

PERBANDINGAN METODE *PRELOADING* DENGAN VAKUM KONSOLIDASI TANAH PADA PEMODELAN DI LABORATORIUM

Ahmad Yasin Al Harits¹, Istiatun²

^{1,2}Politeknik Negeri Jakarta, Teknik Sipil, Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat, 16424.

ayasinharits@gmail.com, istiatun@sipil.pnj.ac.id

ABSTRACT

This study aims to determine the parameter comparison of the magnitude of the primary reduction and consolidation time in the preloading method using PVD and vacuum method using PVD with modeling in the laboratory. The benefit of this research is that it can provide a comparison of the preloading method and the vacuum method in terms of accelerating the consolidation time as well as contributing to science in the field of soil improvement. Primary consolidation theory is used in this research. Quantitative descriptive research method with testing data collection techniques by means of modeling in the laboratory. The modeling of the vacuum method used a test tub measuring (1.2 × 0.6 × 0.9) m, the vacuum pump suction capacity of 5 Pa, the air hose as PHD and geomembrane cloth as PVD material. The preloading method with PVD uses a test tub measuring (0.8 × 0.6 × 0.9) m, preloading load in the form of banka sand ($\gamma = 1.532 \text{ t/m}^3$) with a thickness of 10 cm and a geomembrane cloth as PVD material. In each test basin filled with soil and water with a soil volume weight of 1.3 t/m^3 , a ground surface height of 0.5 m and a groundwater level of 0.42 m. The results showed that with the same amount of reduction, namely 7.26 mm preloading method using PVD took 81 hours while in the vacuum method the time needed was 41 hours. Thus it can be concluded that the reduction in the vacuum method is faster than the preloading method with PVD.

Keywords: Primer settlement, PVD, Vacuum, consolidation time

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan parameter besarnya penurunan primer dan waktu konsolidasi pada metode preloading menggunakan PVD dan metode vakum menggunakan PVD dengan pemodelan di laboratorium. Manfaat pada penelitian ini dapat memberikan perbandingan metode preloading dan metode vakum dalam hal percepatan waktu konsolidasi serta memberikan sumbangan kepada ilmu pengetahuan di bidang perbaikan tanah. Teori konsolidasi primer digunakan dalam penelitian ini. Metode penelitian deskriptif kuantitatif dengan teknik pengumpulan data pengujian dengan cara pemodelan di laboratorium. Pemodelan metode vakum menggunakan bak uji berukuran (1,2 × 0,6 × 0,9)m, daya hisap pompa vakum sebesar 5 Pa, selang udara sebagai PHD serta kain geomembran sebagai bahan PVD. Metode preloading dengan PVD menggunakan bak uji berukuran (0,8 × 0,6 × 0,9) m, beban preloading berupa pasir banka ($\gamma = 1,532 \text{ t/m}^3$) setebal 10 cm serta kain geomembran sebagai bahan PVD. Pada setiap bak uji diisikan tanah dan air dengan berat volume tanah $1,3 \text{ t/m}^3$, tinggi permukaan tanah 0,5 m dan tinggi muka air tanah 0,42 m. Hasil penelitian menunjukkan dengan besar penurunan yang sama yaitu 7,26 mm metode preloading menggunakan PVD memerlukan waktu selama 81 jam sedangkan pada metode vakum waktu yang diperlukan adalah selama 41 jam. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penurunan pada metode vakum lebih cepat dibanding pada metode preloading dengan PVD.

Kata kunci: Penurunan Primer, Preloading menggunakan PVD, Vakum, Waktu konsolidasi

PENDAHULUAN

Tanah lunak umumnya mempunyai kadar air yang besar dan

ada yang memiliki kembang-susut tinggi. Hal ini menyebabkan tanah akan memiliki daya dukung rendah dalam keadaan basah walau sudah dipadatkan, sehingga mengakibatkan

penurunan. Bahkan penurunan tanah yang besar masih bisa terjadi setelah masa konstruksi, sehingga pada base course jalan dan perkerasan menjadi retak atau bahkan patah.

Untuk mengatasinya, perlu dilakukan perbaikan tanah. Metode perbaikan tanah yang saat ini banyak dipakai adalah metode *preloading* menggunakan *vertical drains* dan metode *vacum consolidation*. Pada metode *preloading* perlu diperhatikan tinggi timbunan kritis [1] akan tetapi metode konsolidasi secara vakum masih perlu dibandingkan ke-efektifannya mengenai penurunan yang dicapai beserta waktu konsolidasinya dengan metode yang *Preloading* menggunakan *vertical drains* [2].

