

Penurunan Tanah Dasar Akibat Beban Timbunan dengan Penerapan *Prefabricated Vertical Drain*

Dyah Pratiwi Kusumastuti

Program S1 Teknik Sipil – Institut Teknologi PLN

Indah Handayasari

Program S1 Teknik Sipil – Institut Teknologi PLN

Irma Sepriyanna

Program S1 Teknik Sipil – Institut Teknologi PLN

ABSTRAK: Jalan dan jembatan yang dibangun diatas tanah lunak seringkali mengalami kegagalan seperti retak-retak, penurunan dan keruntuhan. Hal tersebut disebabkan karakteristik tanah lunak yang memiliki daya dukung rendah, kemampumampatan besar dan proses konsolidasi yang memakan waktu lama. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dapat dilakukan dengan perbaikan yang tepat. Khususnya untuk mengatasi waktu konsolidasi yang lama dapat digunakan dengan menggunakan drainase vertikal yang dikombinasikan dengan timbunan baik yang bersifat permanen maupun prapembebanan. Pada penelitian menggunakan drainase vertikal pabrikan atau *prefabricated drain* (PVD) tipe CT-D822 dan variasi jarak atau spasi 0,8; 1; 1,1 dan 1,3 yang dikombinasikan dengan beban timbunan dengan variasi 16 t/m², 17 t/m², 18 t/m², 19 t/m², 20 t/m². Berdasarkan hasil penelitian dengan tinggi timbunan akhir rencana 8,50 m diperoleh pada derajat konsolidasi 90% , PVD dipasang dengan jarak 1 m selama 10 minggu menghasilkan penurunan 3,807 m.

Kata Kunci: waktu konsolidasi, drainase vertikal, timbunan

ABSTRACT: Roads and bridges built on soft soil often experience failures such as cracks, subsidence and collapse. This is due to the characteristics of soft soil which has low bearing capacity, high compressibility and the consolidation process that takes a long time. To overcome these problems can be done with appropriate repairs. In particular to overcome the long consolidation time can be used by using vertical drainage combined with embankment both permanent and pre-loading. In this study, using a factory vertical drainage or prefabricated drain (PVD) type CT-D822 and variations in distance or spacing of 0.8; 1; 1.1 and 1.3 combined with embankment loads with variations of 16 t/m², 17 t/m², 18 t/m², 19 t/m², 20 t/m². Based on the results of the study with the final embankment height of 8.50 m obtained at 90% consolidation degree, PVD installed at a distance of 1 m for 10 weeks resulted in a decrease of 3.807 m.

Keywords: time of consolidation, vertical drainage, embankment

1 PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan atau jembatan memiliki peranan penting dalam meningkatkan perekonomian suatu wilayah. Namun pembangunannya tidak lepas dari berbagai permasalahan, salah satu permasalahan yang sering dijumpai adalah ketika konstruksi jalan atau jembatan berdiri diatas tanah lunak. Hal ini yang dapat menyebabkan kerusakan seperti retak-retak sampai keruntuhan karena tanah lunak memiliki daya dukung yang rendah dan penurunan yang besar, Kusumastuti et al. (2019) serta waktu konsolidasi yang cukup

lama, Nooe et al. (2010) karena nilai koefisien permeabilitas yang rendah, Chairani (2020).

Untuk mengatasi permasalahan-permasalahan yang terjadi pada tanah lunak dapat dilakukan dengan perbaikan seperti stabilisasi mekanis dengan penambahan pasir, Pradita et al. (2019) dan penggunaan bahan sintesis seperti geotekstil dan *vertical drain* dan pra pembebanan, Putra et al. (2020) serta stabilisasi kimiawi, Kusumastuti et al. (2019). Namun pemilihan metode perbaikan harus tepat agar permasalahan dapat teratasi dengan baik. Salah satunya adalah pemasangan *vertical drain* yang dikombinasikan dengan pra

pembebanan yang memiliki tujuan tercapainya penurunan akhir tanah lunak dengan mempersingkat waktu konsolidasi, Chairani (2020). Penggunaan *vertical drain* sendiri dapat terjadinya aliran arah horisontal dan vertikal yang menyebabkan air pori pada lapisan tanah dapat keluar lebih cepat, Aspar et al. (2017).

