

Perencanaan Jalan Rel Kereta Api Di Atas Tanah Lunak

Alma Mia Aulia¹, Dera Kartika Puspa Mega², Gatot Rusbintardjo³, Lisa Fitriyana⁴

^{1, 2, 3, 4} Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang

^{1, 2, 3, 4} Jl. Kaligawe Raya No. KM 4, Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112

almamiaaulia@gmail.com

Abstrak – Jalan rel kereta api adalah suatu konstruksi yang relatif panjang dan sering harus melewati lapisan tanah lunak. Mengingat beban kereta yang cukup berat, menyebabkan penurunan pada tanah lunak sehingga lintasan rel cepat mengalami kerusakan dan tidak dapat bertahan lama. Untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan perkuatan daya dukung tanah dengan metode PVD yang dioptimalkan dengan preloading. Dalam merencanakan jalan rel kereta api di atas tanah lunak ini direncanakan jalan rel kereta api konvensional dengan bantalan beton pratekan dan rel UIC 54. Hasil perhitungan adalah tebal balas 30 cm, tebal sub balas 15 cm, bantalan beton pratekan (200 x 25 x 21)cm dan beban dinamis sebesar 15,26 ton. Sedangkan hasil analisa pemampatan menunjukkan bahwa tanah dasar akan mengalami penurunan tanah sebesar 1,575 meter dan membutuhkan waktu konsolidasi alami 90% selama 246,6 tahun. Waktu konsolidasi 90% menggunakan PVD pola segitiga adalah selama 135 hari dan pola segiempat adalah selama 160 hari. Pada aplikasi Plaxis 8.6 didapatkan angka keamanan pada akhir konstruksi sebesar 1,324. Kesimpulannya, jalan rel kereta api dapat dibangun di atas tanah lunak menggunakan metode Prefabricated Vertical Drain (PVD) yang dioptimalkan dengan metode preloading.

Kata kunci: Jalan Rel, Tanah Lunak, PVD, Konsolidasi, Kuat

Abstract – The railroad is a relatively long construction often has to pass through soft soil. Considering the heavy load of the railway, the construction of railroads on soft soil to quickly deteriorate and cannot last long. To overcome this problem, it is necessary strengthen the soft soil with PVD method was optimized by the preloading method. In designing the railroad on soft soil, a conventional railroad with prestressed concrete sleeper and rail type UIC 54 will be used. The results of the calculation are ballast thickness of 30 cm, thickness of sub-ballast 15 cm, prestressed concrete pads (200 x 25 x 21) cm and dynamic load of 15.26 tons. Meanwhile, the results of the compression analysis show that the subgrade will experience a soil subsidence of 1,575 meters and requires a natural consolidation time of 90% for 246.6 years. The 90% consolidation time using the triangle pattern PVD is 135 days and the rectangular pattern is 160 days. In the Plaxis 8.6 application, the safety number at the end of construction is 1.324. In conclusion, railroads can be built on soft soil using the Prefabricated Vertical Drain (PVD) method which is optimized by the preloading method.

