

APLIKASI PREFABRICATED VERTICAL DRAIN (PVD) UNTUK STABILISASI TANAH DASAR PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALUR GANDA KERETA API DI KM 437+300 SAMPAI KM 438+500 GOMBONG, KEBUMEN.

Ayu Prativi¹, Email : ayu.prativi@pengajar.api.ac.id
Septiana Widi Astuti², Email : septiana@api.ac.id
Ahmad Ependi³, Email : ependi@api.ac.id

^{1,2,3} Teknik Bangunan dan Jalur Perkeretaapian, Akademi Perkeretaapian Indonesia Madiun

ABSTRAK

Tanah dasar pada proyek pembangunan jalur ganda kereta api di KM 437+300 sampai KM 438+500 Gombong, Kebumen merupakan tanah lunak ($N-SPT < 15$) sehingga memerlukan upaya perbaikan tanah untuk menghindari terjadinya penurunan tanah melebihi penurunan tanah yang diijinkan, yaitu sebesar 20cm. Dalam penelitian ini direncanakan upaya perbaikan tanah dasar menggunakan Prefabricated Vertical Drain (PVD) untuk mempercepat proses pemampatan tanah akibat beban tanah timbunan badan jalan rel, beban konstruksi jalan rel, dan beban kereta api yang melintas. Hasil analisis pemampatan menunjukkan bahwa tanah dasar akan mengalami penurunan tanah sebesar 0,524m. Waktu konsolidasi alami yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% adalah selama 268,9 tahun. Sedangkan, waktu konsolidasi untuk mencapai derajat konsolidasi 90% menggunakan PVD berjarak 0,8 m dengan pola segitiga dan segiempat adalah selama 15 minggu dan 18 minggu. Penanaman PVD pada kedua pola tersebut adalah sedalam 24 m.

Kata kunci: penurunan tanah, timbunan, prefabricated vertical drain (PVD), jalur ganda kereta api

ABSTRACT

The subgrade on the railway double track construction project in KM 437 + 300 to KM 438 + 500 Gombong, Kebumen is soft soil ($N-SPT < 15$) so that it requires efforts to improve the soil to avoid land degradation beyond the allowable land subsidence, which is equal to 20cm. In this study planned efforts to improve subgrade using Prefabricated Vertical Drain (PVD) to accelerate the process of soil compression due to soil loads of railroad body dumps, railroad construction loads, and the burden of passing trains. The results of the compression analysis indicate that the subgrade will experience land subsidence of 0.524m. The natural consolidation time needed to achieve a 90% consolidation degree is for 268.9 years. Meanwhile, the consolidation time to achieve a consolidation degree of 90% using PVD is 0.8 m with a triangle and quadrilateral pattern for 15 weeks and 18 weeks. PVD planting in both patterns is 24 m deep.

Keywords: land subsidence, heaps, prefabricated vertical drain (PVD), railway double lanes

1. PENDAHULUAN

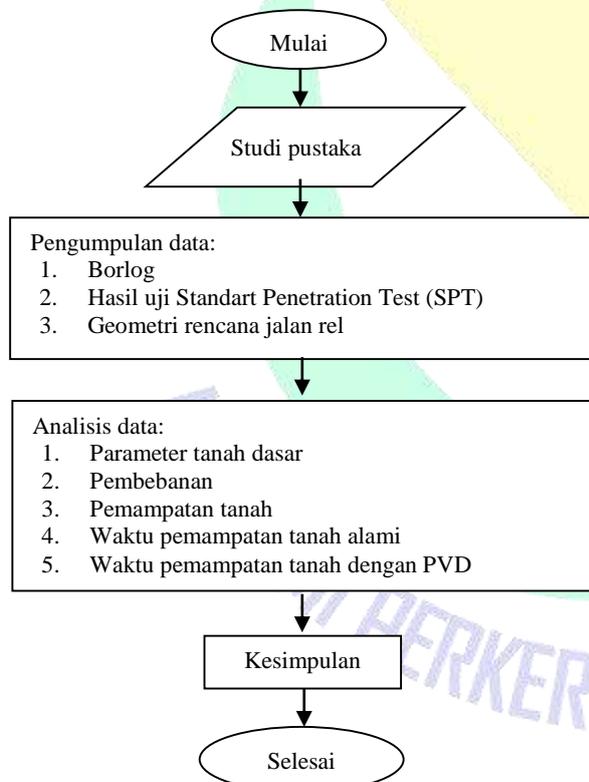
Dewasa ini jumlah pengguna jasa angkutan kereta api terus mengalami peningkatan drastis sejak pemerintah bertekad untuk meningkatkan fasilitas pelayanan dan kenyamanan angkutan umum ini. Menanggapi jumlah pengguna jasa

