

EVALUASI KINERJA PREFABRICATED VERTICAL DRAIN (PVD) SEBAGAI PERBAIKAN TANAH LEMPUNG LUNAK MENGGUNAKAN PENDEKATAN MODEL NUMERIK (STUDI KASUS JALAN TOL PEKANBARU – PADANG SEKSI SICINCIN – LUBUK ALUNG PADANG)

YULI YULIANDA YUSUF¹, DESTI SANTI PRATIWI²

1. Mahasiswi Institut Teknologi Nasional Bandung
2. Dosen Institut Teknologi Nasional Bandung

Email: yyulianday72@gmail.com

ABSTRAK

Proyek Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Pekanbaru - Padang merupakan proyek jalan tol yang dibangun di atas tanah lempung lunak, yang memiliki kondisi tanah dasa dengan kuat geser rendah dan kompresibilitas tinggi, sehingga berisiko menyebabkan penurunan tanah yang signifikan. Berdasarkan kondisi eksisting pada pembangunan proyek tol tersebut, maka direncanakan perbaikan tanah menggunakan *Preloading+PVD*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* sebagai metode perbaikan tanah lempung lunak melalui pendekatan model numerik. Pemodelan ini dilakukan menggunakan *software* PLAXIS 3D dengan variasi pola dan jarak pemasangan PVD pada dua model tanah, yaitu *Hardening Soil Model*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pola pemasangan persegi dengan jarak 2 meter memberikan hasil yang optimum baik dalam efisiensi waktu konsolidasi dengan penurunan tanah sebesar 3,96 meter, waktu yang dibutuhkan tanah untuk mencapai konsolidasi 90% selama 254 hari, dengan selisih waktu penurunan sebesar 4,51% lebih cepat dari kondisi aktual di lapangan.

Kata kunci: Perbaikan Tanah, Tanah Lempung Lunak, *Preloading*, *Prefabricated Vertical Drain*, *Hardening Soil Model*,

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, pembangunan infrastruktur, khususnya jalan tol, mengalami perkembangan pesat. Data dari Badan Pengatur Jalan Tol menunjukkan bahwa hingga Januari 2024, total panjang jalan tol di Indonesia mencapai 2. 816 km, dengan panjang terbaik di Pulau Jawa. Saat ini, pemerintah sedang mengerjakan proyek Jalan Tol Trans Sumatera yang menghubungkan Aceh hingga Bakauheni sepanjang 304 km. Salah satu ruasnya adalah Jalan Tol Padang-Sicincin. Penyelidikan geoteknik menemukan bahwa lokasi tersebut memiliki tanah bermasalah, yaitu tanah lempung lunak. Kondisi tanah sangat penting untuk ketahanan bangunan. Tanah lunak dapat menyebabkan masalah stabilitas jika tidak ditangani. Oleh karena itu, perbaikan tanah yang efektif diperlukan. Metode *Prefabricated Vertical Drains (PVD)* dan *Preloading* adalah solusi yang cocok untuk memperbaiki tanah lunak dengan mempercepat pengeluaran air tanah.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Tanah Lempung Lunak

Karakteristik dan sifat tanah tergantung pada iklim dan lokasinya. Tanah lempung adalah kelompok partikel kristal berukuran kurang dari 0,002 mm, terbentuk dari pelapukan kimia pada batuan. Tanah lunak didefinisikan sebagai lempung dengan kuat geser kurang dari 25 kN/m². Tanah lunak memiliki daya dukung rendah dan pemampatan besar, menyebabkan risiko kerusakan pada infrastruktur jika tidak diperbaiki sebelum pembangunan. Tanah ini dapat mengalami penurunan saat diberi beban berlebih, memengaruhi keselamatan manusia.

2.2 Penurunan Muka Tanah

Penurunan muka tanah adalah proses deformasi tanah yang terjadi ketika partikel tanah menerima beban, menyebabkan penambahan tegangan. Proses ini disebut *settlement*, yang terjadi saat air dalam pori-pori tanah keluar akibat pembebanan. Menurut Dermawan (2009), pembebanan pada tanah menyebabkan regangan yang menghasilkan penurunan. Regangan ini terjadi karena perubahan susunan tanah dan pengurangan rongga pori. Penurunan terdiri dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Pada tanah berpasir, air dapat mengalir cepat, sehingga penurunan segera dan konsolidasi terjadi bersamaan.

