

EVALUASI PENGGUNAAN PREFABRICATED VERTICAL DRAIN (PVD) PADA TANAH YANG MEMILIKI KARAKTERISTIK LUNAK

EVALUATION OF THE USE OF PREFABRICATED VERTICAL DRAIN (PVD) ON SOILS WITH SOFT CHARACTERISTICS

Angga Darmawan¹, Widarto Sutrisno¹, Leo Faylani^{1*}

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa,
Jl. Miliran, Yogyakarta, Indonesia

*Email corresponding: leofaylani123@gmail.com

Email: anggadarmawan93@gmail.com

Email: widarto.sutrisno@ustjogja.ac.id

Cara sitasi: A. Darmawan, W. Sutrisno, dan L. Faylani, "Evaluasi Penggunaan Prefabricated Vertical Drain (PVD) pada Tanah yang Memiliki Karakteristik Lunak," *Kurvatek*, vol. 9, no. 2, pp. 167-174, 2024. doi: [10.33579/krvtk.v9i2.5363](https://doi.org/10.33579/krvtk.v9i2.5363) [Online].

Abstrak — Penurunan tanah yang terjadi pada suatu area konstruksi merupakan tantangan yang harus diselesaikan dalam perencanaan sebelum dilakukan suatu konstruksi. Setiap jenis tanah memiliki karakteristik yang berbeda sehingga penanganannya juga harus disesuaikan. Pada lokasi yang dilakukan penelitian, jenis tanah yang ada adalah tanah lunak dengan material pembangunannya yang sudah tidak baik untuk dijadikan area konstruksi karena terjadi amblasan. Penggunaan Prefabricated Vertical Drain (PVD) pada tanah lunak telah menjadi solusi yang efektif dalam mempercepat proses konsolidasi tanah dan mengurangi risiko penurunan yang berlebihan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan PVD pada tanah lunak melalui analisis data lapangan yang diperoleh dari suatu kegiatan konstruksi. Metodologi penelitian melibatkan studi kasus di area dengan kondisi tanah lunak, pemasangan PVD dengan pola tertentu, serta pengukuran penurunan tanah sebelum dan sesudah pemasangan PVD. Akan tetapi, hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tahap sebelumnya yang telah dilakukan pemasangan PVD dan penimbunan tahap 1, penurunan tanah yang terjadi belum secara signifikan teratasi. Dengan penurunan tanah yang masih bisa diizinkan maksimal 1,85 meter, pada area tersebut masih mengalami penurunan tanah hingga 1,75 meter. Selanjutnya, dilakukan penimbunan tahap 2 namun penurunan tanah yang terjadi belum teratasi serta penurunan yang terjadi semakin dalam, yaitu sebesar 4,35 meter. Hal ini mungkin disebabkan oleh terjadinya kerusakan platform konstruksi dan PVD akibat amblasan yang terjadi terlalu dalam, dengan keseluruhan mencapai 6,064 meter setelah dilakukan pemadatan (preloading) hingga 3 tahap. Dengan demikian, penggunaan PVD bukan berarti tidak menjadi solusi namun terjadinya faktor lain seperti kondisi tanah yang sudah terlalu cacat.

Kata kunci: *Prefabricated Vertical Drain, Tanah Lunak, Konsolidasi Tanah, Penurunan Tanah, Preloading.*

Abstract— *Land subsidence in a construction area is a challenge that must be addressed during the planning stage before construction begins. Each type of soil has different characteristics, requiring tailored handling. In the study area, the soil is soft, with substandard material for construction due to subsidence. The use of Prefabricated Vertical Drain (PVD) in soft soil has become an effective solution to accelerate soil consolidation and reduce the risk of excessive settlement. This research aims to evaluate the effectiveness of PVD use in soft soil through field data analysis obtained from a construction activity. The research methodology involves a case study in an area with soft soil conditions, installation of PVD in a specific pattern, and measurement of land subsidence before and after PVD installation. However, the study results indicate that during the earlier stage, where PVD installation and first-stage filling were conducted, the soil settlement was not significantly addressed. With a maximum allowable settlement of 1.85 meters, the area still experienced a settlement of 1.75 meters. Subsequently, second-stage filling was carried out, but the soil settlement continued and deepened to 4.35 meters. This may have been caused by damage to the construction platform and PVD due to excessive subsidence, reaching a total of 6.064 meters after three phases of preloading. Thus, while PVD use is not without its merits, other factors, such as the already severely compromised soil condition, may have contributed to the outcome.*

Keywords: *Prefabricated Vertical Drain, Soft Soil, Soil Consolidation, Land Subsidence, Preloading.*

I. PENDAHULUAN

Tanah sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak teresimentasi satu sama lain dan juga terbentuk oleh bahan-bahan organik yang melapuk menjadi partikel padat disertai dengan zat-zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut [1]-[3]. Struktur dan komposisi tanah sangat bervariasi, tergantung pada faktor-faktor seperti iklim, jenis batuan induk, topografi, waktu, serta aktivitas organisme yang hidup di dalamnya. Kualitas tanah sangat menentukan produktivitas lahan pertanian dan kelestarian lingkungan.