Kata kunci: Railroad, Soft soil, PVD, Consolidated, Strong

I. PENDAHULUAN

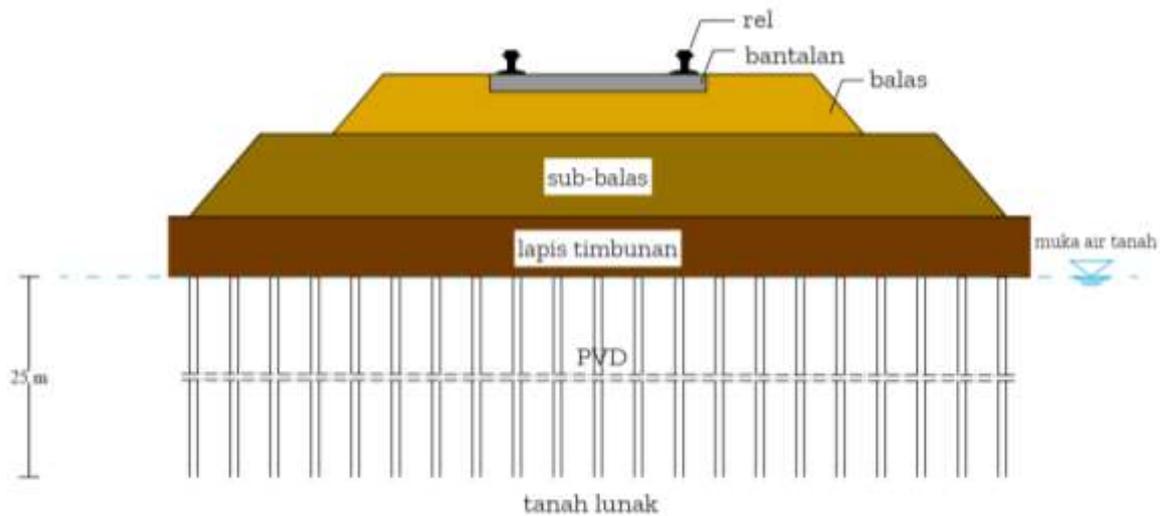
A. Latar Belakang

Konstruksi jalan rel kereta api yang cukup panjang tidak hanya berada di atas atau melewati tanah keras, akan tetapi juga terdapat jalan rel kereta api yang berada di atas tanah lunak. Mengingat beban kereta yang cukup berat dan kecepatan kereta yang melebihi 50% dari kecepatan gelombang tanah, menyebabkan defleksi atau penurunan pada lintasan jalan rel kereta api di atas tanah lunak. Hal tersebut mengakibatkan jalan rel kereta api di atas tanah lunak cepat mengalami kerusakan dan tidak dapat bertahan lama [1].

Ciri-ciri dari tanah lunak adalah mempunyai kuat geser yang rendah, kompresibilitas yang tinggi serta daya dukung yang rendah. Karena faktor-faktor tersebut, pembuatan badan jalan rel kereta api di atas tanah ini menjadi tantangan yang berat. Mengingat hal tersebut, perlu untuk menyadarkan para ahli di lapangan tentang berbagai masalah yang berkaitan dengan konstruksi di tanah lunak [2].

Peraturan Menteri Perhubungan R.I. Nomor 60 Tahun 2012 [3] tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api menyebutkan bahwa jalan rel kereta api harus direncanakan sesuai persyaratan teknis yang telah ditentukan, sehingga dapat dipertanggung jawabkan secara teknis dan ekonomis. Demikian pula apabila jalan rel kereta api dibangun di atas tanah lunak.

Secara teknis diartikan harus aman dilalui oleh sarana kereta api dengan tingkat kenyamanan tertentu. Sedangkan secara ekonomis diharapkan pembangunan dan pemeliharaan konstruksinya diselenggarakan dengan biaya yang serendah mungkin dengan hasil kualitas terbaik dan tetap menjamin keamanan dan kenyamanan. Pada Gambar 1 diperlihatkan ilustrasi badan jalan rel kereta api di atas tanah lunak yang diperkuat dengan sistem *Prefabricated Vertical Drain* (PVD).



Gambar 1. Ilustrasi Jalan Rel Kereta Api di Atas Tanah Lunak yang didukung dengan PVD

B. Rumusan dan Batasan Masalah

Terdapat dua jenis tanah lunak yaitu tanah lempung lunak dan tanah gambut [5]. Dalam perencanaan jalan rel kereta api di atas tanah lunak ini dibatasi pada penggunaan tanah lempung lunak. Jalan rel kereta api yang direncanakan adalah jalan rel konvensional dengan menggunakan rel UIC 54 atau R54 dengan bantalan beton pratekan di atas lapis balas batu pecah.

C. Tujuan

Berdasarkan pada batasan masalah tersebut maka tujuan perencanaan ini adalah:

1. Merencanakan jalan rel kereta api konvensional di atas tanah lempung lunak dengan bantalan beton pratekan dan rel UIC 54
2. Merekayasa tanah lunak untuk dapat dibebani perkerasan jalan kereta api dan beban kereta api.