2.3 Parameter Tanah

Parameter tanah adalah karakteristik fisik dan kimia yang menggambarkan kondisi dan sifat tanah. Parameter ini penting dalam bidang teknik sipil, arsitektur, dan pertanian karena mempengaruhi kinerja dan stabilitas struktur di atas tanah. Parameter tanah mencakup kekuatan tanah, permeabilitas tanah, porositas tanah, suhu tanah, kelembapan tanah, komposisi tanah, tekstur tanah. Pengukuran parameter tanah penting untuk merancang dan memilih material konstruksi yang tepat, serta untuk memastikan bahwa struktur bangunan dapat menahan beban dan kondisi lingkungan tanpa mengalami kerusakan atau keruntuhan. Parameter suatu tanah didapat dari berbagai pengujian, baik itu pengujian in situ atau lapangan maupun pengujian di laboratorium.

2.4 Penyelidikan Geoteknik

Penyelidikan geoteknik merupakan suatu usaha untuk memperoleh informasi tentang kondisi suatu tanah dan untuk menentukan parameter tanah yang dibutuhkan untuk mendesain. Penyelidikan geoteknik dibagi menjadi dua yaitu penyelidikan di lapangan dan penyelidikan di laboratorium.

2.5 Soil Model

Soil model adalah kerangka teoretis yang digunakan untuk menggambarkan perilaku mekanis tanah dalam geoteknik, seperti simulasi struktur bangunan atau analisis stabilitas tanah. Model ini membantu pengguna memprediksi reaksi tanah terhadap beragam beban dan kondisi. Pemilihan model yang tepat sangat penting untuk hasil yang realistis dan akurat. Model sederhana mungkin cepat, tetapi tidak selalu akurat, sedangkan model lanjutan lebih tepat dan dapat diandalkan. Parameter dalam model menggambarkan sifat tanah dan harus ditentukan dari data investigasi situs, meskipun sering terbatas. Pemilihan model sangat penting untuk analisis dan simulasi dalam geoteknik.

2.6 Settlement Plate

Settlement plate adalah alat geoteknik yang digunakan untuk memantau penurunan tanah akibat preloading, mengukur nilai penurunan tanah untuk memastikan proses tersebut aman dari tergelincir atau longsor. Alat ini dianggap tidak aman jika grafik penurunannya menunjukkan perubahan ekstrem. Settlement plate terdiri dari plat besi 50 x 50 x 1 cm, pipa besi diameter 3,81 cm, dan pipa paralon diameter 7,62 cm, dipasang di tengah timbunan.

2.7 Perbaikan Tanah

Menurut Ir. H. Darwis, perbaikan tanah adalah stabilisasi yang bertujuan memperbaiki atau menjaga kemampuan tanah. Metode ini menggunakan bahan aditif, pencampuran, pengeringan, atau tenaga fisik. Stabilisasi tanah bertujuan meningkatkan sifat tertentu agar memenuhi syarat

teknis. Syarat tersebut terkait dengan kapasitas daya dukung, kuat geser, penurunan, dan permeabilitas tanah, sesuai dengan jenis konstruksi yang dibuat.