Pengelompokan tanah terdiri dari banyak jenis yang dikelompokkan sesuai dengan karakteristiknya. Dalam kasus ini, jenis tanah yang terdapat pada lokasi penelitian merupakan tanah dengan karakteristik lunak. Penggunaan istilah tanah lunak berkaitan dengan tanah-tanah yang jika tidak dikenali dan diselediki secara teliti dapat menyebabkan terjadinya masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak bisa di torelir[4]. Jenis tanah lunak memiliki kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Tanah lunak umumnya terdiri dari tanah lempung yang tidak cocok dijadikan sebagai material pondasi karena memiliki kemampuan yang tidak baik disebabkan oleh kadar air yang tinggi, permeabilitas rendah dan sangat kompresibel[5].

Tanah lunak sering menjadi tantangan utama dalam proyek konstruksi karena sifatnya yang tidak stabil dan mudah mengalami penurunan sebagaimana terjadi pada lokasi yang diteliti merupakan area jalur kereta api. Dari hasil identifikasi, diketahui bahwa penurunan tanah yang terjadi akibat tanah lunak dan tidak stabil yang berada dibawah badan timbunan, kondisi yang spesifik dimana berbagai macam perbaikan tanah belum berhasil, dan faktor alam yang tidak dapat diinterpretasikan pada data awal perancangan seperti tanah dasar yang bermasalah dan menyebabkan tidak dapat dibangun suatu konstruksi hanya dengan metode timbunan.

Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis yang teliti dan pemilihan metode konstruksi yang tepat untuk mengurangi risiko kerusakan pada proyek-proyek yang menggunakan tanah lunak sebagai fondasi. Dengan pemahaman yang mendalam tentang karakteristik tanah lunak, diharapkan dapat meminimalkan risiko kerusakan dan memastikan keberlangsungan proyek bangunan atau infrastruktur yang berdiri di atasnya. Penggunaan teknologi dan material konstruksi yang sesuai juga dapat membantu dalam memperkuat fondasi pada tanah lunak.

Sebagai salah satu cara dalam menangani permasalahan tanah lunak, penggunaan Prefabricated Vertical Drain (PVD) telah membuka peluang baru bagi industri konstruksi untuk mengatasi tantangan yang selama ini dihadapi. PVD merupakan salah satu metode yang efektif untuk mempercepat proses konsolidasi tanah lunak, sehingga dapat meningkatkan stabilitas tanah. Dengan menggunakan PVD, para Engineer terutama bidang konstruksi dapat mengurangi risiko penurunan tanah yang tidak diinginkan, sehingga memastikan keberhasilan proyek secara keseluruhan. Selain itu, PVD juga dapat membantu dalam mengurangi biaya dan waktu pembangunan, sehingga memberikan nilai tambah yang signifikan bagi pemangku kepentingan proyek.

Penelitian yang dilakukan dengan tujuan mengevaluasi efektivitas dan keuntungan penggunaan PVD dalam proyek konstruksi. Dengan mengidentifikasi potensi manfaat yang dapat diperoleh dari teknologi ini, diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang bagaimana PVD dapat menjadi solusi yang efektif dalam mengatasi tantangan konstruksi yang kompleks. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menyediakan data dan informasi yang dapat menjadi dasar bagi pengambilan keputusan terkait penggunaan PVD dalam proyek konstruksi di masa depan. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam pengembangan industri konstruksi secara keseluruhan.

Penelitian terkait penggunaan PVD pada tanah lempung lunak yang dilakukan, penggunaan PVD yang dipasang pada area *taxiway* dengan beban berupa pesawat Airbus A380 sebesar 18,22 ton/m²[6]. Setelah dilakukan analisis menggunakan teori konsolidasi 1 dimensi Terzaghi, dengan pemasangan PVD hingga sedalam 50 meter diperoleh penurunan sebesar 234,80 cm dengan waktu konsolidasi selama 2260 hari untuk pemasangan PVD pola persegi dan untuk pola segitiga waktu konsolidasi selama 1918 hari. Hasil akhir dari pemasangan PVD penurunan yang terjadi setelah pembebanan sebesar 2,5 cm. Dengan demikian, kondisi tanah yang awalnya tidak baik untuk dibangun suatu konstruksi berupa landasan pacu karena penurunan dapat diatasi dengan PVD sebagai alternatif dalam meningkatkan kestabilan tanah.