Penelitian ini akan membandingkan ke-efektifan hasil penurunan tanah dan waktu konsolidasi antara metode *preloading* dengan *vertical drain* dan metode konsolidasi secara vakum. Penelitian ini diharapkan mampu menunjukkan perbandingan hasil penurunan yang dicapai beserta waktu konsolidasi yang dibutuhkan metode tersebut sehingga pelaksana proyek dapat memilih metode perbaikan tanah yang paling sesuai.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui lama waktu konsolidasi dengan *preloading* menggunakan *vertical drain* untuk penurunan yang dicapai, lama waktu konsolidasi secara vakum dengan pemasangan *vertical drain* untuk penurunan yang dicapai dan perbandingan waktu konsolidasi antara metode *preloading* menggunakan PVD dengan metode vakum pada pemodelan di laboratorium

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah dapat membandingkan waktu konsolidasi metode *preloading* menggunakan PVD dengan metode vakum pada

pemodelan di laboratorium, dapat memberikan sumbangan kepada ilmu pengetahuan tentang metode perbaikan tanah dan sebagai bahan untuk penelitian lanjutan dalam bidang teknik rekayasa tanah.

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana klasifikasi tanah asli Hambalang, berapa lama waktu konsolidasi dengan *preloading* menggunakan *vertical drain* untuk penurunan yang dicapai, lama waktu konsolidasi secara vakum dengan pemasangan *vertical drain* untuk penurunan yang dicapai dan perbandingan waktu konsolidasi antara metode *preloading* menggunakan PVD dengan metode vakum pada pemodelan di laboratorium.

Sampel tanah pada penelitian ini didapat dari desa Hambalang, Berdasarkan informasi yang didapat diidentifikasi tanah Desa Hambalang merupakan tanah lunak [3].

Klasifikasi Tanah

Untuk mengetahui klasifikasi tanah dalam penelitian ini digunakan system klasifikasi ASTM, USCS dan AASHTO.

Konsolidasi

Konsolidasi adalah suatu proses pengecilan volume pada tanah jenuh yang mempunyai permeabilitas rendah secara perlahan-lahan akibat keluarnya air pori sehingga menyebabkan penurunan permukaan tanah [4]. Penurunan tersebut terjadi disebabkan oleh bertambahnya tegangan dalam tanah akibat pemberian beban di atasnya. Sesaat setelah penambahan tegangan pada tanah, air dalam pori tanah mulai tertekan dan akan mengalir keluar.

Konsolidasi dapat terjadi pada tanah lanau atau lempung dengan kompresibilitas tinggi dan dengan permeabilitas tanah rendah. [5,6,7].

Kecepatan penurunan konsolidasi

Kecepatan penurunan konsolidasi bergantung pada nilai derajat konsolidasi (U), Koefisien konsolidasi (C_v dan C_h), serta faktor waktu (T_v dan T_h). Karena besar penurunan yang terjadi tergantung pada besar derajat konsolidasi yang dicapai pada waktu tertentu dan setiap tanah memiliki koefisien konsolidasi yang berbeda-beda.

Prefabricated vertical drains

Biasanya metode konsolidasi tidak berdiri sendiri, melainkan dikombinasi dengan metode lain kombinasi dengan metode drainase (penyaluran air tanah ke permukaan tanah). Untuk lapisan tanah yang jenuh air, penempatan drainase berupa saluran buatan (*prefabricated vertical drains - PVDs*), ditempatkan sebelum pemberian beban *pre-loading* agar mempercepat pengaliran air tanah ke permukaan (drainase air tanah), dan mengurangi waktu konsolidasi.

Jenis tanah yang paling sesuai untuk metode ini antara lain pada tanah lunak, dan tanah yang berbutir halus, oleh karena pada tanah lunak umumnya mudah ditembus dengan PVD, sedangkan pada lapisan tanah yang kaku diperlukan pengeboran awal (*pre-drilling*). Penyaluran vertikal (*vertical drain*) biasanya digunakan untuk memperbaiki tanah yang bergradasi halus dan jenuh. Teknik ini meliputi cara *vertical drain* dari bahan pabrikan, dengan grid tertentu ke dalam lapisan tanah. Pada saat tanah menerima pembebanan, maka vertikal drain akan berfungsi membantu proses evakuasi air pori ke permukaan, sehingga memungkinkan proses konsolidasi tanah berjalan dengan cepat. Biaya utama yang diperlukan pada penerapan metode ini adalah biaya untuk pemberian *pre-loading* di atas permukaan tanah [5]

Pada umumnya pada konsolidasi menggunakan beban *preloading* hanya terjadi konsolidasi satu arah saja (arah vertikal) tetapi akibat penggunaan *vertical drains* sebagai

saluran pengalir air pori menyebabkan terjadinya konsolidasi arah horizontal juga.