yang terus meningkat tersebut, maka Kementerian Perhubungan mengadakan proyek pembangunan jalur ganda kereta api di Pulau Jawa. Dalam pembangunan jalur ganda, sering kali lokasi timbunan badan jalan berada di atas tanah lunak. Tanah lunak merupakan tanah

dengan sifat-sifat yang tidak memenuhi syarat teknis untuk dapat menahan konstruksi di atasnya. Tanah ini bersifat kompresibel dan sangat berpotensi mengalami penurunan tanah ketika menopang beban konstruksi di atasnya. Sedangkan dalam PM Perhubungan No. 60 tahun 2012 disyaratkan penurunan tanah maksimum yang diijinkan pada jalur perkeretaapian adalah sebesar 20 cm. Salah satu upaya untuk memperbaiki sifat tanah kompresibel adalah dengan menggunakan Prefabricated Vertical Drain (PVD). Kombinasi antara penanaman PVD dan penerapan beban *surchage* maupun *preloading* akan mempercepat proses penurunan tanah dan memperbaiki sifat-sifat tanah sehingga tanah menjadi lebih stabil. Di dalam penelitian ini membahas mengenai upaya perbaikan tanah dasar jalur ganda kereta api di KM 437+300 sampai KM 438+500 daerah Gombang, Kebumen, Jawa Tengah.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam perencanaan upaya perbaikan tanah menggunakan PVD ditampilkan dalam Gambar 1.

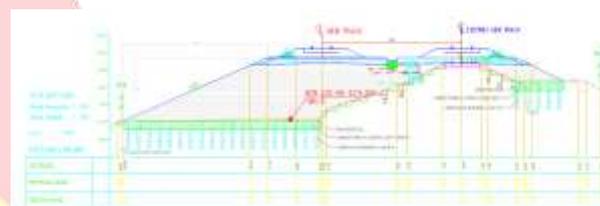


Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Geometri Timbunan

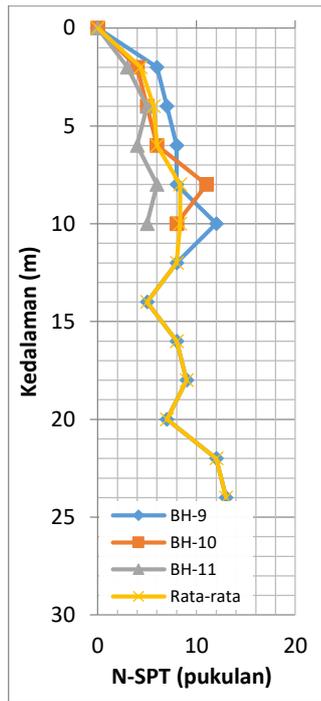
Dalam penelitian ini digunakan geometri timbunan rencana pada KM 437+300 m seperti yang ditampilkan dalam Gambar 2. Tinggi timbunan akhir yang direncanakan adalah 3 m dengan kemiringan lereng sebesar 1:2.



Gambar 2. Geometri jalur ganda KM 437+300 m di Gombang, Kebumen.

3.2. Parameter tanah

Parameter tanah timbunan yang direncanakan memiliki berat volume tanah 1,7 ton/m³. Sedangkan parameter tanah dasar yang digunakan dalam penelitian ini ditentukan menggunakan metode korelasi hasil pengujian Standar Penetration Test (SPT). Hasil uji SPT pada BH-9, BH-10, dan BH-11 ditampilkan dalam Gambar 3. Karena N-SPT pada seluruh borhole memiliki nilai yang cenderung sama, maka data N-SPT pada setiap borhole dirata-rata. Hasil korelasi N-SPT dengan parameter tanah ditampilkan dalam Tabel 1. Berdasarkan nilai N-SPT rata-rata, diketahui pula bahwa jenis tanah yang dianalisis adalah tanah yang lunak dan berada pada permukaan tanah hingga kedalaman 24 m.



