

PERENCANAAN STABILISASI DAN PERKUATAN TANAH DASAR JALUR KERETA API

Dicky Arisikam¹, Awan Hermawan Purwadinata², Isah Bela Mulyawati³
Direktorat Prasarana, PT Kereta Api Indonesia (Persero)^{1,2}
Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pendidikan Indonesia³

Email :

dicky.arisikam@kai.id¹, awan.hermawan@kai.id², isahbellamulyawati@gmail.com³

Abstrak

Jalan kereta api umumnya dibangun di atas *subgrade* yang memiliki daya dukung tinggi agar dapat menahan beban dan mencegah penurunan *ballast* sehingga rel tetap pada tempatnya. Fakta di lapangan menunjukkan bahwa kebutuhan jalan rel semakin meningkat dan beberapa lokasi jalan kereta api sangat mungkin dibangun di atas tanah lempung lunak sehingga rentan mengalami ketidakstabilan tanah seperti amblesan di sepanjang jalur hilir yang terjadi pada daerah rawan KM 348+200 s.d. 349+600 di Emplasemen Stasiun Talang Padang Divre III Palembang. Penanganan yang bisa dilakukan dengan penambahan perkuatan pada tanah untuk meningkatkan daya dukung yang dapat menahan beban dinamis kereta api. Penelitian ini membahas mengenai metode penanganan dengan tiga alternatif yaitu (1) metode perkuatan tanah alternatif ke-1 menggunakan pelat beton dan kayu gelam, (2) metode perkuatan tanah alternatif ke-2 menggunakan matras bambu dan kayu gelam, (3) metode perkuatan tanah alternatif ke-3 menggunakan portal dan geotextile. Analisis perhitungan dilakukan menggunakan program PLAXIS 2D CE V20 dengan tiga alternatif penanganan. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu (1) alternatif ke-1 deformasi sebesar 29.51 cm dengan faktor keamanan 1.398, (2) alternatif ke-2 deformasi sebesar 31.56 cm dengan faktor keamanan 1.445, (3) alternatif ke-3 deformasi sebesar 0.71 cm dengan faktor keamanan 2.237. Berdasarkan ketiga alternatif, metode yang dapat dilakukan untuk karakteristik tanah pada lokasi studi yaitu alternatif ke-3 dengan menggunakan portal dan geotextile, dimana $FK > 1.5$ melebihi nilai faktor keamanan minimum.

Kata kunci : stabilitas, perbaikan tanah, tanah lunak, jalur kereta api, plaxis

Abstract

The railway is generally built on subgrades that have a high bearing capacity in order to withstand loads and prevent ballast from sinking so that the rails stay in place. The facts on the ground show that the need for railroads is increasing and some railway locations are very likely to be built on soft clay soils so that they are prone to soil instability such as subsidence along the downstream line that occurs in areas prone from KM 348+200 to 349+600 at the Talang Padang Divre III Palembang Station Emplacement. Ground improvement can be used by adding reinforcement to the soil to increase the carrying capacity that can withstand the dynamic load of the train. This study discusses the improvement method with three alternatives, namely (1) the 1st alternative soil method using concrete slabs and embedded gelam wood row, (2) the 2nd alternative soil method using bamboo mats and embedded gelam wood row, (3) the 3rd alternative using portals and geotextiles. Calculation analysis was performed using the PLAXIS 2D CE V20 program with three alternative treatments. The results obtained are (1) the 1st alternative has a deformation of 29.51 cm with a safety factor of 1.398, (2) the 2nd alternative has a deformation of 31.56 cm with a safety factor of 1.445, (3) the 3rd alternative has a deformation of 0.71 cm with a factor of security 2.237. Based on the three alternatives, the method that can be used for soil characteristics at the study site is alternative 3 using portals and geotextiles, where $FK > 1.5$ exceeds the minimum safety factor value.

Keywords : stability, ground improvement, soft soil, railway, plaxis

I. PENDAHULUAN

Prasarana kereta api yang laik dan aman merupakan faktor utama dalam kelancaran pengoperasian kereta api, oleh karena itu perlu adanya perawatan yang intensif sesuai aturan yang berlaku (Putra, A. P., Septanto, D., & Praja, 2018). Jalan kereta api umumnya dibangun di atas *subgrade* yang memiliki daya dukung tinggi agar dapat menahan beban dan mencegah penurunan *ballast* sehingga rel tetap pada tempatnya. Fakta di lapangan menunjukkan bahwa kebutuhan jalan rel semakin meningkat dan beberapa lokasi jalan kereta api sangat mungkin dibangun di atas tanah lempung lunak. Permasalahan yang umumnya terjadi di lapangan yaitu terjadi amblesan pada jalur kereta api dimana terjadi penurunan *ballast* dan tanah sekitar naik ke atas sehingga mengakibatkan jalan rel menjadi labil seperti pada kasus di daerah rawan KM 348+200 s.d. 349+600 Emplasemen Stasiun Talang Padang Divre III Palembang.