Vacuum consolidation

Vacuum consolidation atau konsolidasi dengan vakum merupakan metode perbaikan tanah yang mempercepat proses konsolidasi dengan menggunakan tenaga pompa vakum. Metode ini merupakan gabungan dari metode dewatering dan metode konsolidasi. Secara teknis, setelah pemasangan pipa PVD (*pre-fabricated vertical Drainage*) material pengisi dan pasir ditimbun sebagai lapisan drainase sistem vakum, lalu permukaan dilapisi geomembrane & geotekstil guna menciptakan kondisi vakum, dan air disedot keluar menggunakan pompa vakum sehingga tanah mengalami konsolidasi dengan cepat dan merata.

Keunggulan metode ini antara lain :

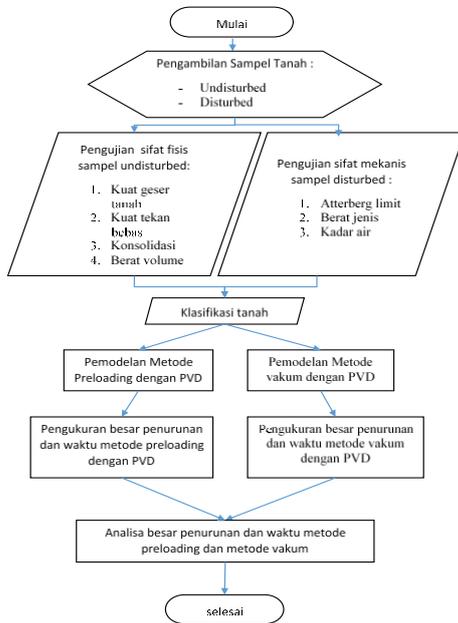
1. Proses konsolidasi lebih cepat dibanding dengan *pre-loading* konvensional
2. Mengurangi penurunan tanah yang terjadi pasca konstruksi
3. Biaya lebih murah jika dibanding dengan pengurangan tanah
4. Ramah lingkungan

Pada dasarnya teori konsolidasi dengan vakum serupa dengan teori konsolidasi pada PVD karena juga menggunakan PVD sebagai drainase air pori, hanya saja pada metode vakum pemberian beban untuk tegangan tambahan yang menghasilkan penurunan dapat digantikan atau dikurangi dengan adanya tekanan vakum yang berasal dari daya hisap vakum. Dengan tekanan vakum yang bernilai negatif mengakibatkan berkurangnya kelebihan tekanan air pori selama pemberian tekanan vakum, hal ini menyebabkan bertambahnya tegangan efektif butir tanah seiring bertambahnya waktu.

Pada perhitungan konsolidasi vakum terdapat faktor pengaruh *smear factor* karena penggunaan PVD sebagai

drainase dan pengaruh kelebihan air pori [1,8,9,10].

METODE PENELITIAN



Sumber : Olahan Pribadi

Gambar 1 Diagram alir penelitian

Analisis pada penelitian ini berdasarkan data hasil pengujian laboratorium terhadap karakteristik tanah pada lokasi yang ditinjau. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada lokasi Desa Hambalang pada kedalaman 0,5 – 1m.

Pemodelan di laboratorium menggunakan bak uji ukuran $(0,8 \times 0,6 \times 0,5)m$ dan ukuran $(1,2 \times 0,6 \times 0,5)m$. Diusahakan menyerupai kondisi lapangan dengan berat volume tanah (γ) $1,3 t/m^3$ dan tinggi muka air tanah 0,42 m. pemodelan tanah dilakukan dengan cara memasukkan tanah berlapis (10 cm) secara bertahap hingga ketinggian 50 cm dengan memastikan kondisi setiap lapisan sesuai dengan yang diinginkan. Dilakukan dengan cara memasukkan tanah 90 kg/lapisan dan memasukkan air hingga ketinggian air pada selang piezometer menunjukkan ketinggian 42 cm. Untuk setiap lapisan dilakukan pemadatan seperti pada

proctor dan penjujukan secara bertahap [14].

