

Perbaikan Tanah Lunak Dengan PVD Dan Vakum Di Pantai Indah Kapuk 2

RACHEL MARGARETH SAFARY¹, IMAM ASCHURI²

1. Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung¹
2. Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung²
Email: rachel.margareth@mhs.itenas.ac.id

ABSTRAK

Pantai Indah Kapuk 2 merupakan wilayah dengan perkembangan pesat akan tetapi menghadapi tantangan geoteknis seperti tanah yang tergolong lunak. Tantangan ini menjadikan Kawasan ini membutuhkan perbaikan sebelum pembangunan infrastruktur, sehingga pada penelitian ini mengeksplorasi perbaikan tanah menggunakan metode *Vacuum Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) yang dimodelkan dengan PLAXIS 3D 2024. Tujuan utama penelitian ini adalah mengetahui penurunan konsolidasi tanah, tekanan air pori berlebih, dan waktu konsolidasi hingga mencapai 90% konsolidasi, serta membandingkan hasil pemodelan dengan data lapangan. Hasil analisis menunjukkan bahwa metode yang diterapkan menghasilkan deformasi tanah sebesar 476 mm dalam 89 hari dengan derajat konsolidasi 90%, serta memiliki perbedaan 17 mm antara pemodelan dan monitoring lapangan. Selain itu, nilai *safety factor* yang diperoleh berkisar antara 1,97 hingga 3,1, menunjukkan tingkat keamanan yang tinggi. Temuan ini menegaskan efektivitas metode yang digunakan dalam meningkatkan stabilitas tanah lempung lunak di lokasi penelitian.

Kata kunci: *Prefabricated Vertical Drain*, *Vacuum Consolidation*, PLAXIS 3D

1. PENDAHULUAN

Pantai Indah Kapuk 2 merupakan salah satu wilayah dengan pengembangan yang sangat besar dalam segi pembangunan, ekonomi, bisnis, dan juga wisata. Berada di dekat Pantai, tanah pada kawasan ini tergolong sebagai tanah lempung lunak. Tanah lempung lunak merupakan tanah yang sering dijumpai di Indonesia, sebaran umumnya menempati dataran aluvial pantai, dataran aluvial sungai, dataran aluvial danau dan dataran rawa, dengan kemiringan lereng >2% (Wardoyo, 2019). Kondisi tanah tersebut menjadikan kawasan ini memerlukan perbaikan tanah sebelum dilakukan pembangunan infrastruktur di atasnya, metode yang mendukung upaya perbaikan tersebut adalah metode *Vacuum Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) atau juga dikenal dengan teknologi *Vertical Drain*. Penelitian ini memiliki tujuan yaitu mengetahui besar dan waktu penurunan ketika diberi perbaikan tanah berupa *preloading*, maupun kombinasi perbaikan seperti *preloading* + PVD, dan juga *preloading* + PVD + vakum. Selain penurunan, besarnya p excess dan juga nilai keamanan diperhitungkan. Penelitian ini menggunakan metode numerik dengan bantuan *software* PLAXIS 3D dengan jenis *soil model* yaitu *hardening soil*. PVD yang digunakan yaitu 12 m pola *rectangular* dengan tekanan vakum 83 Kpa.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Lempung Lunak

Tanah lempung adalah tanah yang memiliki partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah apabila dicampur dengan air (Das, 2014) ASTM D-653 memberikan Batasan bahwa secara fisik ukuran lempung adalah partikel yang berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm.

Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung (Hardiyatmo, 2002) adalah sebagai berikut:

- a) Ukuran butir halus, kurang dari 0,005 mm
- b) Permeabilitas rendah
- c) Kenaikan air kapiler tinggi
- d) Bersifat sangat kohesif
- e) Kadar kembang susut yang tinggi
- f) Proses konsolidasi yang lambat

2.2 Konsolidasi

Konsolidasi merupakan salah satu proses pengecilan volume yang terjadi secara perlahan-lahan pada tanah jenuh sempurna dengan keadaan permeabilitas yang rendah akibat pengaliran Sebagian air pori (Barimbing, 2017)

2.3 Vacuum Preloading

Metode *vacuum preloading* dengan drainase vertikal pertama dikenalkan oleh Kjellman (1942) di Swedia. Hingga saat ini, metode *preloading* dengan vakum populer dilakukan ketika diperlukan beban tambahan (*surchage*) yang tinggi untuk mencapai penurunan konsolidasi dan kuat geser *undrained* tertentu.