Penelitian lain tentang metode perbaikan tanah dengan penggunaan PVD pada jalan Tol Serpong-Balaraja. Terdapat 2 zona penanganan dengan semua area merupakan tanah lunak, dimana zona 1 tanah lunak berada pada kedalaman 8 meter dan zona 2 berada pada kedalaman 10 meter[7]. Dari hasil perhitungan, untuk zona 1 apabila diberikan beban timbunan setinggi 2,693 meter dalam waktu 181 hari akan terjadi penurunan sebesar 86 mm dan untuk zona 2 dengan beban timbunan 5,385 meter selama 181

hari akan terjadi penurunan sebesar 160 mm. Kedua zona menggunakan pola segitiga dalam pemasangan PVD dengan jarak 1,25 meter untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dengan dalam waktu 25 minggu.

Penggunaan PVD dalam memperbaiki struktur tanah lunak pada Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatra. Dalam penelitiannya, dilakukan percobaan jarak pemasangan PVD untuk mencari waktu efisien dari masing-masing jarak yang digunakan[8]. Untuk mencapai derajat konsolidasi 90% waktu yang dibutuhkan ketika menggabungkan metode *preloading* dengan PVD dengan jarak 1,2 meter adalah 28 hari, jarak 1,3 meter 34 hari, dan untuk jarak 1,4 meter adalah 39 hari. Selain itu, peneliti juga mencoba menganalisis apabila hanya menggunakan metode *preloading* tanpa kombinasi PVD memerlukan waktu selama 925 hari hingga mencapai derajat kejenuhan 90%. Sehingga, kombinasi metode *preloading* dengan PVD merupakan solusi yang baik dalam proses konsolidasi serta jarak antar PVD yang semakin dekat juga akan lebih mempercepat waktu konsolidasi tanah.

Analisis stabilitas timbunan dan perbaikan tanah lunak dengan metode PVD yang dikombinasikan dengan *preloading*[9]. Dengan menggunakan tinggi timbunan 8 meter dan jarak antar PVD yang bervariasi serta menggunakan pola pemasangan yang berbeda-beda untuk setiap model pemasangan. Penanganan dengan menggunakan metode *preloading* tanpa PVD didapat penurunan sebesar 2,6 meter dalam waktu 2077 hari, sedangkan untuk metode penanganan menggunakan PVD dengan pola segitiga jarak 1,3 meter dan dikombinasikan dengan *preloading* didapatkan penurunan sebesar 2,58 meter hanya dalam waktu 181 hari. Kombinasi antara PVD dengan *preloading* dapat mempercepat proses konsolidasi tanah hingga 1140% lebih cepat dibanding hanya dengan metode pembebanan/*preloading*.

Telah dilakukan evaluasi kinerja *preloading* dan PVD yang digunakan sebagai metode untuk memperbaiki tanah lunak. Dalam penelitian yang dilakukan, terdapat instrumen geoteknik utama sebagai parameter untuk mendapatkan hasil kestabilan tanah yang memiliki efektifitas tinggi, diantaranya adalah *Settlement Plate* yang digunakan untuk mengevaluasi penurunan teoritis, menghitung prediksi penurunan akhir dengan metode pengamatan Asaoka, dan evaluasi derajat konsolidasi pada area penelitian. Hasil analisis yang telah dilakukan didapat perbandingan penurunan aktual dan teoritis rata-rata sebesar 86% dalam waktu 382 hari dengan rata-rata penurunan yang terbaca dari *settlement plate* sebesar 1923 mm[10].

II. METODE PENELITIAN

Pada bagian metodologi, penelitian ini akan menggunakan pendekatan kuantitatif dengan mengumpulkan data melalui survei dan observasi langsung. Selain itu, penelitian ini juga akan menggunakan analisis statistik untuk menguji hipotesis yang diajukan. Metode penelitian yang digunakan diharapkan dapat memberikan hasil yang akurat dan dapat dipercaya untuk menjawab pertanyaan penelitian yang diajukan. Selanjutnya, data yang diperoleh akan dianalisis secara mendalam untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik mengenai pengaruh teknologi canggih dalam meningkatkan kualitas konstruksi.

Lokasi penelitian dilakukan pada area yang memiliki struktur tanah dengan tipe tanah lunak. Pemilihan area studi dengan karakteristik tanah lunak mungkin membatasi variasi dan generalisasi hasil penelitian, karena kondisi tanah yang spesifik tidak selalu mencerminkan kondisi umum di industri konstruksi secara keseluruhan. Namun, pemilihan area studi dengan tanah lunak juga dapat memberikan wawasan yang berharga tentang bagaimana teknologi dan metode konstruksi yang efisien dapat diimplementasikan dalam kondisi yang tidak ideal. Dengan demikian, hasil penelitian dari area studi ini dapat memberikan panduan yang dapat diterapkan secara luas dalam industri konstruksi, sehingga dapat meningkatkan kualitas konstruksi secara keseluruhan. Selain itu, pemahaman yang mendalam tentang cara mengatasi tantangan yang muncul dalam kondisi tanah lunak juga dapat membantu dalam upaya pencegahan dan perbaikan bangunan yang rentan terhadap kerusakan.