Pada umumnya tanah lempung lunak terdiri dari butiran yang sangat kecil dan memiliki sifat daya dukung rendah, tingkat kompresibilitas sangat tinggi dan permeabilitas yang relatif rendah sehingga tanah mengalami penurunan yang sangat lama. Tanah tersebut apabila tidak diselidiki secara hati-hati dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang (Panduan Geoteknik Indonesia, 2001).

Oleh karena itu perlu adanya stabilisasi dan penguatan terhadap kondisi jalan rel di atas tanah lempung lunak. Penelitian ini akan membahas mengenai alternatif metode perbaikan yang dapat menjadi pertimbangan dalam perencanaan terkait masalah tersebut.

II. KAJIAN LITERATUR

II.1 Tanah Lunak

Menurut Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-Sifat Dasar Tanah Lunak (2001), tanah lunak merupakan tanah yang memiliki nilai kuat geser sangat rendah dan kompresibilitas yang sangat tinggi. Tanah-tanah ini apabila tidak dikenali dan diselidiki secara baik dan menyeluruh dapat menyebabkan beberapa masalah seperti ketidakstabilan tanah dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir. Di Indonesia tanah lunak ini terdapat kurang lebih 20 juta hektar atau sekitar 10 persen dari luas total daratan Indonesia.

Tanah jenis ini banyak ditemukan di beberapa wilayah seperti bagian timur Sumatera, bagian utara Jawa, bagian selatan dan barat Kalimantan, serta bagian selatan Irian Jaya.



Gambar 1. Peta Sebaran Tanah Lunak Indonesia (Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia, 2019)

Berdasarkan Gambar 1 Tanah lunak dibagi menjadi dua jenis yaitu lempung lunak ditunjukkan dengan warna hijau dan gambut ditunjukkan dengan warna hijau dan arsiran (Panduan Geoteknik Indonesia, 2001).

Lempung Lunak mengandung mineral lempung dan kadar air yang tinggi, yang menyebabkan kuat geser rendah. Dalam rekayasa geoteknik istilah ‘lunak’ dan ‘sangat lunak’ khusus didefinisikan untuk lempung dengan kuat geser yang ditunjukkan pada Tabel 1 (Panduan Geoteknik Indonesia, 2001).

Tabel 1. Definisi Kuat Geser Lempung Lunak

Konsistensi	Kuat Geser (kN/m ²)
Lunak	12.5 – 25
Sangat Lunak	< 12.5

Indikasi dari kekuatan tanah lempung tersebut, prosedur indikasi lapangan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Definisi Kuat Geser Lempung Lunak

Konsistensi	Indikasi di Lapangan
Lunak	Bisa dibentuk dengan mudah menggunakan jari tangan
Sangat Lunak	Keluar di antara jari tangan jika diremas dalam kepalan tanah

II.2 Stabilitas

Analisis stabilitas lereng merupakan proses menghitung dan membandingkan antara tegangan geser dengan kekuatan geser dari tanah. Faktor keamanan merupakan perbandingan antara kekuatan

geser maksimum yang dimiliki tanah bidang longsor dengan tahanan geser yang diperlukan untuk keseimbangan (Parluhutan, 2014).

$$FK = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad \dots [1]$$

Dimana FK : angka keamanan terhadap kekuatan tanah, τ_f : kekuatan geser, dan τ_d : tegangan geser.

$$\tau_f = c + \sigma \tan \varphi \quad \dots [2]$$

Dimana c : kohesi tanah penahan, σ : tegangan normal rata-rata permukaan bidang longsor, φ : sudut geser dalam.

Menurut peraturan PM No.60 tahun 2012 bahwa stabilitas lereng badan jalan dinyatakan dengan faktor keamanan (FK) yang mengacu pada kekuatan geser tanah di lereng tersebut, sekurang-kurangnya sebesar 1,5 untuk beban statis dan sekurang-kurangnya 1,1 untuk beban gempa.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Kasus amblesan di sepanjang jalur hilir daerah rawan KM 348+200 s.d. 349+600 Emplasemen Stasiun Talang Padang Divre III Palembang digunakan sebagai studi kasus pada penelitian ini dengan tujuan untuk memberikan gambaran data-data secara menyeluruh mengenai proses desain perkuatan serta data dan material yang digunakan dalam perencanaan desain.