3. METODOLOGI

Pada metodologi penelitian ini dilakukan beberapa tahapan. Penelitian dimulai dengan identifikasi rumusan masalah, tinjauan pustaka, dan pengumpulan data penelitian. Data yang dikumpulkan mencakup laporan penyelidikan tanah, data pengujian laboratorium dan Standar Penetrasi Tanah (SPT), data timbunan, data spasi dan pola PVD dengan kedalaman 12 meter, serta data monitoring *settlement plate*. Selanjutnya, pemodelan dilakukan dengan dua pendekatan utama. Pertama, menggunakan data eksisting dengan pola segitiga berjarak 1,3 meter, di mana parameter tanah ditentukan menggunakan model *Hardening Soil*. Setelah itu, pemodelan timbunan dan PVD dilakukan sesuai kondisi eksisting, dan grafik penurunan tanah terhadap waktu dianalisis. Jika hasilnya sesuai, data monitoring *settlement plate* dikonfirmasi dan masuk ke tahapan berikutnya. Pendekatan kedua menggunakan pemodelan dengan variasi pola dan jarak pemasangan PVD, yaitu pola persegi dan pola segitiga dengan variasi jarak 1, 1,5, dan 2 meter. Setelah pemodelan ini, dilakukan analisis grafik besar penurunan tanah terhadap waktu, kemudian dibandingkan dengan hasil pemodelan eksisting. Tahap akhir penelitian mencakup pembahasan hasil perbandingan grafik penurunan tanah, penyusunan kesimpulan, dan penyelesaian penelitian

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi dalam penelitian ini adalah proyek jalan tol Padang – Sicincin pada STA 10+369 dengan perbaikan tanahnya menggunakan metode PVD+*Preloading*.

4.2 Data Tanah

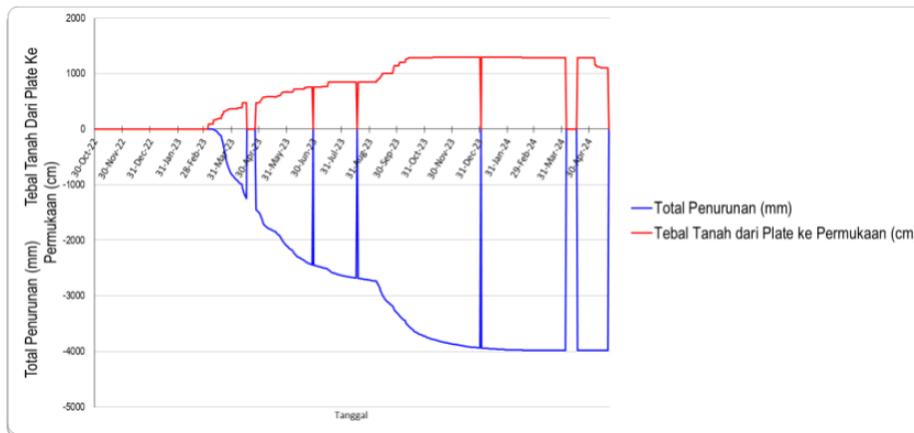
Data tanah yang digunakan adalah data tanah pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) pada STA 10+369 pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Pekanbaru – Padang (Seksi Sicincin – Lubuk Alung – Padang).

Tabel 1 Lapisan Tanah Eksisting

Kedalaman (m)	N-SPT	Jenis Tanah	Konsistensi	Lapisan
0.00 – 2.50	3	Lanau Lempungan	<i>Soft</i>	1
2.50 – 4.00	3	Humus Gambut	<i>Soft</i>	2
4.00 – 7.50	5	Lempung Lanauan	<i>Medium Stiff</i>	3
7.50 – 15.5	1	Humus Gambut	<i>Very Soft</i>	4
15.5 – 20.0	33	Pasir Halus	<i>Dense</i>	5
20.0 – 30.0	49	Pasir Lanauan	<i>Dense</i>	6

4.3 Data Monitoring

Data monitoring ini digunakan untuk mengevaluasi proses penurunan tanah yang terjadi di lapangan. Ini juga membantu menentukan parameter tanah untuk pemodelan sesuai dengan kondisi di lapangan. Alat yang digunakan adalah *settlement plate*. Data *settlement plate* berupa grafik ketebalan tanah dan kumulatif penurunan.