Instalasi PVD dapat menjadi salah satu solusi yang efektif dalam mengatasi masalah tanah lunak. Dengan pemasangan PVD, peningkatan stabilitas tanah dapat tercapai, sehingga risiko kerusakan bangunan akibat perubahan kondisi tanah dapat dikurangi. Selain itu, penggunaan teknologi ini juga dapat mempercepat proses konstruksi dan mengurangi biaya yang diperlukan untuk perawatan jangka panjang. Dengan demikian, penerapan instalasi PVD di area yang dipilih diharapkan dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas konstruksi secara keseluruhan. Penggunaan PVD tersebut dapat bermanfaat sepenuhnya dengan memperhatikan beberapa aspek berikut:

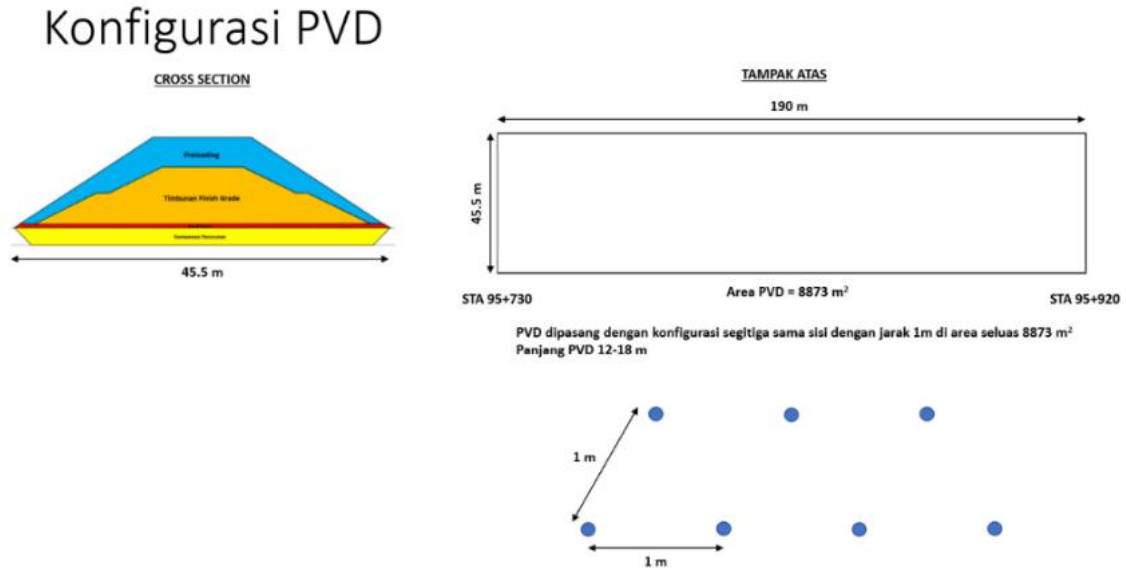
- a. Memantau konsolidasi tanah sebelum dan sesudah pemasangan PVD
- b. Memastikan bahwa PVD berfungsi dengan optimal untuk meningkatkan daya dukung tanah
- c. Mengukur peningkatan kekuatan tanah setelah pemasangan PVD
- d. Menganalisis efektivitas metode ini dalam mengurangi risiko penurunan tanah dan kerusakan bangunan.

Dengan demikian, implementasi PVD dapat menjadi solusi yang efektif dalam mengatasi tantangan konstruksi di area dengan kondisi tanah lunak. Selain itu, penelitian ini juga dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan teknologi konstruksi yang lebih berkelanjutan dan efisien.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Pemasangan PVD yang telah dilakukan berdasarkan informasi yang didapat dipasang dengan pola segitiga sama sisi dengan jarak antar PVD adalah 1 meter. Area pemasangan PVD memiliki luasan 8873 m² dengan panjang pemasangan PVD sedalam 12-18 meter. Berikut ini konfigurasi pemasangan PVD yang telah dilakukan.