2.4 Prefabricated Vertical Drain

Prefabricated Vertical Drain (PVD) adalah material geosintetik komposit yang digunakan dalam perancangan perbaikan tanah lunak dengan permeabilitas rendah, dan kompreibilitas tanah yang tinggi yang dikombinasikan dengan *preloading* atau *vacuum preloading* (Team, 2022).

2.5 Settlement Plate

Settlement plate pada umumnya terbuat dari plat baja, dan memiliki ukuran 50 x 50 x 1 cm untuk plat besi, pipa PVC, dan *waterpass*. Pemasangan *settlement plate* dilakukan sebelum pelaksanaan pekerjaan timbunan, untuk penempatan *settlement plate* dapat dipasang pada area yang nantinya akan terjadi penurunan secara maksimum dalam pembebanan (*preloading*). Alat dapat dilindungi dengan pipa PVC. *Settlement plate* ini bertujuan untuk mengetahui besarnya suatu penurunan tanah di lapangan.

2.6 PLAXIS 3D

PLAXIS 3D merupakan perangkat lunak (*software*) elemen hingga tiga dimensi yang memiliki fungsi menganalisa deformasi, menganalisa stabilitas, dan menganalisa daya dukung pada suatu pekerjaan di bidang geoteknik. Lebih jelasnya PLAXIS 3D merupakan permodelan penuh 3 dimensi yang mengkombinasikan *interface* yang mudah dengan fasilitas permodelan 3 dimensi. Pada program ini terdiri dari 3 tahapan pekerjaan yaitu *input*, *calculation*, dan *output* (Byantara, 2019) dalam (Ghifariza, G. N., 2023).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode numerik dengan bantuan software PLAXIS 3D, dan *soil model* yang digunakan adalah *hardening soil*. Untuk PVD dimodelkan menggunakan material drain. Fungsi dari drain pada PLAXIS untuk memperkecil tekanan air pori eksese. Pada tahapan *staged construction* perilaku *drain* dapat diubah menjadi kondisi normal atau vakum, karena pada penelitian ini menggunakan vakum konsolidasi maka digunakan perilaku *vacuum drain*. Hasil penurunan konsolidasi 90% pada pemodelan dengan perbaikan preloading + PVD + vakum kemudian dibandingkan dengan hasil monitoring lapangan. Setelah hasil pemodelan dan monitoring mendekati sama, kemudian dilakukan pemodelan dengan perbaikan *preloading*, dan *preloading* + PVD.

3.2 Parameter Tanah

Data parameter yang digunakan pada tanah dasar ini merupakan hasil korelasi dari hasil pengujian di lapangan, data pengujian laboratorium. Data parameter tanah dasar yang akan digunakan dalam pemodelan ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Parameter Tanah

Karakteristik	Simbol	Satuan	Lapisan 1	Lapis 2	Lapisan 3	Lapisan 4	Lapisan 5	Timbunan
Jenis Tanah	-	-	Lanau Kepasiran	Lempung Kelanauan	Lanau Kelempungan	Lanau Kepasiran	Lanau Kelempungan	Pasir
<i>Soil Type</i>	-	-	<i>Hardening Soil</i>					
Nilai NSPT	-	-	1	4	31	25	21	-
Kedalaman	H	cm	500	650	400	400	2050	2100
Berat Volume	γ sat	kN/m ³	14,3	16,7	16,1	18,4	15,62	17
Berat Volume Kering	γ unsat	kN/m ³	13,3	15,7	15,1	17,4	14,62	16
Angka Pori	e	-	2,28	1,28	1,51	0,87	1,692	1,1
Porositas	n	-	0,69	0,56	0,6	0,46	0,62	0,5238
Kohesi	c'	Kpa	6,000	7,000	10,000	10,000	10,000	5,000
Sudut Geser Dalam	ϕ	°	17,000	17,000	20,000	20,000	17,000	30,000
Modulus Elastisitas	E50 ref	kN/m ²	1064	3724	32984	26600	22344	10000
	Eod	kN/m ²	851	2979	26387	21280	17875	8000
	Eur	kN/m ²	3192	11172	98952	79800	67032	30000
<i>Poisson Ratio</i>	v	-	0,25	0,3	0,3	0,25	0,3	0,2
<i>power</i>	m	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5
Indeks Permeabilitas	k	m/hari	0,0864	0,00864	0,000864	0,0864	0,000864	8,64