Gambar 1 Data Monitoring Settlement Plate

4.4 Data Parameter Tanah

Data parameter tanah yang akan digunakan dalam pemodelan ini diperoleh berdasarkan hasil korelasi N-SPT yang didapatkan dari pengujian SPT. Dari nilai N-SPT dan korelasinya didapatkan pula parameter – parameter tanah yang dibutuhkan dalam pemodelan ini dan data parameter ini menjadi nilai acuan untuk mengetahui atau menilai hasil proses perubahan yang terjadi pada tanah tersebut. *Soil model* yang digunakan pada penelitian ini adalah *Hardening Soil Model*

Tabel 2 Parameter Tanah pada Hardening Soil Model

MAT	-1.00						m	
Lapisan	1	2	3	4	5	6	Timbunan	
Jenis Tanah	Lanau Lempungan	Humus Gambut	Lempung Lanauan	Humus Gambut	Pasir Halus	Pasir Lanauan	Pasir	
Konsistensi Tanah	Soft	Soft	Medium Stiff	Very Soft	Dense	Dense	Dense	
Soil Model	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	
Drainage type	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Drained	Drained	Drained	
Kedalaman (m)	0 - 2.5	2.5 - 4	4 - 7.5	7.5 - 15.5	15.5 - 20	20 - 30	13	
N-SPT	3	3	5	1	37	47	-	
Yunsat (kN/m ³)	14.0	8.0	12.0	9.0	15	17	19	
Ysat (kN/m ³)	15.0	12.0	14.0	13.0	16	18	20	
Eso (kN/m ²)	1213.6	1000	4000	1000	20000	21000	40000	
Eoed (kN/m ²)	970.88	800	3200	800	16000	16800	32000	
Eur (kN/m ²)	3640.8	3000	12000	3000	60000	63000	120000	
c'	1.2	1.2	2	0.4	18.5	23.5	2	
φ' (°)	20	20	22	20	37	38	40	

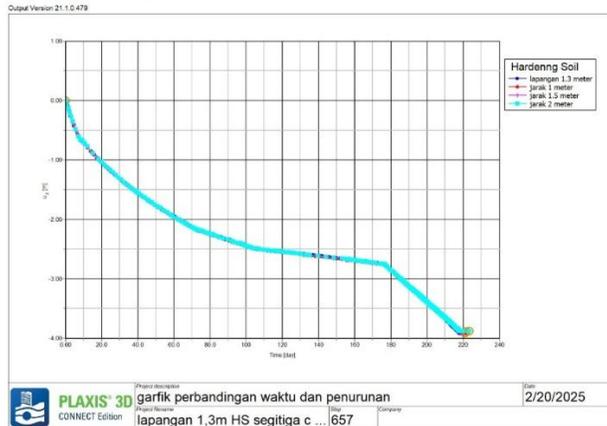
4.5 Tahapan Konstruksi

Pada tahap kali ini adalah analisis terhadap variasi jarak dan variasi penggunaan pola *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* dengan jarak 1 m, 1,5 m, dan 2 m. Variasi pola PVD yang digunakan adalah bujur sangkar dan segitiga. Tahapan konstruksi dimodelkan pada *software PLAXIS 3D* adalah *initial phase, install PVD*, timbunan pertama setinggi 0.93 m, konsolidasi terhadap timbunan pertama, timbunan kedua setinggi 4.172 m, konsolidasi terhadap timbunan kedua, timbunan ketiga setinggi 0.884 m, konsolidasi terhadap timbunan ketiga, timbunan keempat setinggi 0.417 m, konsolidasi terhadap timbunan keempat, timbunan kelima setinggi 0.817 m, konsolidasi terhadap timbunan kelima, timbunan keenam setinggi 0.373 m, konsolidasi terhadap timbunan keenam, timbunan ketujuh setinggi 5.351 m, dan konsolidasi 90%.

4.6 Hasil Analisa Perbandingan Data Monitoring dengan Pemodelan PLAXIS 3D

Hasil analisis perbandingan data *monitoring settlement plate* dengan PLAXIS 3D ini bertujuan untuk menunjukkan bahwa parameter – parameter tanah yang ditentukan sudah mendekati dengan kondisi di lapangan, baik itu parameter *Hardening Soil Model*. Pada pemodelan PLAXIS 3D ini dilakukan sesuai dengan tahapan konstruksi yang terjadi di lapangan. Pemodelan ini dilakukan pada STA 10+369 yang terdapat tanah kompresibel sedalam 15 meter dan muka air tanah 1 meter di bawah permukaan tanah dengan timbunan setinggi 13 meter dan perbaikan