Analisa dilakukan untuk mengetahui besar penurunan dan waktu konsolidasi berdasarkan hasil pengujian laboratorium. Analisa penurunan juga dilakukan pada metode *Preloading* dengan vertical drains dan vakum dengan vertical drains untuk selanjutnya dibandingkan waktu konsolidasi penurunan yang sama.

HASIL dan PEMBAHASAN

Klasifikasi Tanah Asli Hambalang

karakteristik tanah asli hambalang dapat dilihat pada tabel 1 berikut :

Tabel 1. karakteristik tanah asli hambalang

Parameter	Nilai
Kadar Air (ω)	31,61%
Berat Jenis (Gs)	2,69
Berat Volume (γ)	$1,321 t/m^3$
Koef. Permeabilitas (k)	$2,93 \times 10^{-8}$ cm/detik
Kuat Geser langsung (Cu)	$0,285 kg/cm^2$
Persentase lolos ayakan no. 200	96,58%

Sumber : Olahan Pribadi

Berdasarkan penelitian sebelumnya, dengan nilai karakteristik tanah seperti pada tabel 1 diatas tanah dapat diidentifikasi sebagai tanah lunak [6,7].

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan dan atterberg limits, tanah lunak dapat dikelompokkan lagi dengan menggunakan sistem klasifikasi USCS dan AASHTO.

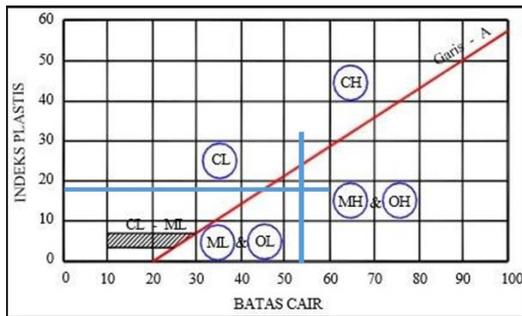
USCS

Klasifikasi tanah dengan sistem USCS sebagai berikut :

- Lolos saringan no. 200 = 96,58 %.
- Klasifikasi tanah adalah berbutir halus

- Batas cair (LL) = 54,7 % dan indeks plastisitas (PI) = 18,19 %. Klasifikasi tanah adalah lempung atau lanau.

Dengan grafik hubungan batas cair dan indeks plastisitas [12] untuk menentukan kelompok tanah pada gambar (2) dapat diklasifikasikan tanah yang diteliti termasuk kedalam kelompok MH (lanau berplastisitas tinggi).



Sumber : Craig R. F. (1991)

Gambar 2 hubungan batas cair dan indeks plastisitas

AASHTO

Klasifikasi tanah dengan metode AASHTO sebagai berikut :

- Lolos saringan no. 200 = 96,58 %. Klasifikasi tanah adalah berbutir halus
- Batas cair (LL) = 54,7 % dan indeks plastisitas (PI) = 18,19 %. Klasifikasi tanah adalah A-7.
- Karena batas plastis (PL) = 36,51 %. Klasifikasi tanah adalah A-7-5.
- Menurut tabel (2) perbandingan system USCS dengan AASHTO, A-7-5 dikelompokkan sebagai tanah MH.

Tabel 2 perbandingan sistem USCS dan AASHTO

Kelompok tanah dalam Sistem Unified	Kelompok tanah menurut sistem AASTHO		
	Paling mungkin	Mungkin	Mungkin tapi jarang
SM	A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-7	A-2-6, A-4,A-5	A-6, A-7-5, A-7-6, A-1-a
SC	A-2-6, A-2-7	A-2-4, A-6,A-4,A-7-6	A-7-5

ML	A-4,A-4	A-6, A-7-5	-
CL	A-5,A-7-6	A-4	-
OL	A-4,A-5	A-6, A-7-5, A-7-6	-
MH	A-7-5, A-5	-	A-7-6
CH	A-7-6	A-7-5	-
OH	A-7-5, A-5	-	A-7-6
PT	-	-	-

Sumber : Braja M, Das, Jilid 1. (1988)

Penurunan Total (Sc)