II. TINJAUAN PUSTAKA/ LANDASAN TEORI

A. Peraturan – Peraturan Perencanaan Jalan Rel Kereta Api

Peraturan-peraturan yang dipergunakan untuk merencanakan konstruksi jalan rel kereta api di Indonesia saat ini adalah Peraturan Menteri Perhubungan R.I. Nomor 60 Tahun 2012 [3] tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, dan Peraturan Dinas Perusahaan Jawatan Kereta Api (PJKA) Nomor 10B tahun 1986 tentang Peraturan Pelaksanaan Pembangunan Jalan Rel Indonesia [4]. Peraturan-peraturan tersebut di atas dibuat sebagai pedoman dalam merencanakan jalan rel kereta api yang menjamin keselamatan dan keamanan.

B. Perencanaan Jalan Rel Kereta Api di Atas Tanah Lunak

Perencanaan jalan kereta api di atas tanah lunak ini mengadopsi perencanaan jalan kereta api yang telah dilaksanakan di Stasiun Udaipur, India dengan menggunakan sistem *Prefabricated Vertical Drain* atau PVD untuk tindakan perbaikan tanah [5]. Pada proyek Rehabilitasi Jalur kereta api di Stasiun Udaipur tanah mengalami *swelling* sehingga konsolidasi tanah harus dipercepat untuk mengurangi tekanan air pori dan penurunan. Konstruksi timbunan badan jalan kereta api di atas tanah lunak Stasiun Udaipur, India yang dibuat oleh Techfab India Industries.

Pengujian laboratorium telah dilakukan oleh Indaratna dan Rujikiatkamjorn (2004) [6] dalam menerapkan metode PVD untuk mempercepat proses konsolidasi timbunan tanah. Hasil analisis dalam Jurnal mereka “Laboratory Determination of Efficiency of Fabricated Vertical Drains Incorporating Vacuum Preloading”, relatif memuaskan sehingga peningkatan daya dukung tanah dan percepatan proses konsolidasi dapat menggunakan material geosintetik berupa PVD.

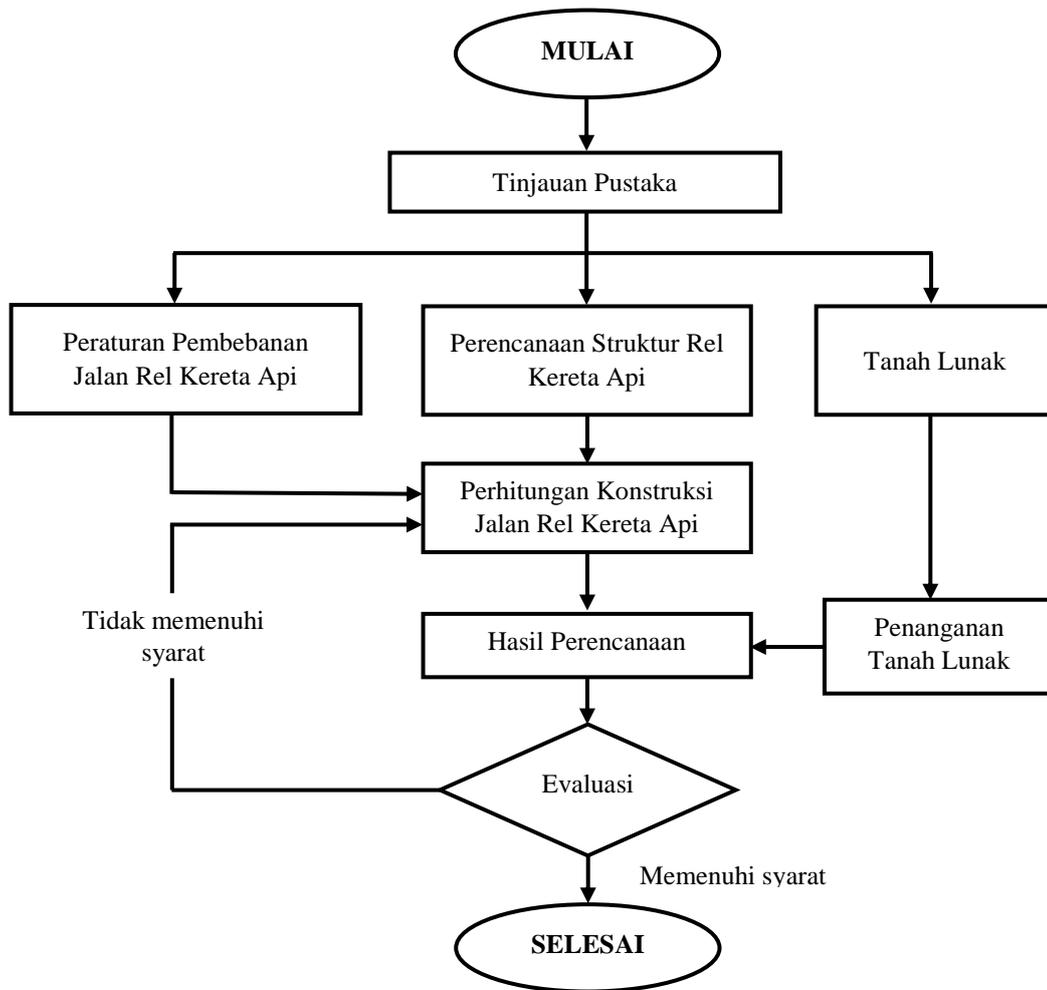
Dibuktikan pula dalam penelitian Aspar dan Fitriani (2016) dalam perhitungan perbandingan antara proses konsolidasi menggunakan PVD dan tanpa menggunakan PVD [7] bahwa proses pengaliran terjadi dengan baik ke arah vertikal dan horizontal sehingga konsolidasi tanah lempung lunak relatif lebih cepat jika dipasang PVD, sedangkan