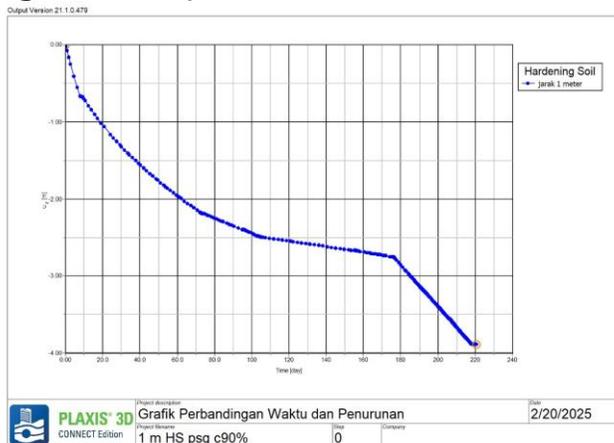
berupa *preloading*+PVD dengan pola segitiga dan jarak pemasangan PVD 1,3 m dan juga penentuan *nodes* yang sesuai dengan posisi *settlement plate* di lapangan. Parameter tersebut akan digunakan untuk menganalisis pemodelan PVD. Berikut grafik hasil analisis kondisi di lapangan atau data *monitoring* dengan pemodelan PLAXIS 3D.



Gambar 2 Hasil Pemodelan Kondisi Eksisting

4.6 Hasil Analisa Pemodelan *Preloading* dan PVD Menggunakan *Hardening Soil Model*

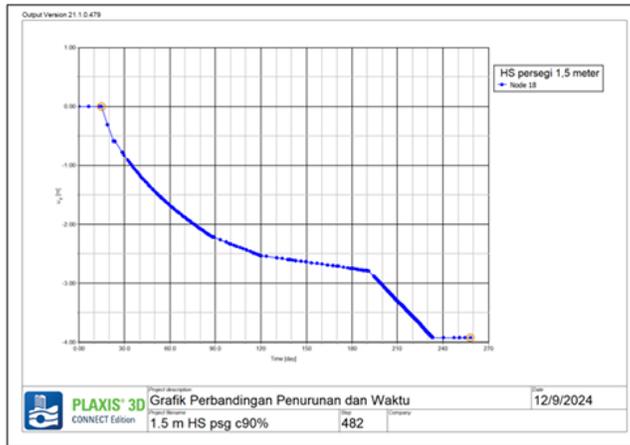
4.6.1 Pola Persegi dengan Jarak 1,0 meter



Gambar 3 Grafik Pemodelan HS Pola Persegi Jarak PVD 1 meter

Berdasarkan hasil pemodelan pada PLAXIS 3D menggunakan pola persegi pada *Hardening Soil Model* (HS) dengan jarak pemasangan PVD 1 meter menghasilkan penurunan sebesar 3,89 m dengan waktu konsolidasi 220 hari.

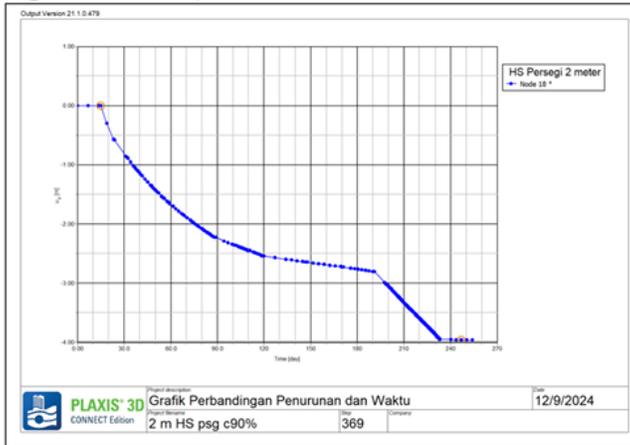
4.6.2 Pola Persegi dengan Jarak 1,5 meter