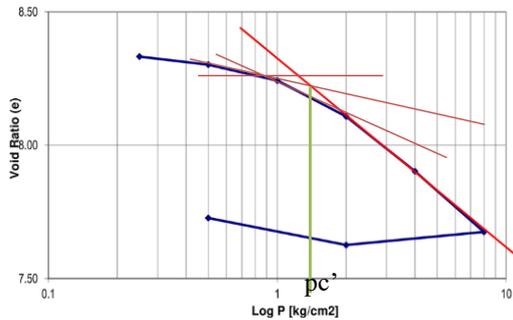
Tanah yang digunakan dalam pemodelan memiliki sifat mekanis sebagai berikut :

Table 3 Nilai sifat mekanis tanah asli hambalang

Parameter	Nilai
Indeks pemampatan (Cc)	0,7204
Kecepatan konsolidasi (Cv)	0,0396 cm ² /detik
Kuat geser langsung (cu)	0,285 Kg/cm ²

Sumber : Olahan Pribadi

Berdasarkan hasil uji konsolidasi tanah di laboratorium, didapat grafik hubungan angkapori vs log P. untuk mengetahui keadaan tanah terkonsolidasi secara normal atau over, maka harus dicari besar tekanan prakonsolidasi tanah (Pc') dengan cara grafis yang disarankan Casagrande (1936). Sehingga didapat besar tekanan prakonsolidasi (Pc') = 0,16 t/m² sementara beban *preloading* yang digunakan sebesar 0,15 t/m² (pada metode *preloading*) dan 0,0005 t/m² (pada metode vakum). sehingga disimpulkan keadaan tanah pada pemodelan terkonsolidasi secara over.



Sumber : (Olahan Pribadii)

Gambar 2 Grafik Angkapan vs Log P

Karena tanah pada pemodelan terkonsolidasi secara over, sehingga digunakan rumus penurunan total sebagai berikut;

$$Sc = \frac{Cs \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \right) \quad (1)$$

Dimana :

Sc = Penurunan Total (m)

Cs = indeks pemuai. $\left(\frac{1}{10} \sim \frac{1}{5} Cc \right)$ [2]

H = tinggi total tanah

e0 = angka pori awal

$$e_0 = \frac{H \cdot \text{pori}}{H \cdot \text{padat}} \quad (2)$$

$$e_0 = \frac{(H \cdot \text{awal} - H \cdot \text{padat})}{H \cdot \text{padat}} \quad (3)$$

Tinggi awal tanah dalam bak (H awal) adalah 0,5 m. tinggi tanah padat saja dapat dicari dengan rumus,

$$Hs = \frac{Ws}{(A \times Gs \times \gamma_w)} \quad (4)$$

$$Ws = \frac{W_{total}}{(\omega + 1)} \quad (5)$$

Dengan berat tanah total sebesar 0,19 ton, kadar air tanah pada bak uji sebesar 60,21%, luas bak 0,48 m², berat jenis 2,69, dan berat volume airr 1gr/cm³ didapat tinggi tanah padat sebesar 0,15 m. Sehingga angka pori awal pada bak uji sebesar $(0,5 - 0,15) / 0,15 = 2,26$

P0 = tegangan *overburden* efektif awal (t/m²)

Tegangan *overburden* efektif awal dapat dicari dengan rumus,

$$P_0 = \gamma_{tanah} \times H \quad (6)$$

Sehingga didapat tegangan *overburden* efektif awal sebesar 0,330 t/m²

ΔP = beban preloading di permukaan tanah (t/m²)

Karena pada metode preloading digunakan pasir sebagai beban

tambahan, maka besar beban *preloading* dapat dicari dengan rumus,

$$\Delta P = \gamma_{pasir} \times H_{pasir} \quad (7)$$

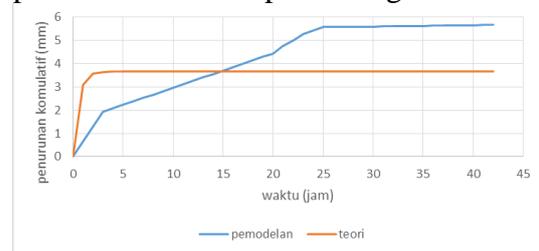
Sedangkan pada metode vakum tidak menggunakan beban tambahan selain dari daya hisap pompa vakum. Dengan berat volume pasir sebesar 1,532 t/m³; tebal lapisan pasir 0,1m; dan daya hisap pompa vakum 5 Pa didapat besar beban *preloading* pada metode *preloading* dengan pvd sebesar 0,15 t/m² dan pada metode vakum sebesar 5 Pa = 0,0005 t/m².

Dengan menggunakan persamaan (1) didapat besar penurunan total secara teori pada metode *preloading* menggunakan vertical drains sebesar 0,36 cm. Sementara penurunan total pada metode vakum secara teori sebesar 0.014 mm.