Gambar 2. Lokasi Studi



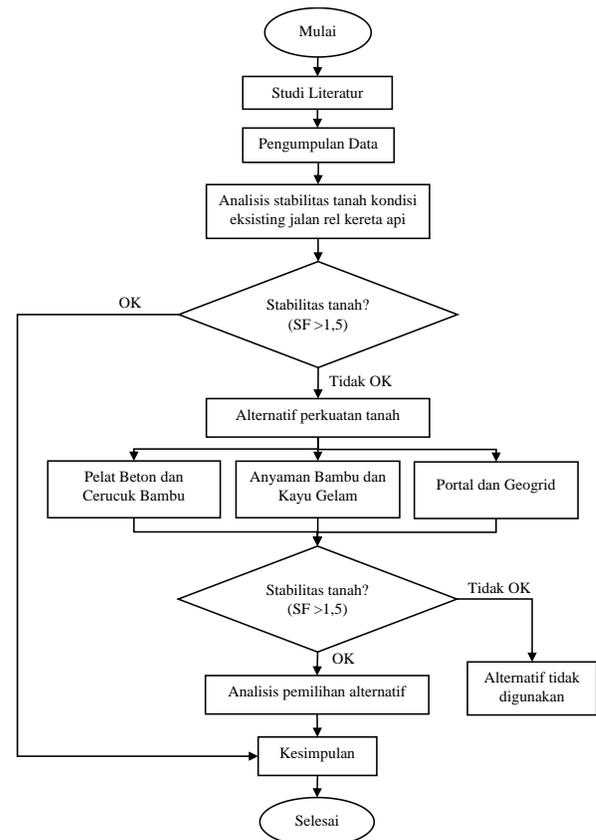
Gambar 3. Titik Lokasi Amblesan

Berdasarkan hasil survey lapangan, penyebab terjadinya amblesan diperkirakan akibat kondisi daya dukung tanah di bagian bawah jalan kereta api rendah dan kondisi tanah cenderung lunak.

Penelitian ini membahas mengenai metode penanganan dengan tiga alternatif yaitu

1. Alternatif ke-1 menggunakan pelat beton dan kayu gelam,
2. Alternatif ke-2 menggunakan matras bambu dan kayu gelam
3. Alternatif ke-3 menggunakan portal dan geogrid.

Analisis perhitungan dilakukan menggunakan program PLAXIS 2D CE V20 diawali dengan analisis kondisi eksisting dan dilanjutkan dengan ketiga alternatif penanganan. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir

IV. ANALISIS DAN PERANCANGAN

IV.1 Kondisi Subsoil

Lokasi titik pengujian Cone Penetration Test (CPT/Sondir) dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Lokasi titik pengujian CPT

Hasil pengujian Cone Penetration Test (CPT/Sondir) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian CPT/Sondir

Titik Sondir	Lokasi	Kedalaman Tanah Keras (m)	Nilai Konus, q_c (kg/cm^2)	Kumulatif Total Friksi (kg/cm)
S.01	KM 348+870	12.80	180	762.90
S.02	KM 348+530	10.40	180	1204.65
S.03	KM 348+700	10.40	185	1246.79
S.04	KM 349+270	11.60	175	1310.70
S.05	KM 349+160	10.80	180	1240.00
S.06	KM 349+005	10.00	185	1101.31

Berdasarkan hasil plotting *friction ratio* terhadap tekanan konus (Look, 2007), dominasi perilaku tanah pada lokasi pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Dominasi perilaku tanah hasil CPT/Sondir

No. Test	Tipe Perilaku Tanah
S.01	Clay to Silty Clay
S.02	Silty Sand to Sandy Soil
S.03	Clayey Silt & Silty Clay
S.04	Clay to Silty Clay
S.05	Clayey Silt & Silty Clay
S.06	Clayey Silt & Silty Clay

Berdasarkan hasil pengujian *Hand Boring* sebanyak 6 titik diketahui bahwa kedalaman 0 – 6 m didominasi oleh tanah lempung.