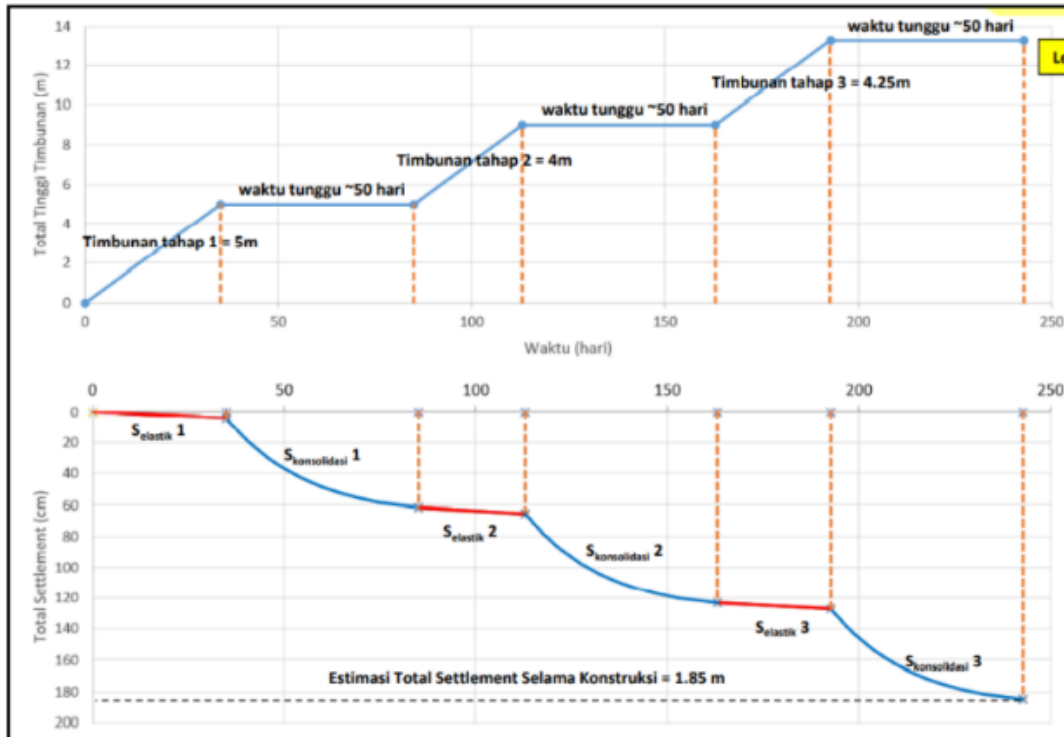


Gambar 1. Konfigurasi rencana pemasangan PVD

Tahapan pelaksanaan pemasangan PVD yang telah dilakukan pada area tanah yang mengalami penurunan sebagai berikut.

1. Persiapan lahan
2. Pemasangan Geotekstil *non-woven* lapis ke-1
3. Penimbunan *Sand Blanket/Platform*
4. Pemasangan *Prefabricated Vertical Drain*
5. Pemasangan Instrumentasi
6. Pemasangan Geotekstil *non-woven* lapis ke-2
7. Penimbunan/*Preloading*
8. Monitoring Instrumentasi

Berdasarkan kebutuhan *load ratio* serta kompensasi penurunan, secara keseluruhan total tinggi timbunan yang dibutuhkan adalah 13,5 meter. Dalam pengerjaannya, timbunan dibagi menjadi 3 tahapan dengan jarak waktu tunggu untuk tiap tahap adalah 50 hari. Berikut ini disajikan alur tahap penimbunan dari tahap 1 sampai tahap 3 beserta rencana tinggi timbunan tiap tahap.



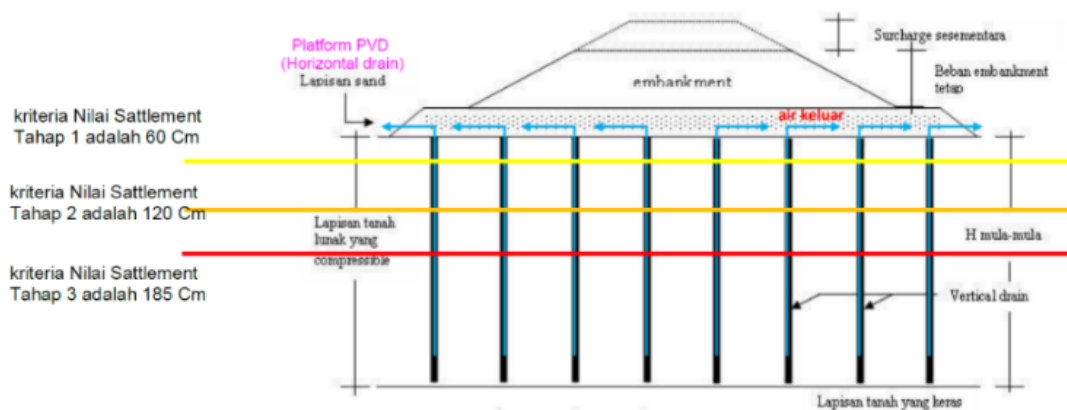
Gambar 2. Kriteria Nilai Settlement yang diizinkan dengan PVD

Dalam perencanaannya, kriteria nilai settlement yang diizinkan untuk tiap tahapan adalah sebagai berikut.