3.3 Pembebanan

Pembebanan dilakukan bertahap dengan waktu tertentu. Beban timbunan yang biasanya digunakan pada tanah lempung lunak diakibatkan oleh berat material timbunan itu sendiri. Pada studi kasus ini beban timbunan ditambahkan dengan beban vakum, dengan beban konstruksi seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Pembebanan Yang Digunakan

Load	Thickness (m)	γ (kN/m ³)	Load Total (Kpa)
Timbunan	2,1	16	33,6
Waterload	0,4	10	4
Vakum	-	83	83

3.4 Pemodelan Dengan PLAXIS 3D

Parameter tanah yang digunakan pada pemodelan ini adalah data pada **Tabel 1**. dengan *soil model Hardening Soil*. Untuk PVD dimodelkan menggunakan material drain. Fungsi dari drain pada PLAXIS untuk memperkecil tekanan air pori eksese. Pada tahapan *staged construction*

perilaku *drain* dapat diubah menjadi kondisi normal atau vakum, karena pada penelitian ini menggunakan vakum konsolidasi maka digunakan perilaku *vacuum drain*.

Adapun tahapan konstruksi (a) untuk perbaikan tanah dengan beban *preloading*, *vacuum preloading*, *water load*, dan PVD seperti pada **Tabel 3**. Tahapan konstruksi (b) untuk perbaikan tanah dengan beban *preloading*, *waterload* dan PVD seperti pada **Tabel 4**. Tahapan Konstruksi (c) untuk perbaikan tanah dengan beban *preloading* dan *water load* saja seperti pada **Tabel 5**.

Tabel 3. Tahapan Konstruksi (a)

Tahapan Pekerjaan	Tinggi Timbunan (m)	Tekanan Vakum (Kpa)	Waterload (m)	Waktu Pekerjaan (hari)
Tanah Asli	-			-
Install PVD + Vakum	-	-	-	7
Timbunan + Waterload + PVD + Vakum	1,4	60,8	0,32	4
Timbunan 2 + Waterload + PVD + Vakum	2,1	80,2	0,38	29
Timbunan 2 + Waterload + PVD + Vakum	2,1	83,0	0,40	43
Degree of consolidation	2,1	83	0,40	-

Tabel 4. Tahapan Konstruksi (b)

Tahapan Pekerjaan	Tinggi Timbunan (m)	Waterload (m)	Waktu Pekerjaan (hari)
Tanah Asli	-		-
Install PVD	-	-	7
Timbunan + Waterload + PVD	1,4	0,32	4
Timbunan 2 + Waterload + PVD	2,1	0,38	29
Timbunan 2 + Waterload + PVD	2,1	0,40	43
Degree of consolidation	2,1	0,40	-

Tabel 5. Tahapan Konstruksi (c)

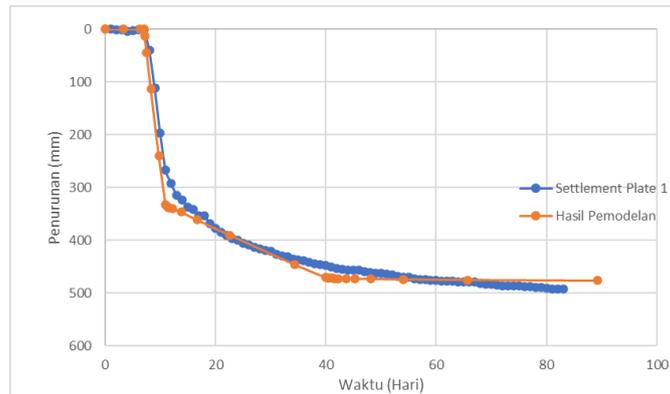
Tahapan Pekerjaan	Tinggi Timbunan (m)	Waterload (m)	Waktu Pekerjaan (hari)
Tanah Asli	-		-
Timbunan + Waterload	1,4	0,32	4
Timbunan 2 + Waterload	2,1	0,38	29
Timbunan 2 + Waterload	2,1	0,40	43
Degree of consolidation	2,1	0,40	-

