bentuk yang berbeda-beda[3].



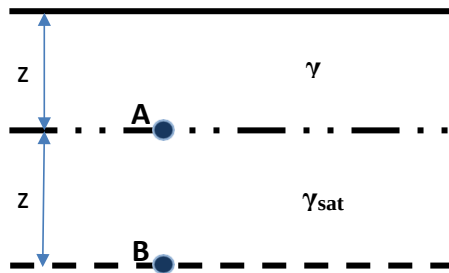
Gambar 1. Mineral-mineral lempung

Tegangan Pada Suatu Massa Tanah

Tanah yang mendukung suatu beban apapun bentuknya, pada umumnya terjadi kenaikan tegangan tanah. Kenaikan tegangan tanah ini tergantung pada beban per satuan luas dimana beban itu berada, kedalaman tanah di bawah beban dimana tegangan tersebut ditinjau, dan faktor lainnya[4]. Perhitungan besarnya kenaikan tegangan vertikal pada tanah akibat beban, diperlukan untuk memperkirakan besarnya penurunan yang terjadi pada tanah.[5]

Tegangan Akibat Berat Sendiri Tanah

Tanah yang berada didalam air, tanah tersebut memiliki gaya angkat keatas akibat tekanan hidrostatik. Berat tanah dan tegangan yang terjadi akibat terendam oleh air disebut berat tanah efektif dan tegangan efektif. Tegangan efektif mempengaruhi penurunan tanah atau perubahan volume dan juga kuat geser.[6]



Gambar 2. tegangan akibat berat sendiri tanah

A = lapisan tanah yang tidak berada didalam air

B = lapisan tanah yang berada didalam air

Tegangan akibat berat sendiri tanah dapat dihitung dengan rumus :

$$\sigma = \gamma \times z$$

Dimana :

σ = Tegangan Geostatik Vertikal (kN/m^2)

γ = Berat Jenis Tanah (kN/m^3)

z = Kedalaman (m)

Beban Terbagi Rata Trapezium

Beban terbagi rata berbentuk trapesium memiliki tegangan tanah dengan rumus [7]:

$$\Delta\sigma z = q I$$

Dimana:

$\Delta\sigma z$ = Penambahan Tegangan (kN/m^2)

q = Beban Timbunan (kN/m^2)

I = Faktor Pengaruh

Konsolidasi Primer

Penurunan konsolidasi primer biasanya terjadi pada lapisan tanah kohesif yang diberikan beban timbunan diatasnya.[8] Pada umumnya konsolidasi berlangsung pada satu arah, yaitu vertikal, karena lapisan yang ditambahkan beban ditahan oleh tanah disekelilingnya sehingga tidak terjadi pergerakan secara

horizontal[9]. Hal inilah yang disebut sebagai penurunan satu dimensi.

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya

penurunan konsolidasi primer adalah sebagai berikut.

Untuk lempung yang terkonsolidasi secara normal (*normally consolidated*), perhitungan dihitung dengan menggunakan Indeks

Pemampatan (C_c), serta dapat dihitung dengan persamaan

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + e_0} \log\left(\frac{p_0 + \Delta p}{p_0}\right) + \frac{C_c H}{1 + e_0} \log\left(\frac{p_0 + \Delta p}{p_0}\right)$$

Dimana :

S_c = Pemampatan akibat proses konsolidasi (m)

C_c = Indeks pemampatan

H = Tebal sub-lapisan tanah

e_0 = Angka pori lempung yang memampat (m)

p_0 = Tekanan efektif overburden untuk sub-lapisan (kN/m^2)

Δp = Penambahan tekanan vertikal untuk sub-lapisan (kN/m^2)

p_c = Tekanan prakonsolidasi (kN/m^2)

Koefisien Konsolidasi Vertikal (C_v)

Koefisien konsolidasi vertikal (C_v) merupakan penentuan kecepatan pengaliran air arah vertikal[10]. Pada umumnya konsolidasi berlangsung satu arah saja, yaitu arah vertikal. Koefisien konsolidasi ini memiliki pengaruh yang besar terhadap kecepatan konsolidasi yang akan terjadi[11]. Untuk lapisan tanah yang bersifat heterogen dan memiliki beberapa nilai C_v , diperlukan adanya perhitungan C_v rata-rata dengan menggunakan rumus :

$$C_v = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}}\right)^2}$$

Dimana :