Waktu konsolidasi

Pemodelan Metode *Preloading*

Berikut kurva penurunan vs waktu pada pemodelan metode preloading dan teori



Sumber : (Olahan Pribadii)

Gambar 3 Kurva penurunan vs waktu pemodelan metode preloading

Didapat penurunan yang terjadi pada pemodelan di bak uji lebih besar dibanding penurunan berdasarkan teori, hal ini karena nilai indeks pengembangan (Cs) pada pemodelan di laboratorium sebesar 0,497 berbeda dengan Indeks pengembangan data teori (Cs) sebesar 0,144.

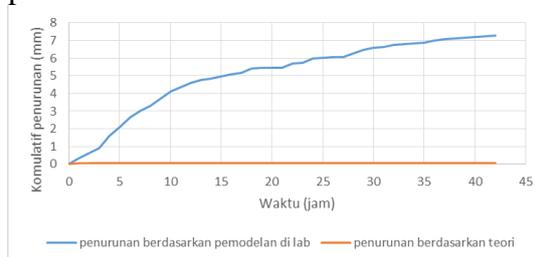
Kecepatan penurunan pada pemodelan di bak uji lebih lambat dibanding kecepatan penurunan berdasarkan teori, hal ini karena nilai kecepatan penurunan (Ch) pada pemodelan di laboratorium hanya sebesar 0,0006 cm²/detik berbeda dengan nilai kecepatan penurunan data

teori (Ch) sebesar $0,0555 \text{ cm}^2/\text{detik}$. Terjadi penurunan segera baik pada pemodelan di lab maupun pada pemodelan berdasarkan teori.

Berdasarkan teori penurunan konsolidasi primer maksimum terjadi pada jam ke-5. Setelahnya tidak terjadi lagi penambahan penurunan konsolidasi primer. Sedangkan pada pemodelan di lab masih terjadi penambahan penurunan karena belum dicapai penurunan primer maksimum.

Pemodelan Metode Vakum

Berikut kurva penurunan vs waktu pada pemodelan metode vakum dan teori



Sumber : (Olahan Pribadi)

Gambar 4 Kurva penurunan vs waktu pemodelan metode vakum

Didapat penurunan yang terjadi pada pemodelan metode vakum di bak uji lebih besar dibanding penurunan teori karena nilai kompresibilitas yang digunakan pada teori tidak sama pada pemodelan di lab. Pada pemodelan indeks pengembangan adalah sebesar 75 sementara pada data yang digunakan perhitungan teori adalah sebesar 0,144.

Terjadi penurunan segera baik pada pemodelan di lab maupun pada pemodelan berdasarkan teori.

Berdasarkan teori penurunan konsolidasi primer maksimum terjadi pada jam ke-4 sebesar $0,0739 \text{ mm}$. Setelahnya tidak terjadi lagi penambahan penurunan konsolidasi primer. Sedangkan pada pemodelan di lab masih terjadi penambahan penurunan karena belum dicapai penurunan primer maksimum. Besarnya penurunan maksimum pada pemodelan di lab dapat diperkirakan dari hubungan komulatif penurunan vs akar waktu dengan menggunakan aplikasi

SPSS didapat persamaan sebagai berikut:

$$y = -0,248x^2 + 31,72x - 243,017 \quad (8)$$

Dimana :

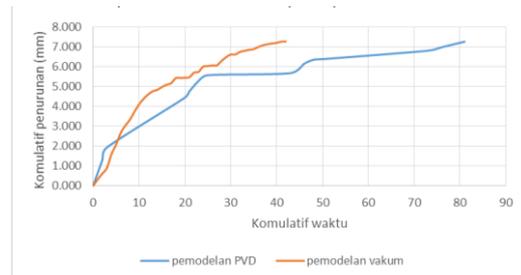
Y = total penurunan (mm)

X = akar waktu pengujian (menit)

Dapat diperkirakan total penurunan maksimum S_c pada pemodelan vakum di lab adalah: y maksimum didapat saat $x = \frac{-B}{2A}$. B adalah koefisien dari X dan A adalah koefisien X^2 dan didapat $x_{maks} = 63,9$ menit. dengan memasukkan nilai $x = 63,9$ pada persamaan diatas didapat $y_{maks} = 7,712 \text{ mm}$. sehingga didapat total penurunan yang mungkin terjadi adalah sebesar $0,7712 \text{ cm}$

Perbandingan hasil pengamatan penurunan pada metode preloading dengan metode vakum

Berikut grafik komulatif penurunan dalam satuan mm dan waktu dalam jam pada pemodelan di laboratorium :



Sumber : (Olahan Pribadi)

Gambar 5 Grafik penurunan pada pemodelan metode preloading dan vakum

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa pada umumnya pemodelan menggunakan metode vakum lebih besar penurunannya dibanding metode preloading, hanya saja pada saat 5 jam pertama diduga tekanan vakum belum stabil sehingga lebih kecil penurunannya dibanding metode *preloading*.