Kasus yang terjadi pada penelitian ini adalah ditemuinya lapisan tanah lunak yang cukup tebal sehingga dapat mengancam stabilitas konstruksi di atasnya. Penerapan pra pembebanan yang dikombinasikan *vertical drain* dengan variasi jarak dipilih untuk mendapatkan penurunan dan waktu konsolidasi sesuai rencana.

2 METODE

Langkah awal penelitian adalah dengan mengumpulkan data tanah dari pengujian *Standar Penetration* (SPT) dan uji laboratorium karakteristik fisik serta mekanik. Data-data yang diperoleh kemudian diinterpretasikan, jika terdapat data yang tidak diperoleh dari hasil pengujian maka akan dilengkapi dengan menggunakan korelasi. Data tanah yang digunakan dalam analisis, tidak hanya data tanah dasar tetapi juga data tanah timbunan sebagai pra pembebanan yang diterapkan.

Setelah pengumpulan dan interpretasi data tanah, dilakukan penentuan atau perencanaan PVD yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan PVD tipe CT-D822, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Berat = 75 gr/m

Lebar = 100 mm

Tebal = 4 mm

Tensile Strength = 2,75 kN

PVD direncanakan terpasang dengan pola segitiga (Gbr. 1) dan variasi jarak 0,8 m; 1 m; 1,1 m dan 1,3 m.



Gbr. 1. Pola Segitiga Pada Pemasangan PVD.

Untuk mengetahui efektifitas pemasangan PVD, maka dianalisis penurunan dan waktu konsolidasi kondisi eksisting dan kondisi dengan pemasangan PVD. Penurunan dan

waktu konsolidasi dengan pemasangan PVD akan dipilih dengan derajat konsolidasi 90% pada jarak yang efisien.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Tanah

Data tanah dasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah dari uji SPT, uji di laboratorium dan korelasi. Diketahui dari hasil uji SPT pada titik A1 bahwa ketebalan tanah yang memiliki sifat kompresibel ditandai dengan nilai N-SPT ≤ 10 mencapai kedalaman 23 m dan letak muka air tanah pada kedalaman 2 m. Adanya lapisan tanah yang mudah mampat pada titik bor A1 yang cukup tebal, berpotensi menyebabkan terjadi penurunan yang tidak seragam sehingga mengakibatkan kerusakan pada struktur maupun pondasi.

Berdasarkan nilai N-SPT, untuk kebutuhan analisis maka parameter tanah didapatkan dengan menggunakan korelasi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Tanah.

TITIK BOR		A1			
DLM (m)	N-SPT	Deskripsi	γ_{sat}	c_u	ϕ
			kN/m ³	kN/m ²	
0	0.0	Lanau lempung pasir, very soft	14,7	5	
2	4.0				
4	5.0	Lanau lempung pasir, soft	16,2	50	
6	6.0	Lempung lanau, medium	16,7	80	
8	8.0				
10	6.0				
12	7.0				
14	10.0				
16	8.0				
18	6.0	Lanau lempung pasir, soft	16,2	50	
20	7.0				
22	10.0				
24	5.0				
26	22.5	Lanau lempung pasir, medium - stiff	19,1	150	

TITIK BOR		A1			
DLM (m)	N-SPT	Deskripsi	γ_{sat} kN/m ³	C_u kN/m ²	ϕ
28	38.0	Kerikil pasiran, dense	17,5	241	3
30	38.5				3
32	38.0	Lanau lempung pasiran, very hard	25,0	241	7
34	30.0				7
36	38.5				7
38	38.0				7
40	38.5				7

Nilai parameter tanah berdasarkan korelasi dengan nilai N-SPT yang digunakan dalam perhitungan atau analisis penurunan hanya sampai kedalaman 23 m yang seluruhnya merupakan lapisan kompresibel atau mudah mampat. Sedangkan untuk data tanah timbunan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Berat volume timbunan, $\gamma_t = 1,79 \text{ t/m}^3$
 Kohesi, $c = 0$
 Sudut geser, $\phi = 30^\circ$
 dengan rencana penampang timbunan (Gbr. 2).