C_v = Koefisien konsolidasi untuk aliran air pori arah vertikal

Waktu Penurunan Konsolidasi

Menurut Terzaghi dalam Das (1985), lama waktu konsolidasi (t) dapat dihitung dengan persamaan

$$t = \frac{T_v \cdot H_{dr}^2}{C_v}$$

Dimana :

t = Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan konsolidasi

T_v = Faktor waktu, tergantung dari derajat konsolidasi $U\%$

H_{dr} = Tebal lapisan tanah lempung yang mengalami konsolidasi (panjang aliran yang harus ditempuh air pori)

C_v = Koefisien konsolidasi untuk aliran air pori arah vertikal

Harga faktor waktu dan derajat konsolidasi rata-rata yang bersesuaian dengan keadaan yang diberikan dalam Tabel dapat dinyatakan dengan suatu hubungan sederhana[12] :

Untuk $U = 0\%$ sampai dengan 60%

$$T_v = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U_v\%}{100} \right)^2$$

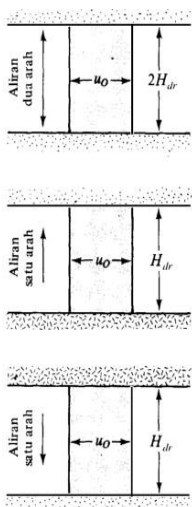
Untuk $U > 60\%$

$$T_v = 1,781 - 0,933 \log (100 - U_v\%)$$

Tabel 1. Variasi Faktor Waktu terhadap Derajat Konsolidasi

Derajat konsolidasi $U\%$	Faktor waktu T_v
0	0
10	0,008
20	0,031
30	0,071
40	0,126
50	0,197
60	0,287
70	0,403
80	0,567
90	0,848
100	∞

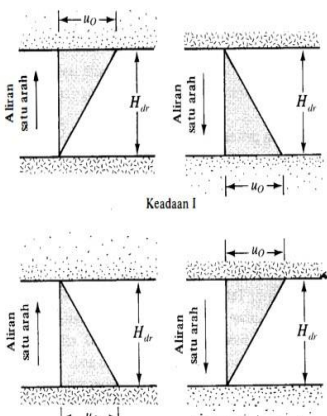
* U_v tetap untuk seluruh kedalaman lapisan.



Macam-macam tipe arah aliran air pori dengan U_v tetap

Tabel 2. Faktor Waktu Terhadap Derajat Konsolidasi

Derajat konsolidasi $U\%$	Faktor Waktu T_v	
	Keadaan I	Keadaan II
0	0	0
10	0,003	0,047
20	0,009	0,100
30	0,024	0,158
40	0,048	0,221
50	0,092	0,294
60	0,160	0,383
70	0,271	0,500
80	0,440	0,665
90	0,720	0,940
100	∞	∞



Macam-macam tipe keadaan aliran air pori dengan U_v yang berubah secara linear.

Preloading

Preloading adalah penambahan daya dukung suatu tanah lunak dan mengurangi kompresibilitasnya. *Preloading* membuat tanah pasir lepas menjadi padat, ataupun membuat tanah lempung dan lanau terkonsolidasi. Solusi sederhana untuk *preloading* adalah *preload* dengan menggunakan timbunan. Meskipun dapat dilakukan pada semua jenis tanah, *preloading* lebih efektif diterapkan pada tanah kohesif lunak.

Beban *preloading* berupa timbunan tanah yang diaplikasikan ke tanah asli harus lebih besar atau sama dengan 1,3 kali beban yang direncanakan pada kondisi layan bila efek gaya angkat (*bouyancy effect*) yang diterima beban timbunan pada saat proses *preloading* berlangsung tidak diperhitungkan. Sedangkan jika efek gaya angkat (*bouyancy effect*) yang diterima beban timbunan pada saat proses *preloading* diperhitungkan, maka beban total *preloading* berupa timbunan tanah yang diaplikasikan ke tanah asli harus lebih besar atau sama dengan 1,2 kali beban yang direncanakan pada kondisi layan (SNI 8460:2017).

Teori Preloading dengan PVD

$$t = \left(\frac{D^2}{8C_h} \right) F(n) \ln \left(\frac{1}{1 - U_h} \right)$$

Dimana :

t = Waktu untuk menyelesaikan konsolidasi primer

D = Diameter equivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh dari PVD

D : $1,13 \times S$ untuk pola susunan bujur sangkar

D : $1,05 \times S$ untuk pola susunan segitiga

C_h = Koefisien konsolidasi untuk aliran air arah horizontal

$\bar{U}_h$ = Derajat konsolidasi tanah (arah horizontal)

Fungsi $F(n)$ adalah merupakan fungsi hambatan akibat jarak antara titik pusat PVD[15].