tanpa menggunakan PVD proses konsolidasi sangat lambat bahkan tidak pernah terjadi penurunan konsolidasi sebesar yang diharapkan sebagaimana terjadi pada pemasangan PVD.

Dengan demikian, tanah lunak dapat ditangani dengan baik menggunakan PVD sehingga mampu mendukung konstruksi bangunan di atasnya. Dari pustaka dan penelitian tersebut di atas, dapat diadopsi penanganan tanah lunak dengan PVD sebagai perkuatan tanah lunak dalam konstruksi jalan rel kereta api di perencanaan ini.

III. METODOLOGI

Metode atau langkah-langkah dalam perencanaan jalan rel kereta api di atas tanah lunak terdapat tiga bagian utama, yaitu tentang peraturan pembebanan jalan rel kereta api, perhitungan perencanaan konstruksi jalan rel dan penanganan tanah lunak. Bagan alir perencanaan dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Bagan Alir Perencanaan Jalan Rel Kereta Api di Atas Tanah Lunak

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Konstruksi Jalan Rel Kereta Api

Ketentuan dan data perhitungan perencanaan jalan rel yang digunakan sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan RI Nomor 60 Tahun 2012. Data perhitungan perencanaan jalan rel tersebut meliputi kecepatan rencana, beban kereta api, dan ketebalan balas.

Perhitungan beban rel yang digunakan yaitu beban dinamis dan beban statis di mana dihitung menggunakan persamaan TALBOT. Analisa tegangan pada bantalan dihitung berdasarkan ketentuan distribusi beban roda menurut Profilidis (2006) [8]. Untuk menganalisa tegangan pada lapisan tanah dasar akibat pergerakan kereta menggunakan metode AREA dan TALBOT [9]. Hasil perhitungan perencanaan jalan rel kereta api ditabelkan sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Perencanaan Jalan Rel Kereta Api

Klasifikasi	Hasil
Kecepatan	120 km/jam
Beban Gandar	18 ton
Lebar Sepur	1067 mm
Rel	Rel tipe R.54
Bantalan	Bantalan beton N-67 (200 x 25 x 21)cm
Jarak Bantalan	60 cm
Tebal Balas	30 cm
Tebal Sub-Balas	15 cm
P_d (beban dinamis)	15,26 ton
Q (beban pada bantalan)	8,24 ton
σ_1 (tegangan vertikal pada balas)	2,47 kg/cm ²
σ_2 (tegangan vertikal pada tanah dasar)	0,98 kg/cm ²