Gbr. 2. Desain Penampang Timbunan.

3.2 Penurunan

Analisis penurunan pada penelitian terdiri dari penurunan konsolidasi akibat beban timbunan (q_0) dan penurunan akibat beban perkerasan yang berada diatas tanah timbunan (q_{pav}). Beban timbunan yang diterapkan dalam perhitungan penurunan bervariasi mulai 16 t/m^2 , 17 t/m^2 , 18 t/m^2 , 19 t/m^2 , 20 t/m^2 . Untuk beban perkerasan diatas tanah timbunan diasumsikan sebagai beban trapesium sebesar $1,2 \text{ t/m}^2$.

Perhitungan penurunan konsolidasi menggunakan persamaan sebagai berikut:

a. Jika $P'_o + 2\Delta P > P'_c$

$$S_c = \frac{C_s H}{1+e_o} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} + \frac{C_c H}{1+e_o} \log \left(\frac{\sigma'_o + \Delta \sigma'}{\sigma'_c} \right) \quad (1)$$

b. Jika $P'_o + 2\Delta P < P'_c$

$$S_c = \frac{C_s H}{1+e_o} \log \left(\frac{\sigma'_o + \Delta \sigma'}{\sigma'_o} \right) \quad (2)$$

Penurunan dihitung pada lapisan tanah dengan interval 1 m sampai 23 m yang merupakan lapisan akhir tanah kompresibel. Hasil perhitungan penurunan akibat beban timbunan dan beban perkerasan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Penurunan Konsolidasi Akibat Beban Timbunan dan Perkerasan.

Q_{timb} t/m ²	$S_{c_{timb}}$ M	$S_{c_{pav}}$ m	$S_{c_{tot}}$ m
16	4,204	0,054	4,258
17	4,376	0,052	4,428
18	4,541	0,049	4,590
19	4,699	0,047	4,747
20	4,851	0,046	4,897

3.3 Tinggi Timbunan

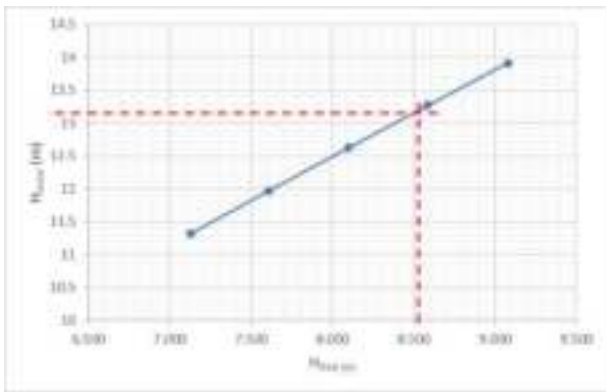
Tinggi timbunan yang digunakan dalam perhitungan penurunan akan berbeda dengan tinggi timbunan saat pelaksanaan di lapangan. Tinggi timbunan saat pelaksanaan harus lebih tinggi dari tinggi rencana karena timbunan akan mengalami penurunan sehingga tinggi timbunan pelaksanaan akan memenuhi tinggi rencana. Untuk perhitungan tinggi timbunan terdiri dari tinggi pelaksanaan ($H_{initial}$), tinggi akhir (H_{final}) dan tinggi bongkar ($H_{bongkar}$).

Perhitungan tinggi timbunan juga menerapkan beban timbunan yang bervariasi seperti pada perhitungan sebelumnya. Hasil perhitungan tinggi timbunan dapat dilihat pada Tabel 3.

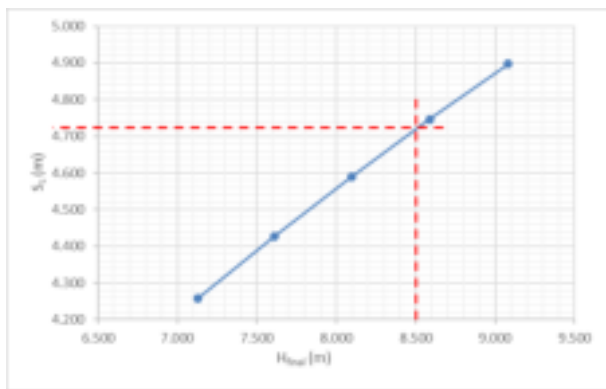
Tabel 3. Tinggi Timbunan dengan Penerapan Beban Timbunan.