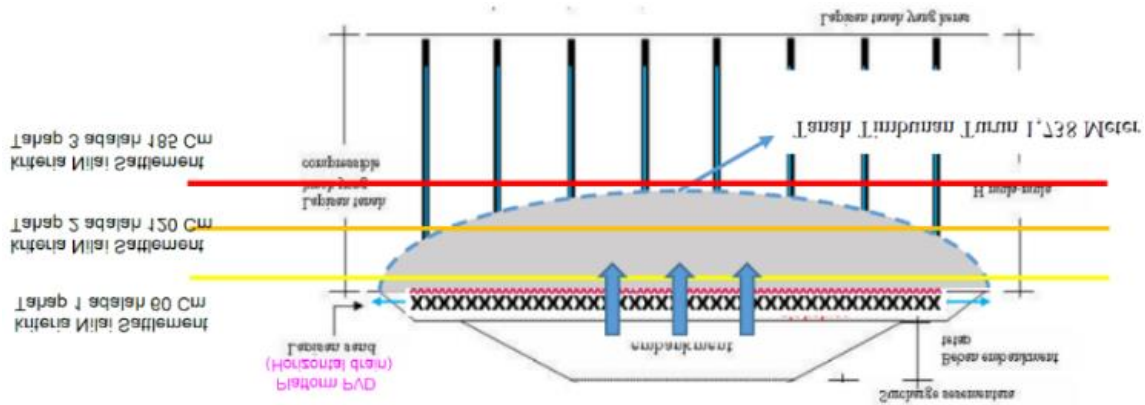
1. *Preloading* tahap 1 = 60 cm
2. *Preloading* tahap 2 = 60 cm
3. *Preloading* tahap 3 = 65 cm

B. Penurunan Konsolidasi yang Terjadi Setelah Tahap Penimbunan

Batas maksimal penurunan timbunan yang diperbolehkan adalah 1,85 meter. Pemantauan penurunan dilakukan dengan menggunakan *Piezometer* dan *Settlement Plate*. Pada tahap pertama penimbunan, penurunan tanah tercatat sebesar 1,74 meter, yang dapat menyebabkan beberapa bagian konstruksi platform PVD mengalami kerusakan. Padahal, berdasarkan kriteria yang ditetapkan, penurunan maksimum yang diizinkan pada preloading tahap pertama adalah 60 cm.

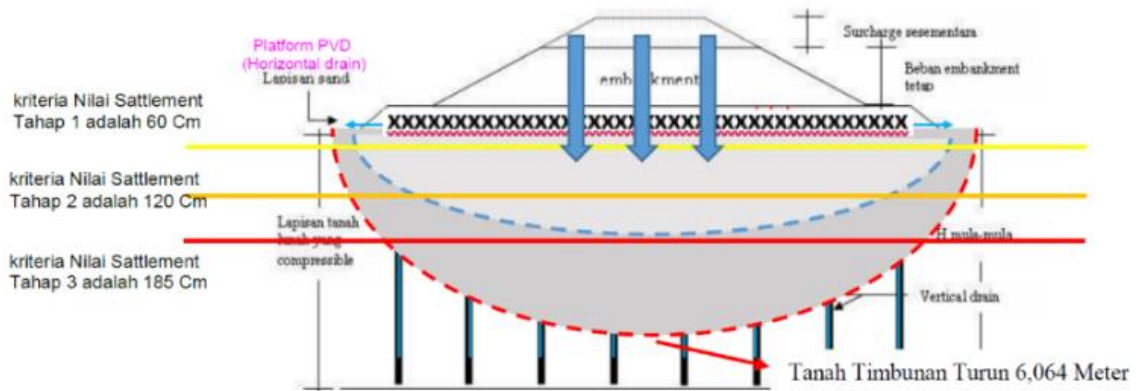


Gambar 3. Kriteria nilai settlement



Gambar 4. Penurunan yang terjadi pada proses penimbunan tahap ke 1

Pekerjaan penimbunan dilanjutkan hingga mencapai elevasi preloading tahap 1. Setelah dilakukan monitoring selama 50 hari, hasil evaluasi menunjukkan penurunan maksimal sebesar 17,7 cm. Kemudian, dilaksanakan preloading tahap 2. Pada tahap ini, terjadi penurunan tanah sebesar 4,35 meter, yang diperkirakan menyebabkan kerusakan pada konstruksi platform dan mengurangi atau bahkan meniadakan fungsi kapasitas surcharge PVD. Penimbunan tetap dilanjutkan hingga mencapai elevasi preloading tahap 2, dengan hasil monitoring menunjukkan bahwa 3 alat *Piezometer* mengalami kerusakan dan 4 alat *Settlement Plate* tidak berfungsi. Ilustrasi penurunan yang terjadi pada penimbunan tahap 2 disajikan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Penurunan yang terjadi pada proses penimbunan tahap ke 2