$$F(n) = \ln \left(\frac{D}{d_w} \right) - \frac{3}{4}$$

Harga U_h didapat dengan menggunakan persamaan

$$U_h = 1 - \left(\frac{1}{e^{\left(\frac{t \times 8 \times C_h}{D^2 \times 2 \times F(n)} \right)}} \right)$$

Derajat konsolidasi $\bar{U}$ dapat dicari dengan menggunakan persamaan

$$\bar{U} = 1 - 1 - (\bar{U}_h)(1 - \bar{U}_v) \times 100\%$$

METODE PENELITIAN

1. Studi Literatur
Pencarian jurnal-jurnal ilmiah yang berkaitan dengan topik penelitian.
2. Pengumpulan Data Penelitian
Melakukan pengumpulan data yang diperlukan, berupa lokasi penelitian, data tanah sekunder hasil uji laboratorium.

3. Analisa Tanah Metode *Preloading* dan menggunakan PVD. Perhitungan tegangan efektif *overburden*, penambahan tegangan, serta penurunan konsolidasi.

4. Perhitungan waktu Konsolidasi dan Derajat Konsolidasi. Mulai dari perhitungan diameter *vertical drain*, pola segiempat PVD, koefisien aliran horizontal, waktu konsolidasi, dan derajat konsolidasi tanah arah horizontal.

HASIL dan PEMBAHASAN

TEGANGAN EFEKTIF OVERBURDEN (P'O)

Tegangan efektif *overburden* merupakan tegangan yang terjadi pada tanah dasar. Hitungan dilakukan pada tiap lapisan tanah dasar dan menghasilkan tegangan sebagai berikut.

Tabel 3. tegangan efektif overburden

Lap 1	a	6,11	kN/m ²
	b	13,42	kN/m ²
Lap 2	a	19,47	kN/m ²
	b	29,15	kN/m ²
Lap 3	a	43,63	kN/m ²
	b	62,90	kN/m ²
Lap 4	a	81,94	kN/m ²
	b	100,74	kN/m ²
	c	119,53	kN/m ²

Penambahan Tegangan (Δp)

Penambahan beban berasal dari beban beban yang ada, pada analisa yang didapat, menghasilkan beban $q_0 =$

244,296 kN/m². Hasil perhitungan penambahan tegangan seperti di **Tabel 4**. Dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 4. perhitungan Δp

no	m	n	i	Δp
1a	18,56	7,00	0,5	250 kN/m ²
1b	6,19	2,33	0,5	250 kN/m ²
2a	3,37	1,27	0,5	250 kN/m ²
2b	2,18	0,82	0,483	241,5 kN/m ²
3a	1,43	0,54	0,471	235,5 kN/m ²
3b	0,98	0,37	0,432	216 kN/m ²
4a	0,76	0,29	0,379	189,5 kN/m ²
4b	0,63	0,24	0,345	172,5 kN/m ²
4c	0,54	0,20	0,313	156,5 kN/m ²

Perhitungan Penurunan Konsolidasi (S_c)

Untuk mengetahui perhitungan penurunan konsolidasi harus diperhatikan dari sifat tanah. Pada penelitian ini ditemukan bahwa sifat tanah adalah *over consolidated*, sehingga untuk perhitungan digunakan rumus

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + e_0} \log\left(\frac{p_0 + \Delta p}{p_0}\right) + \frac{C_s H}{1 + e_0} \log\left(\frac{p_0 + \Delta p}{p_0}\right)$$

Hasil perhitungan penurunan konsolidasi tertera pada **Tabel 5**.

Tabel 5. penurunan konsolidasi (S_c)

S_c (meter)
0,371
0,360
0,226
0,222
0,018
0,013
0,068
0,062
0,060
total
1,4

Total penurunan konsolidasi akibat beban timbunan pada tiap lapisan yaitu 1,4 m

Perhitungan Waktu Konsolidasi dan Derajat Konsolidasi

Data PVD

a = 100 mm

b = 4 mm

$$dw1 = \frac{2(100 + 4)}{3,14} = 66,208 \text{ mm}$$

$$dw2 = \frac{(100 + 4)}{3,14} = 52 \text{ mm}$$

Sehingga didapatkan harga dw sebagai berikut

$$dw = \frac{(0,0662 + 0,052)}{2} = 0,059 \text{ m}$$

PVD Pola segiempat, dengan jarak (S)= 1,00 m

Perhitungan untuk mencari nilai diameter ekuivalen dari ingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh dari *vertical drain* (D_e) dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan ini.

$$D_e = 1,13 \times S$$

$$D_e = 1,13 \times 1,00$$

$$D_e = 1,13 \text{ m}$$

$$D_e = 1,13 \times S$$

$$n = \frac{D_w}{D_e} = \frac{1,13}{0,059} = 19,119$$

Perhitungan untuk mencari nilai faktor hambatan akibat jarak antara titik pusat PVD.