Q_{timb} t/m ²	$H_{initial}$ m	$H_{bongkar}$ m	H_{pav} m	H_{final} m
16	11,317	0,432	0,5	7,127
17	11,971	0,432	0,5	7,611
18	12,620	0,432	0,5	8,098
19	13,266	0,432	0,5	8,587
20	13,909	0,432	0,5	9,079

Berdasarkan hasil perhitungan penurunan dan tinggi timbunan, akan ditentukan tinggi pelaksanaan berdasarkan tinggi akhir rencana timbunan di lapangan (Gbr. 3). Untuk kemudian berdasarkan penentuan tinggi akhir akan didapatkan besarnya penurunan (Gbr. 4).



Gbr. 3. Hubungan Tinggi Timbunan Pelaksanaan ($H_{initial}$) dengan Tinggi Timbunan Akhir (H_{final}).



Gbr. 4. Hubungan Tinggi Timbunan Pelaksanaan ($H_{initial}$) dengan Total Penurunan (S_c total).

Dari Gbr. 3 yang merupakan grafik hubungan hasil perhitungan tinggi timbunan pelaksanaan dengan tinggi timbunan akhir, jika tinggi akhir yang diinginkan adalah 8,5 m maka tinggi timbunan pelaksanaan yang harus dikerjakan adalah 13,15 m. Sedangkan dari Grafik 4 yang merupakan grafik hubungan tinggi timbunan pelaksanaan dengan total penurunan, jika tinggi timbunan akhir yang direncanakan adalah 8,5 m akan didapatkan totalnya penurunan sebesar 4,720 m.

3.4 Waktu Konsolidasi

Perhitungan waktu konsolidasi pada penelitian ini dilakukan sebelum penggunaan PVD dan setelah penggunaan PVD. Hal tersebut untuk mengetahui efisiensi waktu konsolidasi dengan adanya penggunaan PVD. Perhitungan waktu konsolidasi tanpa PVD dengan menggunakan data-data sebagai berikut:

$$T_v = 0,848 \text{ (} U = 90\% \text{)}$$

$$H_{dr} = 24 \text{ m}$$

$$C_v \text{ rata-rata} = 1,222 \text{ m}^2/\text{tahun}$$

Maka didapatkan 20.838,08 minggu atau 399,63 tahun.

Untuk perhitungan penurunan kumulatif setiap tahun dihitung dengan dua kondisi air pori tanah (\bar{U}_v), yaitu:

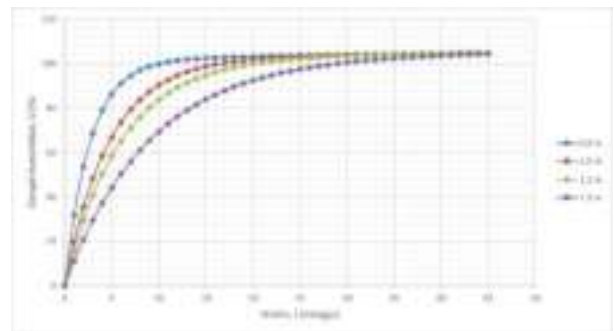
- U_v antara 0 s/d 60%
 Didapatkan $\bar{U}_v = 5,199\%$
- $U_v > 60\%$
 Didapatkan $\bar{U}_v = 19,35\%$

Sehingga untuk kondisi satu tahun dipilih nilai $\bar{U}_v = 5,199\%$ dengan besarnya penurunan selama satu tahun adalah 0,221 m.

Selanjutnya berdasarkan waktu, besarnya derajat konsolidasi dan penurunan didapatkan waktu untuk mencapai U 90% adalah 300 tahun dengan besarnya penurunan sebesar 3,825 m. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai U 90% cukup lama, sehingga dibutuhkan bantuan bahan lain agar proses pemampatan lebih cepat. Salah satu bahan yang sering digunakan adalah dengan menggunakan *prefabricated vertical drain* (PVD).