C. Indikasi Kegagalan Kerusakan Konstruksi Platform dan PVD

Ada tanda-tanda bahwa sebagian konstruksi platform dan PVD rusak akibat penurunan tanah timbunan sekitar 6 meter, sehingga fungsi PVD dalam mempercepat konsolidasi tidak berjalan dengan efektif. Terjadinya penurunan/konsolidasi yang ekstrem kemungkinan disebabkan oleh beberapa hal berikut.

1. Konstruksi platform yang memiliki tujuan sebagai horizontal drain tidak berfungsi dengan baik
2. Kapasitas surcharge PVD sudah sangat kecil dan cenderung tidak berfungsi, sehingga fungsi dari PVD untuk mempercepat konsolidasi dengan pemompaan air bawah tanah secara vertikal tidak bekerja sesuai dengan yang telah direncanakan.

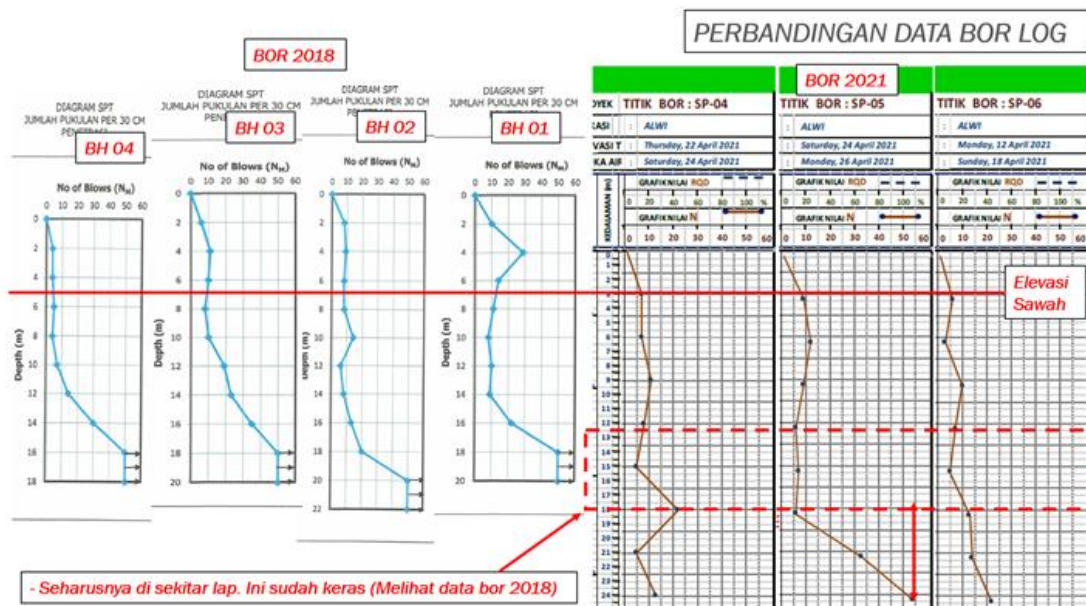
Penanganan berupa PVD yang telah dilakukan dalam pengaplikasiannya belum bekerja secara maksimal sehingga terjadinya kegagalan berupa amblasan yang cukup besar. Dari penanganan awal konstruksi hingga yang terakhir pada proses *preloading* yang dikombinasikan dengan penggunaan PVD apabila dirangkum total penurunan yang terjadi sebagaimana disajikan pada Tabel 1 berikut.

Table 1. Total penurunan yang terjadi sejak awal konstruksi

No	Penanganan yang Dilakukan	Penurunan yang Terjadi (m)
1	Penanganan awal dengan metode striping	0,55
2	Penanganan dengan replace	1
3	Penanganan dengan replace + dolken	1,5
4	Penanganan dengan PVD tahap 1 kombinasi dengan preloading	1,74
5	Penanganan dengan PVD tahap 2 kombinasi dengan preloading	4,35
Total Penurunan		9,14

Setelah sekitar dua tahun melaksanakan berbagai macam upaya penanganan, penurunan tanah di lokasi tersebut tetap berlanjut. Penurunan ini menimbulkan kekhawatiran dan kebutuhan akan langkah-langkah lanjutan yang lebih mendalam. Oleh karena itu, pada bulan April 2021, dilakukan penyelidikan tanah lanjutan yang lebih komprehensif. Penyelidikan ini mencakup pengambilan sampel di 3 titik bor dan 12 titik sondir untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas tentang kondisi tanah saat ini. Dalam upaya untuk memahami perubahan yang terjadi, hasil dari penyelidikan tanah pada bulan April 2021 dibandingkan dengan data bor yang telah dikumpulkan sebelumnya pada bulan September 2019. Proses validasi ini menunjukkan bahwa nilai N-SPT (Standard Penetration Test) pada data terbaru mengalami penurunan. Nilai N-SPT yang lebih kecil menunjukkan bahwa tanah mengalami penurunan dari sebelumnya, sehingga tidak sesuai harapan sebelumnya.