Berdasarkan pengamatan di laboratorium dengan total penurunan yang sama, pada pemodelan PVD dan pemodelan Vakum masing-masing membutuhkan waktu yang berbeda. waktu yang dibutuhkan untuk mencapai

penurunan 7,26 mm pada pemodelan menggunakan metode PVD adalah selama 81 jam. Sementara waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penurunan 7,26 mm pada pemodelan menggunakan metode Vakum adalah selama 41 jam.

KESIMPULAN

Hasil pengujian sifat fisis dan mekanis tanah hambalang berdasarkan system klasifikasi ASTM, AASHTO dan USCS menunjukkan bahwa tanah termasuk tanah lunak dengan kelompok A-7-5 dengan GI 24 serta diidentifikasi sebagai MH tanah lanau berplastisitas tinggi. Kecepatan penurunan pada pemodelan metode vakum lebih cepat dibanding pemodelan metode *preloading* dengan PVD. Terbukti pada total penurunan 7,26 mm metode vakum hanya membutuhkan waktu selama 41 jam, sementara metode *preloading* dengan *vertical drains* membutuhkan waktu selama 81 jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih saya sampaikan kepada BTAM selaku penyandang dana penelitian.

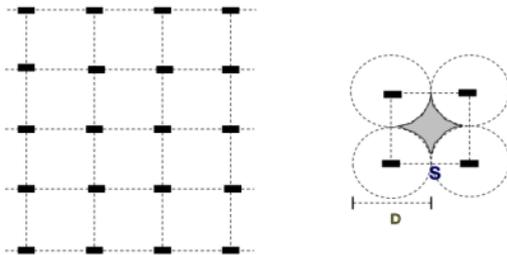
DAFTAR PUSTAKA

- [1] BR. Barimbing, f. r., dan Iskandar, “Analisis Penurunan Dan Waktu Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan Metode Preloading dan Pre-fabricated Drain (Studi Kasus Proyek Pembangunan Jalan Bebas Hambatan Medan-Kualanamu STA. 35+950)”, Jurnal teknik Sipil USU, hal 2, (2018)
- [2] Hardiyatmo, “Metode Vacuum Preloading Sebagai Salah Satu Alternatif Solusi Pembangunan Timbunan Di Atas Tanah Lunak”, Vol 1, No 1 (2017)
- [3] (Mok,Gst), “Ini Hasil Analisa Hidrologi dan Geologi Proyek Hambalang”, detiknews, 26 juli 2012. [online]. Tersedia : <https://news.detik.com/berita/d-1974991/ini-hasil-analisa-hidrologi-dan-geologi-proyek-hambalang> [Diakses:27 agustus 2020]
- [4] H.C.Hardiyatmo, “konsolidasi”, *Mekanika Tanah II*. Jogja : Gajah Mada University Press, 2002, 47.
- [5] H. Darwis, *Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah. Cetakan 1, Yogyakarta : Pustaka AQ, 2017, 172-179*
- [6] Mochtar, dan Indrasurya, *Konsistensi Tanah – Revised Version 2012*.
- [7] Das, Braja M., (1988). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Terjemahan oleh Noor Endah & Indrasurya B. Mochtar. Jilid I. Jakarta: Erlangga (1995)
- [8] Stevy Thioritz, “Perbandingan metode pembebanan vakum dan prapembebanan untuk mempercepat proses konsolidasi”, *Media TEK*, 1-10, vol 6, No. 2, November 2012.
- [9] Puspita dkk, “Analisa penurunan tanah lunak dengan beberapa metode konsolidasi pada proyek jalan tol palindra”, *Jurnal penelitian dan kajian bidang teknik sipil*, 19-20, 2017.
- [10] Indraratna dkk, “Vacuum preloading Techniques - recent development and Application, *GeoCongress*”, *Geosustainability and Geohazard Mitigation GPS*, 586-595, 2008.
- [11] Djarwanti dkk, “Komparasi Koefisien Permeabilitas (k) Pada Tanah Kohesif”, hal.22, januari, 2008.
- [12] Craig, R. F., (1991). *Mekanika Tanah*. Jakarta: PT. Erlangga. 1994.