3.5 Perencanaan PVD

Hasil perhitungan tanpa menggunakan PVD, waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi yaitu 300 tahun, sehingga perlu penggunaan PVD untuk mempercepat waktu proses pemampatan. Pada penelitian direncanakan PVD dipasang dengan pola atau susunan segitiga menggunakan PVD tipe CT-D822.



Gbr. 5. Waktu Konsolidasi dan Derajat Konsolidasi dengan Penggunaan PVD Pola Segitiga.

Berdasarkan hasil perhitungan waktu dan derajat konsolidasi seperti yang ditampilkan pada Gbr. 5, terlihat bahwa semakin jauh jarak pasang PVD dengan derajat konsolidasi yang sama maka waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses konsolidasi semakin lama. Untuk derajat konsolidasi 90%, waktu yang dibutuhkan untuk jarak pasang PVD 0,8 m; 1,0 m; 1,1 m dan 1,3 m berturut-turut adalah

6 minggu, 10 minggu, 13 minggu dan 18 minggu. Sesuai dengan waktu pelaksanaan proyek sehingga dipilih jarak pasang PVD 1,0 m dengan waktu selesai proses konsolidasi 90% adalah 10 minggu.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis penelitian dapat disimpulkan bahwa dengan tinggi akhir timbunan sesuai rencana pelaksanaan 8,5 m yang memiliki tebal lapisan tanah kompresibel 24 m akan mengalami penurunan total 4,720 sehingga tinggi awal timbunan yang diperlukan adalah 13,15 m. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses konsolidasi dengan derajat konsolidasi 90% akan memakan waktu selama 300 tahun dengan penurunan 3,825 m.

Dengan waktu konsolidasi yang sangat lama, sehingga digunakan PVD untuk mempercepat waktu konsolidasi. Sesuai dengan kebutuhan pelaksanaan proyek maka waktu konsolidasi yang dibutuhkan dengan derajat konsolidasi 90% dan jarak pemasangan PVD 1,0 m adalah 10 minggu.

PENGHARGAAN

Ucapan terima kasih kepada Rektor dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) dari Institut Teknologi PLN untuk bantuan dana Hibah Internal kegiatan Penelitian Dosen Pemula 2020/2021

dan semua pihak yang telah membantu kegiatan Penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA - REFERENCES

- Aspar, W. A. N., Fitriani, E. N., & Arthono, A. 2017. Perhitungan Kembali Nilai Koefisien Konsolidasi Pada Perbaikan Tanah Lempung Lunak. *Teknologi* 7(1).
- Chairani, P. A. 2020. Perancangan Efektivitas Perbaikan Tanah Dengan Menggunakan Metode Prefabricated Vertical Drain. *Indonesian Journal of Construction Engineering and Sustainable Development (Cesd)*, 3(2): 110. <https://doi.org/10.25105/cesd.v3i2.8553>
- Kusumastuti, D. P., & Sepriyanna, I. 2019. Soft Soil Stabilization with Rice Husk Ash and Glass Powder Based on Physical Characteristics. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 650(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/650/1/012025>
- Kusumastuti, Dyah Pratiwi, & Sepriyanna, I. S. 2019. Pengaruh Penambahan Serbuk Kaca Dan Abu Sekam Pada Tanah Lunak Berdasarkan Uji Konsolidasi. *Forum Mekanika* 8(2): 63–70. <https://doi.org/10.33322/forummekanika.v8i2.882>
- Noor, A. A., & SH, P. 2010. Analisis Deformasi Vertikal dan Horizontal Tanah Lunak Di Bawah Piled-Geogrid Supported Embankment (Analysis of Horizontal and Vertical Deformation of Soft Soil Below Piled- Geogrid Supported Embankment). *Dinamika Rekayasa* 6(2): 39–43.
- Pradita, Y. A., & Putri, C. A. 2019. Analisis Penurunan Tanah Lunak Akibat Penimbunan Bertahap. *Prosiding Seminar Intelektual Muda*: 374–377.
- Putra, C. E., & Makarim, C. A. 2020. Analisis Alternatif Perbaikan Tanah Lunak dan Sangat Lunak Pada Jalan Tol. *Jurnal Mitra Teknik Sipil* 3(4): 1137–1150.