Perencanaan awal pemasangan PVD diasumsikan bahwa tanah akan mengalami pemadatan seiring berjalannya waktu. PVD dirancang untuk mempercepat proses konsolidasi tanah, sehingga tanah seharusnya menjadi lebih padat dan stabil. Namun, hasil penyelidikan terbaru menunjukkan sebaliknya, menandakan bahwa ada faktor-faktor lain yang mungkin mempengaruhi kondisi tanah di lokasi tersebut. Perbandingan data bor dari kedua periode dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Perbandingan data bor sebelum dan sesudah dilakukan penanganan dengan metode PVD dan Preloading

IV. KESIMPULAN

Hasil penyelidikan menunjukkan bahwa pemadatan tanah tidak sesuai dengan asumsi awal, dan faktor-faktor lain mungkin mempengaruhi kondisi tanah. Perbandingan data bor sebelum dan sesudah penanganan dengan metode PVD dan Preloading dapat memberikan gambaran yang lebih jelas tentang efektivitas kedua metode tersebut. Dengan demikian, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui faktor-faktor lain yang mempengaruhi kondisi tanah di lokasi tersebut. Perbandingan data bor sebelum dan sesudah dilakukan penanganan dengan metode PVD dan Preloading dapat memberikan informasi yang penting dalam mengevaluasi efektivitas kedua metode tersebut. Selain itu, hasil penyelidikan juga menegaskan pentingnya melakukan analisis yang komprehensif sebelum melakukan tindakan pemadatan tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penulisan artikel ilmiah ini, kami mengucapkan terima kasih kepada pihak Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa yang telah memberikan banyak dukungan serta pihak-pihak terkait yang membantu mereview artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Wesley, "Mekanika Tanah untuk Tanah Endapan dan Residu," Yogyakarta: Andi, 2010.
- [2] H. C. Hardiyatmo, "Teknik Pondasi I (Edisi Ke Tiga)," Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2016.
- [3] H. M. B. Hursepuny, "Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)," Jilid II Braja M. Das, Jakarta: Erlangga, 1995.
- [4] Panduan Geoteknik Indonesia, "Panduan Geoteknik 1: Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak," Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Jakarta: WSP International, 2001.
- [5] Departmen Pekerjaan Umum, "Persyaratan Perancangan geoteknik SNI-8460-2017," Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2017.
- [6] A. Prasetyo dan A. Prihatiningsih, "Analisis Penggunaan Prefabricated Vertical Drains (PVD) Pada Tanah Lempung Lunak Yang Terdapat Lapisan Lensa," *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol. 3, no. 1, pp. 119-134, Februari 2020. doi: <https://doi.org/10.24912/jmts.v3i1.7047>
- [7] Shendy dan G. Sandjaja, "Metode Perbaikan Tanah Dengan Prefabricated Vertical Drain (PVD) Pada Jalan Tol Serpong-Balaraja Seksi 1B," *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 321–332, Mei 2023. doi: <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i2.21695>
- [8] M. H. M. Hasibuan, B. Pasaribu, dan F. I. Utami, "Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain (PVD) Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera Seksi Tebing Tinggi-Inderapura," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 78–83, Juni 2022. doi: <https://doi.org/10.30743/jtsip.v1i1.5781>
- [9] R. M. Rafi dan I. Aschuri, "Analisis Stabilitas Timbunan dan Perbaikan Tanah Lunak Metode PVD + Preloading Menggunakan Plaxis 2D (Proyek Jalan Tol Padang-Sicincin STA 10+369)," dalam *Prosiding FTSP Seris 6: Seminar Nasional dan Diseminasi Tugas Akhir*, Bandung, 2023, pp. 278-283.
- [10] Z. F. Lilabsari, A. Munawir, Y. Zaika, and A. Rachmansyah, "Evaluasi Kinerja Perbaikan Tanah Lunak Dengan Menggunakan Preloading dan Prefabricated Vertical Drain (PVD)," *Rekayasa Sipil*, vol. 12, no. 2, pp.112 – 117, Feb. 2019. doi: <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2018.012.02.6>



©2024. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).