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1}\right) \left[\ln(n) - \frac{3}{4} - \left(\frac{1}{4n^2}\right)\right]$$

$$F(n) = \left(\frac{19,119^2}{19,119^2 - 1}\right) \left[\ln(19,119) - \frac{3}{4} - \left(\frac{1}{4(19,119)^2}\right)\right]$$

$$F(n) = 2,207$$

Tabel 6. Koefisien aliran Horizontal (Ch)

No. Lapisan	Kedalaman m	Tebal Lapisan (H) m	Cv cm ² /detik
1a	0,00 - 1,00	1,00	-
1b	1,00 - 2,00	1,00	0,00500
2a	2,00 - 3,50	1,50	0,00670
2b	3,50 - 5,00	1,50	0,00670
3a	5,00 - 8,00	3,00	0,00500
3b	8,00 - 11,00	3,00	0,00500
4a	11,00 - 13,50	2,50	0,00083
4b	13,50 - 16,00	2,50	0,00083
4c	16,00 - 18,50	2,50	0,00083

Cv = 0,002035 m/hari

Ch = 2 Cv

Ch = 0,00407 m/hari

Derajat konsolidasi tanah (Uh)

$$U_h = \left[1 - \left(\frac{1}{e^{\left(\frac{637 \times 8 \times 0,00407}{1,13^2 \times 2 \times 2,207} \right)}} \right) \right]$$

Uh = 90,001 x 100%

Uh = 90,001%

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, diperoleh kesimpulan yaitu :

Penurunan konsolidasi (Sc) metode *Preloading* dengan kombinasi PVD ditemukan sebesar 1,4 meter. Lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi yang disyaratkan

(90%) dengan metode *preloading* menggunakan *prefabricated Vertical Drain* (PVD) adalah 637 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Das, Braja M., Endah Noor & Indrasuryana B. Mochtar. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid I. Jakarta : Erlangga.
- [2] Hardiyatmo, H. C. 2003. *Mekanika Tanah II. Jilid III*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press
- [3] Hardiyatmo, H. C. 2002. *Mekanika Tanah I. Jilid III*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- [4] Badan Standarisasi Nasional., 1992, SNI 03-2812-1992 Metode Pengujian Konsolidasi Tanah Satu Dimensi : Badan Standarisasi Nasional, Bandung.
- [5] Mendrofa, Junieli. 2015 “Analisis Perbaikan Lapisan Soft Soil dengan Sistem Prefabricated Vertical Drain pada Jalan Tol Medan-Kualanamu dengan Metode Elemen Hingga”. Tesis Magister Universitas Sumatera Utara..
- [6] Aldrian, Bani. 2016. *Penelitian Penurunan (Settlement) Konsolidasi pada Tanah Lempung Desa Pare, Godean, Sleman, Yogyakarta dengan Metode Vertical Drains*. Universitas Negeri Yogyakarta.

- [7] Pasaribu Hotlan Togu. 2010."Analisa Penurunan Pada Tanah Lunak Akibat Timbunan (Studi Kasus RUNWAY Bandara Medan Baru)". Universitas Sumatera Utara.
- [8] Siregar, Juanda Andika.2017 "Analisis Perbaikan Tanah Lunak Akibat Pengaruh Penggunaan PVD dan Geotekstil dengan Menggunakan Metode Analitik dan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus Pryek Jalan Bebas Hambatan Medan-Kualanamu KM 35+622,42)". Skripsi Universitas Sumatera Utara.
- [9] Bowles, Joseph E., 1991, Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah). Erlangga : Jakarta.
- [10] Lumbangaol, Berman, Panjaitan, S.R.N. (2020), Analisa Preloading Dengan Prefabricated Vertical Drain (PVD) Terhadap Perbaikan Tanah Lunak Pada Pembangunan jalan Tol Tebing Tinggi – Indrapura.
- [11] Hardiyatmo, 1999, sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung" ASTM D-653.
- [12] Sathanthan dan Indratna, 2006, Penentuan smearzone menggunakan rasio permeabilitas dan kadar air.
- [13] Hardiyatmo, Hary Christady., 1992, Mekanika Tanah 1. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- [14] Kuswanda, Wahyu P., Penerapan Sistem Kontrak Berbasis Kinerja pada Pekerjaan Perbaikan Tanah Lunak, Proceedings Konferensi Regional Teknik Jalan Ke-10 (KRTJ-10), HPJI, Surabaya, 2008.
- [15] Terzaghi, Peck, Lambe, Whitman, 1948, Soil Mechanics International Edition 1969