B. Analisis Perhitungan Penurunan Tanah Lunak

Analisa perhitungan manual yang dilakukan yaitu analisa penurunan tanah dan waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan derajat konsolidasi (U) = 90% dengan atau tanpa menggunakan PVD. Perhitungan penurunan yang akan terjadi akibat pembebanan awal (preloading) dan perhitungan waktu konsolidasi tanpa menggunakan PVD akan dihitung menggunakan metode Terzaghi. Sedangkan, perhitungan waktu konsolidasi menggunakan PVD akan dihitung menggunakan rumusan teori konsolidasi vertikal drain oleh Baron.

Perhitungan penurunan konsolidasi primer menggunakan metode Terzaghi dapat dilihat hasil pada tabel berikut dengan Q pada tanah dasar sebesar 977 gr/cm² dan tinggi timbunan 5 meter dihitung menggunakan prinsip *normally consolidated*. Dari hasil perhitungan pada Tabel 2 dapat dilihat total penurunan konsolidasi primer sebesar 173,64 cm.

Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Konsolidasi

Lapisan	H	Po	Δp	e_0	Cc	S
	(cm)	(gr/cm ²)	(gr/cm ²)		(cm ² /s)	(cm)
1	500	375,5	855	1,502	0,189	19,47
2	500	423,8	855	1,378	0,234	23,60
3	500	404,3	855	1,602	0,207	19,63
4	500	396,5	855	1,712	0,207	19,05
5	500	386,8	855	1,775	0,198	18,07
6	500	399,0	855	1,379	0,054	5,64
7	500	424,3	855	1,255	0,171	18,17
8	500	425,0	855	1,172	0,234	25,79
9	500	431,0	855	1,118	0,216	24,21
Total Penurunan						173,64

Perhitungan konsolidasi tanpa menggunakan PVD dilakukan dengan menghitung lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dengan metode konsolidasi 1-D Terzaghi. Hasil analisa derajat konsolidasi tanpa menggunakan PVD untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dibutuhkan waktu selama 90000 hari atau 246,6 tahun dengan besar penurunan 1,575 meter.

Perhitungan derajat konsolidasi menggunakan PVD pola segitiga dihitung dengan metode Baron, di mana PVD dipasang dengan jarak pemasangan 1 meter. Dari hasil perhitungan dibutuhkan waktu untuk mencapai konsolidasi 90% adalah 135 hari dengan besar penurunan 1,578 meter. Dengan menggunakan perhitungan yang sama, derajat konsolidasi menggunakan PVD pola segiempat di mana PVD dipasang dengan jarak pemasangan 1 meter, dibutuhkan waktu untuk mencapai konsolidasi 90% adalah 160 hari dengan besar penurunan 1,574 meter.

Analisa penurunan tanah menggunakan program Plaxis 8.6 ditujukan untuk mendapatkan total penurunan tanah dan faktor angka keamanan. Analisis dilakukan dengan memodelkan jalan rel di atas tanah lunak sebagai model plane strain menggunakan elemen 15-nodes dalam Plaxis 2D versi 8.6 dengan permodelan Mohr Coulomb. Berdasarkan hasil perhitungan dengan program Plaxis 8.6 dapat ditabelkan sebagai berikut.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Plaxis 8.6

Identifikasi	Hari		Total Penurunan (m)		Angka Keamanan	
	Segitiga	Segiempat	Segitiga	Segiempat	Segitiga	Segiempat
Timbunan	135	160	0,361	0,363	1,318	1,324
Konstruksi Kereta	60	60	0,399	0,400	1,315	1,322
Beban Kereta	1	1	1,180	1,160	1,329	1,323
Pembebanan 1 tahun	365	365	1,550	1,530	1,323	1,323
Pembebanan 3 tahun	730	730	1,560	1,540	1,323	1,325
Pembebanan 10 tahun	2555	2555	1,560	1,540	1,323	1,324