[13] Hird, dan Moseley, "Model Study of Seepage In Smear Zones, Around Vertical Drains in Layered Soil", Geotechnique, 88-97, 2000.

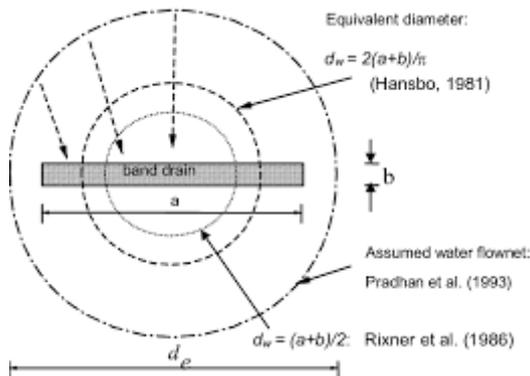
[14] S. Respati, dan H. Sudraja, "Modul dan Lembar kerja

Praktikum Uji Tanah", Depok : Politeknik Negeri Jakarta, 2017.



Sumber : Hird dan Moseley, 2000

Gambar 1. pola susunan PVD bujur sangkar



Sumber : Hird dan Moseley, 2000

Gambar 2. diameter ekuivalen PVD dan diameter ekuivalen zone pengaruh PVD

Table 1. Klasifikasi kompresibilitas tanah (Coduto, 1994)

Kompresibilitas	Klasifikasi
0,00 – 0,05	Very slightly compressible
0,05 – 0,10	Slightly compressible
0,10 – 0,20	Moderately compressible
0,20 – 0,35	Highly compressible
>0,35	Very highly compressible

Sumber : Coduto, 1994

Table 2. Klasifikasi koefisien permeabilitas tanah

Nama	K (cm/det)
High permeability	$> 10^{-1}$
Medium permeability	$10^{-1} - 10^{-3}$
Low permeability	$10^{-3} - 10^{-5}$
Very low permeability	$10^{-5} - 10^{-7}$
Impervious (rapat air)	$< 10^{-7}$

Sumber : Djarawati 2008

Lampiran 1 : Bacaan penurunan pada jam tertentu pada pemodelan preloading dengan vertical drains

Jam ke-	Bacaan penurunan		Rata-rata Komulatif penurunan
	Dial 1	Dial 2	
0	0	0	0
2	123	136	1.295
3	189	198	1.935
20	471	417	4.440
21	503	449	4.760
23	559.5	497	5.283
25	591	523	5.570
43	596	539	5.675
46	645	584	6.145
48	665	604	6.345
50	669	607	6.380
52	672	611	6.415
73	710	651	6.805
76	722	674	6.978
81	767	685	7.261
96	828	794	8.110
118	918.5	811	8.648
139	923	829	8.760
140	945	832	8.885
142	996	884	9.400
160	998	901	9.495
162	1023	978	10.005

Lampiran 2 : Bacaan Penurunan pada jam tertentu pada pemodelan metode vakum

Jam ke -	Penurunan rata-rata	Kumulatif penurunan
1	32.67	32.67
2	29.00	61.67
3	28.67	90.33
4	69.00	159.33
5	48.33	207.67
6	58.00	265.67
7	37.33	303.00
8	29.33	332.33
9	40.67	373.00
10	36.67	409.67
11	28.33	438.00
12	22.33	460.33
13	15.83	476.17
14	7.50	483.67
15	14.00	497.67
16	11.50	509.17
17	7.33	516.50
18	25.67	542.17
19	1.47	543.63
20	0.50	544.13
21	3.00	547.13
22	23.00	570.13
23	4.00	574.13
24	26.33	600.47
25	2.33	602.80
26	3.67	606.47
27	0.67	607.13
28	21.67	628.80
29	19.00	647.80
30	13.33	661.13
31	0.33	661.47
32	12.67	674.13
33	5.67	679.80
34	5.07	684.87
35	3.33	688.20
36	10.67	698.87
37	8.67	707.53
38	5.33	712.87
39	4.33	717.20

Jam ke -	Penurunan rata-rata	Kumulatif penurunan
40	2.40	719.60
41	6.50	726.10
42	0.80	726.90