3.5 Hasil dan Analisis

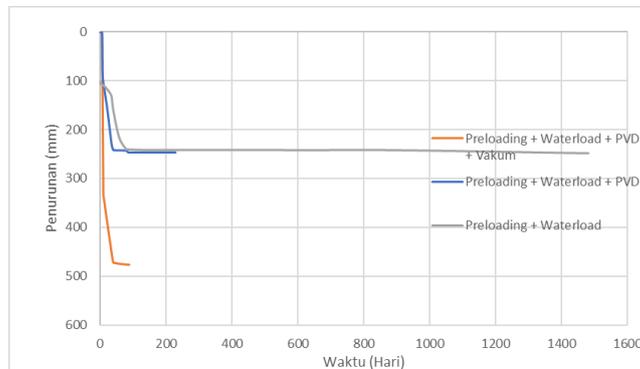
Dari hasil pemodelan didapatkan hasil penurunan, P_{excess} maksimum, waktu konsolidasi dan juga nilai *safety factor*. Pemodelan dengan Preloading + waterload+ PVD + vakum mendapatkan waktu konsolidasi paling cepat dan juga *safety factor* paling besar. Hasil dari pemodelan dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil

Keterangan	Waktu (Hari)	Total Penurunan (mm)	$P_{excess\ maks}$ (kN/m ²)	Safety Factor
Preloading + Waterload				
Hasil	1480	246	37	1,97
Preloading + Waterload + PVD				
Hasil	230	247,1	37	2,19
Preloading + Waterload + PVD + Vacuum				
Settlement Plate 1	83	493	-	-
Hasil	89	476	84	3,1



Gambar 1. Perbandingan Pemodelan dan Monitoring



Gambar 2. Perbandingan ketiga pemodelan

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang dilakukan didapat beberapa kesimpulan seperti:

- a) Deformasi tanah yang terjadi akibat beban *preloading*, *waterload*, *vacuum preloading*, dan PVD adalah sebesar 476 mm selama 89 hari pada kondisi derajat konsolidasi 90% dan hasil monitoring lapangan sebesar 493 mm selama 83 hari. Perbedaan antara monitoring dan

pemodelan adalah sebesar 17 mm. Untuk nilai *excess pore pressure* maksimum adalah 84 kN/m².

- b) Deformasi tanah yang terjadi akibat beban *preloading*, *waterload* dan PVD adalah sebesar 247,1 mm selama 230 hari pada kondisi derajat konsolidasi 90% dan *excess pore pressure* maksimum adalah 37 kN/m².
- c) Deformasi tanah yang terjadi akibat beban *preloading* dan *waterload* adalah sebesar 246 mm selama 1480 hari pada kondisi derajat konsolidasi 90% dan *excess pore pressure* maksimum adalah 37 kN/m².
- d) Nilai *safety factor* untuk pemodelan dengan *preloading* dan *waterload* adalah sebesar 1,97. Untuk nilai *safety factor* dengan *preloading*, *waterload* dan juga PVD adalah sebesar 2,19. Dan untuk nilai *safety factor* pemodelan dengan *preloading*, *waterload*, PVD dan juga vakum adalah sebesar 3,1.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada seluruh pihak yang membantu dalam proses penelitian ini khususnya Bapak Bapak Dr. Imam Aschuri, Ir., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu dan memberi masukan selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR RUJUKAN

- Barimbing, F. R. (2017). Analisis Penurunan dan Waktu Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan Metode Preloading dan Pre Fabricated Vertical drain (Studi Kasus Proyek Pembangunan Jalan Bebas Hambatan Medan–Kualanamu Sta 35+ 950).
- Das, B. M. (2014). *Principles of Foundation Engineering Eighth Edition*. United States of America: Cengag.
- Ghifariza, G. N. (2023). Perbaikan Tanah Lunak Dengan Vacuum Preloading Dan Prefabricated Vertical Drains Menggunakan Model 3d dalam Studi Kasus Tokyo Riverside Apartment, Jakarta Utara. *Prosiding FTSP Series*, 87-92.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I. Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Team, G. (2022). Prefabricated Vertical Drain.
- Wardoyo, S. F. (2019). *Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia*. Jakarta: Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.