Gambar 3. Nilai N-SPT pada BH-9, BH-10, BH-11, dan N-SPT rata-rata

Tabel 1. Hasil korelasi N-SPT dengan parameter tanah dasar

Parameter	Tanah dasar
γ_{sat}	1,6 ton/m ³
γ_m	
γ'	0,819 ton/m ³
e	2,0
C _c	0,7
C _s	0,3
C _v	0,0004 cm ² /det

3.3. Perhitungan beban preloading

Beban preloading yang direncanakan adalah beban lokomotif, beban rel, beban bantalan, beban balas + subbalas. Beban statis lokomotif (P_s) tipe C202 adalah 9 ton. Jika digunakan kecepatan rencana maksimum 100 km/jam, maka faktor pengaruh beban dinamis kereta api adalah sebagai berikut:

$$\phi = 1 + \frac{v^2}{3 \times 10^4} = 1 + \frac{100^2}{3 \times 10^4} = 1.33$$

Sehingga beban dinamis kereta api adalah:

$$P_{din} = 11.97 \times 1.33 \times \frac{0.6}{1.75} = 4.1 \text{ ton/m}^2$$

Beban rel R54 adalah 0.05 ton/m² dan beban bantalan untuk rel dengan lebar 1067 mm adalah 0.458 ton/m². Sedangkan tekanan balas dan subbalas dengan tebal total 0,75 m dengan γ_{balas} 1,045 ton/m³ adalah 1,09 ton/m².

3.4. Perhitungan beban surcharge

Perhitungan beban surcharge dilakukan secara *trial and error* untuk dapat mengetahui tinggi inisial (H_{initial}) timbunan yang dapat memampatkan tanah hingga tinggi akhir (H_{final}) timbunan rencana. Beban surcharge ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Variasi Beban (q_{timb}) dan Tinggi Timbunan (h_{timb})

q _{timb} (t/m ²)	h _{timb} (m)
6	3,33
8	4,44
10	5,56
12	6,67
14	7,78

3.5. Tinggi timbunan awal dan akhir

Hasil analisis pemampatan tanah pada setiap variasi beban ditampilkan dalam Tabel 3. Dalam tabel tersebut ditunjukkan besarnya pemampatan total akibat beban surcharge dan beban preloading. Data pemampatan total tersebut kemudian digunakan untuk memperkirakan tinggi timbunan inisial (H_{initial}) seperti ditampilkan dalam Tabel 4. Agar timbunan memampat mencapai elevasi timbunan rencana (H_{final}) yaitu 3 m di atas elevasi tanah dasar, maka timbunan harus dipangkas dengan ketebalan yang ekuivalen dengan beban preloading (H_{bongkar}). Perhitungan untuk menentukan H_{bongkar} adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Tekanan bantalan, } \sigma_2 &= \frac{P_{din} + P_{bantalan}}{A} \\ &= \frac{4,1 + 0,458}{2 \times 0,26} \\ &= 7,98 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

Tekanan balas:

$$L = b + 2x = 26 + 2 \times 106 = 238 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned} \sigma_3 &= \frac{b}{L} \cdot \sigma_2 \\ &= \frac{0,26}{2,38} \times 7,98 = 0,87 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

Tekanan yang diterima subgrade, $\sigma_4 = \sigma_1 + \sigma_3 = 1.09 + 0.87 = 1.96 \text{ ton/m}^2$.

$$H_{bongkar} = \frac{\sigma_4}{\gamma'_{timb}} = \frac{1,96}{0,819} = 2.4 \text{ m.}$$

Setelah $H_{bongkar}$ diketahui, tinggi timbunan akhir (H_{final}) dapat ditentukan dengan mengurahi $H_{inisial}$ dengan $H_{bongkar}$. Hasil dari perhitungan H_{final} ditampilkan dalam Tabel 4. Data pada tabel tersebut kemudian diplot menjadi grafik hubungan antara $H_{inisial}$ dan H_{final} pada Gambar 4. Selain itu, data pada Tabel 4 juga diplot menjadi grafik hubungan antara H_{final} dengan pemampatan (S_c) pada Gambar 5. Berdasarkan kedua gambar tersebut, nilai $H_{inisial}$ dan pemampatan tanah (S_c) yang terjadi agar timbunan mengalami konsolidasi mencapai H_{final} yang direncanakan dapat ditentukan menggunakan persamaan regresi.