Gambar 4 Grafik Pemodelan HS Pola Persegi Jarak PVD 1,5 meter

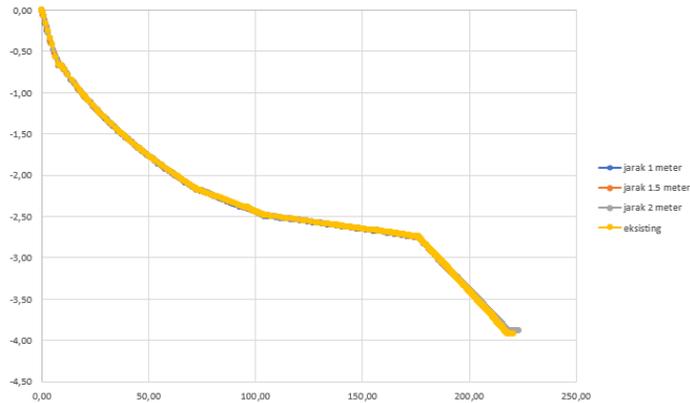
Berdasarkan hasil pemodelan pada PLAXIS 3D menggunakan pola persegi pada *Hardening Soil Model* (HS) dengan jarak 1,5 meter menghasilkan penurunan sebesar 3,88 m dengan waktu konsolidasi 222 hari.

4.6.3 Pola Persegi dengan Jarak 2,0 meter



Gambar 5 Grafik Pemodelan HS Pola Persegi Jarak PVD 2 meter

Berdasarkan hasil pemodelan pada PLAXIS 3D menggunakan pola persegi pada *Hardening Soil Model* (HS) dengan jarak 2 meter menghasilkan penurunan sebesar 3,88 m dengan waktu konsolidasi 224 hari.



Gambar 6 Grafik Penurunan Tanah Jarak 1 m; 1,5 m dan 2 m

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa pada laporan tugas akhir dengan judul "Evaluasi Kinerja Prefabricated Vertical Drain Sebagai Perbaikan Tanah Lempung Lunak Menggunakan Pendekatan Model Numerik" yang telah dimodelkan melalui bantuan software PLAXIS 3D sebagai berikut:

1. Pada model Hardening Soil Model (HS) dengan pola pemasangan persegi dengan jarak 1 meter merupakan pola dan jarak yang efektif dalam merepresentasikan kondisi aktual di lapangan dengan selisih waktu penurunan sebesar 0,11%.
2. Data monitoring lapangan digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian hasil analisis pemodelan dengan kondisi sebenarnya. Hasil pemodelan menggunakan PLAXIS 3D menunjukkan bahwa penurunan tanah akibat metode PVD dan preloading sesuai dengan kondisi lapangan, sehingga analisis ini dapat dikatakan valid.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisa pada laporan tugas akhir ini, terdapat beberapa saran yang bisa menjadi pertimbangan dan pengembangan di masa yang akan datang jika adapenelitian lebih lanjut mengenai prefabricated vertical drain. Saran – saran tersebut ialah:

1. Penggunaan soil model yang bermacam-macam disesuaikan dengan kelebihan dan kekurangan dari setiap soil model yang ada dengan karakteristik setiap lapisan tanah yang ada di Lapangan.
2. Melakukan analisis terhadap pengaruh zona smear pada area pemasangan Prefabricated Vertical Drain untuk meningkatkan akurasi hasil yang diperoleh.
3. Melakukan analisis faktor keamanan pada lereng timbunan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Ibu Desti Santi Pratiwi, S.T., M.T. yang telah memberikan bimbingan dan arahan, serta kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan penelitian ini. Terima kasih juga kepada keluarga yang selalu mendukung dan memberikan semangat. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

DAFTAR RUJUKAN

- Ameratunga, J. S. (2016). *Correlation Of Soil And Rock Properties In Geotechnical* . New York: Springer.
- Das, B. M. (2014). *Principle Of Foundation Engineering Eight Edition*. Boston: Cengage Learning.
- Hao Cheng, H. C. (2022). *Probabilistics Analysis Of Ground Surface Settlement Of Excavation Considering Spatial Variable Modified Cam-Clay Model*.