Setelah dilakukan perhitungan secara manual dan menggunakan Plaxis 8.6 didapatkan hasil keseluruhan yang dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Analisis Perhitungan Manual dan Analisis Permodelan Plaxis 2D versi 8.6

No	Kondisi	Waktu (Hari)	Penurunan pada Konsolidasi 90% (meter)		Faktor Angka Keamanan
			Manual	Plaxis 8.6	
1.	Preloading tanpa PVD	90000	1,575	-	-
2.	Preloading dengan PVD 1m pola segitiga	135	1,578	1,560	1,323
3.	Preloading dengan PVD 1m pola segiempat	160	1,574	1,540	1,324

C. Pembahasan

- Dengan menggunakan PVD pola segitiga tanah lunak akan berhenti mengalami penurunan setelah 135 hari, dan akan kuat menahan konstruksi jalan rel dengan tekanan gandar 18 ton serta menggunakan rel R54 (UIC54), lebar sepur 1067 mm.
- Perbedaan hasil perhitungan secara manual dan permodelan Plaxis 8.6 terjadi karena pada perhitungan manual dilakukan dengan teori konsolidasi 1-D Terzaghi di mana penurunan dianggap hanya satu arah yaitu arah vertikal saja. Sedangkan Plaxis 8.6 yang digunakan merupakan program dua dimensi yang mana penurunan dianggap dua arah yaitu arah vertikal dan arah horizontal.
- Berdasarkan angka keamanan (SF) dari permodelan Plaxis 8.6 yang didapatkan pada setiap tahap konstruksi, maka dapat disimpulkan bahwa konstruksi dinyatakan aman karena angka keamanan (SF) yang didapat berada di atas 1 (satu), juga dapat dilihat bahwa selama pembebanan 1 tahun, penurunan yang terjadi sebesar 1,5 meter tidak mengalami penurunan lagi hingga pembebanan 10 tahun.

V. SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat diambil kesimpulan bahwa jalan rel kereta api dengan menggunakan bantalan beton pratekan dan rel UIC 54 dapat dibangun di atas tanah lunak menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dan metode *Preloading*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Dong, D.P. Connolly, O. Laghrouche, P.K. Woodward, P. Alves Costa. 2018. *The Stiffening of Soft Soils on Railway Lines*. Transportation Geotechnics 17 page 178-191.
- [2] Geo-technical Engineering Directorate, Research Design and Standards Organisation Manak Nagar. 2005. *Guidelines on Soft Soils – Stage Construction Methode*. India : Government of India Ministry of Railways.
- [3] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. 2012. *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*. Jakarta: Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- [4] Perusahaan Jawatan Kereta Api. 1986. *Perencanaan Konstruksi Jalan Rel (Peraturan Dinas No. 10)*. Bandung: Perusahaan Jawatan Kereta Api.
- [5] Techfab Industries India. 2019. *Railways Construction over Soft Soil using Prefabricated Vertical Drains (PVD)*. India : Rail Analysis.

- [6] Indrarnatna, B dan Rujikiatkamjorn, C. 2004. *Laboratory Determination of Efficiency of Prefabricated Vertical Drains Incorporating Vacuum Preloading*. Proceedings of the 15th Southeast Asian Geotechnical Conferences, Vol. 1 Hal. 453-456. Bangkok : Faculty of Engineering and Information Science. University of Wollongong.
- [7] Aspar, A. N, W dan Fitriani, E. N. 2016. *Pengaruh Jarak dan Pola Prefabricated Vertical Drain (PVD) pada Perbaikan Tanah Lempung Lunak*. Majalah Ilmiah Pengkajian Industri, Vol. 10 Nomor 1, Hal 41-50.
- [8] Profillidis, V. A. 2014. *Railway Management and Engineering*. Greece : Section of Transportation, Democritus Thrace University.
- [9] Muthohar, I dan Susanto, N.B. 2015. *Analisis Distribusi Beban Kereta Api pada Konstruksi Timbunan Jalur Kereta Api*. International Symposium. Unila Bandar Lampung.