Tinggi timbunan awal berdasarkan persamaan regresi dalam Gambar 4 jika $H_{final} = 3m = x$

$$H_{awal} = y = 0.9945x + 2.9338$$

$$= 0.9945 \times 3 + 2.9338 = 5.9 \text{ m}$$

Sedangkan penurunan tanah (S_c) akibat beban berdasarkan persamaan regresi dalam Gambar 5 yaitu:

$$S_c = y = 0.0009x^2 - 0.0114x + 0.5498$$

$$= 0.0009 \times (3^2) - 0.0114 \times (3) + 0.5498$$

$$= 0.524 \text{ m.}$$

Kontrol:

$$H_{awal} - H_{bongkar} - S_c = 5.9 - 2.4 - 0.524 = 2.976 \approx 3$$

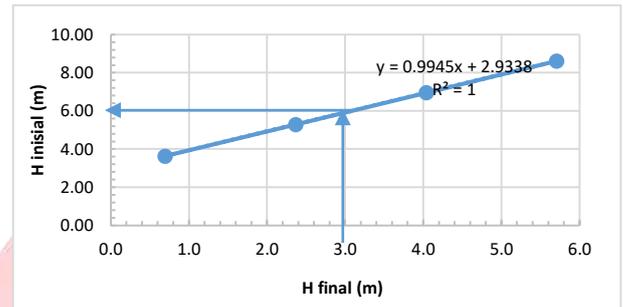
$$H_{final} = H_{awal} - H_{bongkar} - S_c$$

Tabel 3. Hasil Perhitungan Pemampatan (S_c)

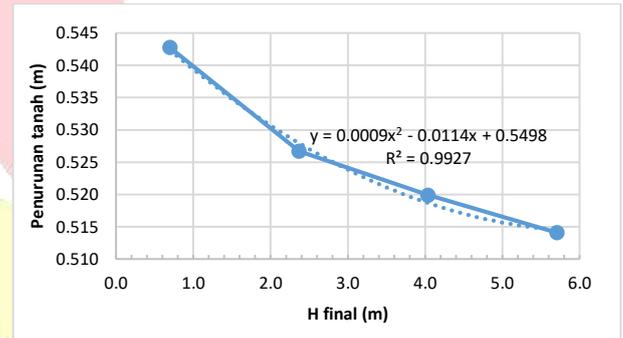
q_{imb} (t/m^2)	Settlement, S_c (m)				
	timbunan	balas	rel+bantalan	lokomotif	Total
6	0,376	0,092	0,0062	0,068	0,5428
9	0,394	0,080	0,0040	0,049	0,5267
12	0,409	0,071	0,0029	0,037	0,5199
15	0,418	0,065	0,0022	0,029	0,5141

Tabel 4. Hasil Perhitungan Tinggi Awal ($H_{inisial}$) dan Tinggi Akhir (H_{final}) Timbunan

q_{imb} (t/m^2)	Settlement total, S_c (m)	$H_{inisial}$ (m)	$H_{bongkar}$ (m)	H_{final} (m)
6	0,5428	3,629	2,390	0,696
9	0,5267	5,287	2,390	2,370
12	0,5199	6,950	2,390	4,040
15	0,5141	8,614	2,390	5,709



Gambar 4. Grafik hubungan H_{final} dengan $H_{inisial}$ timbunan



Gambar 5. Grafik hubungan H_{final} dengan pemampatan (S_c)

3.6. Waktu konsolidasi alami pada derajat konsolidasi 90%

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, diketahui bahwa tebal lapisan kompresibel dalam penelitian ini adalah 24 m. Tebal lapisan kompresibel ini merupakan panjang jalur drainasi (H_{dr}). Parameter koefisien konsolidasi (C_v) pada Tabel 1 adalah $0,004 \text{ cm}^2/\text{detik}$. Sedangkan untuk parameter faktor waktu (T_v) pada derajat konsolidasi 90% adalah 0,848. Dengan demikian waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% telah dapat ditentukan sebagai berikut:

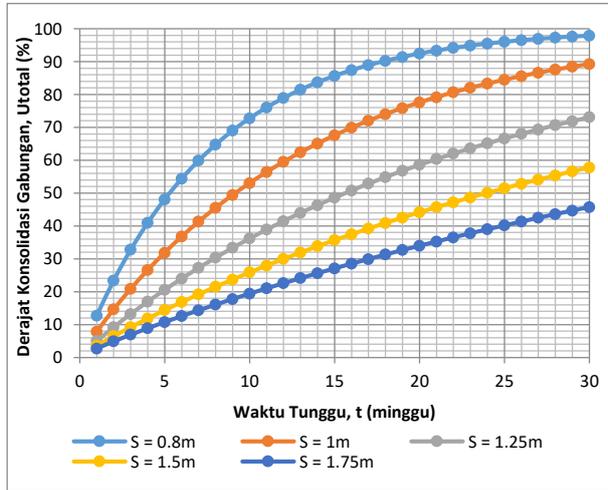
$$t = \frac{T_v \cdot (H_{dr})^2}{C_v} = \frac{0.848 \cdot 2000^2}{0.0004} = 8480000000 \text{ detik}$$

$$= 268.9 \text{ tahun.}$$

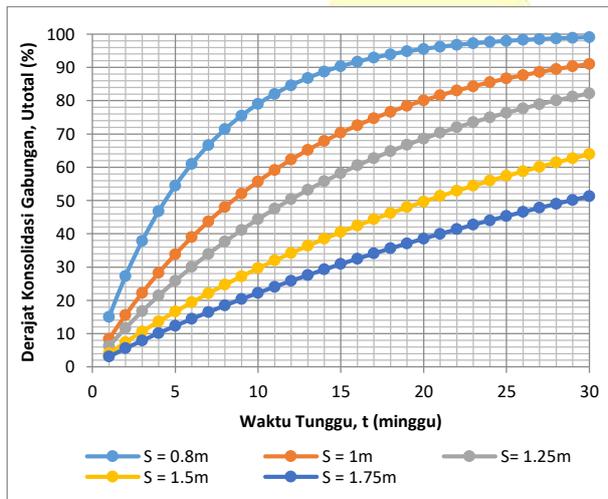
3.7. Waktu konsolidasi menggunakan PVD pada derajat konsolidasi 90%

Kedalaman pemasangan PVD dilakukan sedalam lapisan tanah kompresibel, yaitu tanah dengan kategori sangat lunak, lunak, dan medium. Tanah dengan kategori tersebut merupakan tanah dengan nilai $N-SPT < 15$ pukulan. Sehingga sesuai dengan pembahasan sebelumnya bahwa lapisan tanah kompresibel adalah sedalam 26m.

Koefisien konsolidasi arah radial atau horisontal (C_h) umumnya berkisar antara 2 sampai 5 kali dari nilai C_v . Dalam penelitian ini diambil $C_h = 2.C_v$, sehingga:
 $C_h = 2 \times 241.92 \text{ cm}^2/\text{minggu}$
 $= 483.84 \text{ cm}^2/\text{minggu}$.



Gambar 6. Grafik hubungan antara waktu tunggu terhadap derajat konsolidasi pada pemasangan PVD dengan pola segiempat



Gambar 7. Grafik hubungan antara waktu tunggu terhadap derajat konsolidasi pada pemasangan PVD dengan pola segitiga

Grafik hubungan antara waktu tunggu terhadap derajat konsolidasi pada pemasangan PVD dengan pola segiempat dan segitiga ditampilkan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Berdasarkan kedua gambar tersebut, waktu tunggu konsolidasi 90% pada pemasangan PVD sampai kedalaman 24 m menggunakan pola segiempat dengan jarak antar PVD (S) 0.8 m adalah selama 18 minggu. Sedangkan waktu tunggu konsolidasi 90% pada pemasangan PVD

sampai kedalaman 24 m menggunakan pola segitiga dengan jarak antar PVD (S) 0.8 m adalah selama 15 minggu. Semakin jauh jarak antar pemasangan PVD pada kedua jenis pola penanaman akan menghasilkan waktu tunggu konsolidasi yang semakin lama. Hal ini dikarenakan jarak antar penanaman PVD merupakan jarak alir drainase air di dalam tanah kompresibel.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis Tanah Dasar Pada Proyek Pembangunan Jalur Ganda Kereta Api di Km 437+300 Sampai Km 438+500 Gombong, Kebumen yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Besar penurunan tanah dasar timbunan diperkirakan sebesar 0.524 m.
2. Waktu yang diperlukan tanah dasar untuk mencapai derajat konsolidasi 90% adalah selama 268 tahun.
3. Perbaikan tanah untuk mencapai derajat konsolidasi 90% menggunakan PVD berpola segiempat membutuhkan jarak antar PVD 0.8 meter dengan waktu tunggu selama 18 minggu.
4. Perbaikan tanah untuk mencapai derajat konsolidasi 90% menggunakan PVD berpola segitiga membutuhkan jarak antar PVD 0.8 meter dengan waktu tunggu selama 15 minggu.

5. DAFTAR PUSTAKA

Bowles, J.E. 1988. *Foundation Analysis and Design Fourth Edition*. Mc Graw-Hill Companies, Inc: Singapura.

Department of The Navy. 1971. *Design Manual Soil Mechanics, Foundations, and Earth Structures NAFVAC DM-7*. U.S. Naval Publications and Forms Center: USA.

Look, Burt G. 2007. *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Taylor & Francis Group: London.

<https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/815>