IV.2 Parameter Tanah dan Material

Parameter tanah diambil berdasarkan hasil pengujian lapangan dan laboratorium, serta korelasi empirik, parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter Tanah

Parameter	Layer 1 Very Soft Clay	Layer 2 Medium Clay	Layer 3 Stiff Clay	Layer 4 Dense Sand
Kedalaman (m)	0 - 2	2 - 4	4 - 8	8 - 13
Model	MC	MC	MC	MC
Tipe material	Undrained	Undrained	Undrained	Drained
γ_{unsat} (kN/m^3)	15	16	17	18
γ_{sat} (kN/m^3)	16	17	18	19
E' (kN/m^2)	3000	6500	30000	35000
Poisson Ratio, ν	0.3	0.3	0.3	0.3
c' (kN/m^2)	5	15	17	15
ϕ' ($^\circ$)	10	15	30	40
Permeabilitas, k (cm/s)	8.64E-07	8.64E-04	8.64E-03	8.64

Parameter material ballast dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Parameter Ballast

Parameter	Ballast
Tebal (m)	0.47
Model	MC
Tipe material	Drained
γ_{unsat} (kN/m^3)	21
γ_{sat} (kN/m^3)	22
E' (kN/m^2)	37500
Poisson Ratio, ν	0.15
c' (kN/m^2)	15
ϕ' ($^\circ$)	25
Permeabilitas, k (cm/s)	8.64

Parameter material bantalan, pelat beton (tebal = 7 cm) dan portal dapat dilihat pada Tabel 7.

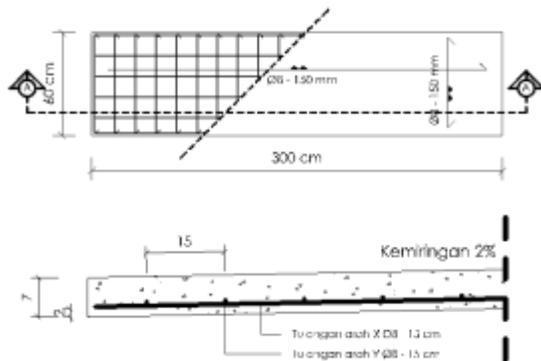
Tabel 7. Parameter Bantalan, Pelat Beton, dan Portal

Material	EA	E	w	v
Bantalan	6.526E6	143108351	0.54	0.15
Pelat Beton	53.75E6	17915571	1.68	0.15
Rel 42	103.0E6	1.410E9	0.5	0.15

Untuk geotextile yang digunakan memiliki modulus elastisitas sebesar $500 kN/m^2$.

Direncanakan pelat beton yang akan digunakan dengan spesifikasi sebagai berikut.

- Berat jenis beton bertulang = 24 kN/m²
- Berat jenis batu split = 18 kN/m²
- Rencana dimensi pelat = 3 x 0.6 meter
- Tebal pelat = 70 mm
- B = 1000 mm
- Selimut beton = 20 mm
- F'c = 14.53 MPa
- Fy = 380 Mpa
- Direncanakan tulangan \varnothing 8 mm
- Direncanakan jarak tulangan 150 mm



Gambar 6. Penampang Pelat Beton Bertulang

IV.3 Analisis Simulasi Numerik

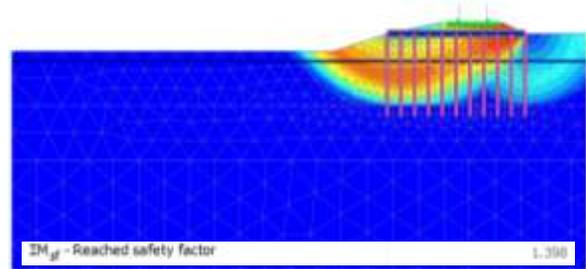
Analisis simulasi numerik dilakukan dengan memodelkan tiga alternatif penanganan kasus amblesan yang terjadi di daerah rawan KM 348+200 s.d. 349+600 Emplasemen Stasiun Talang Padang Divre III Palembang menggunakan model tanah Mohr Coloumb (MC-A). Dari ketiga alternatif diukur berdasarkan stabilitas meliputi nilai faktor keamanan dan besarnya deformasi menggunakan program Plaxis.

Alternatif ke-1 penanganan dilakukan dengan menggunakan pelat beton dan kayu gelam. Kayu gelam dipenetrasi sedalam 3 m sampai menumpu pada tanah yang cukup kaku, kemudian dilakukan pemasangan pelat beton. Adapun urutan langkah konstruksi yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Tahap 1 : Pembongkaran ballast dan bantalan.
- Tahap 2 : Pemasangan kayu gelam berdiameter 6 cm, panjang 3 m, dan jarak antar kayu gelam sebesar 0.5 m.

- Tahap 3 : Pemasangan pelat beton mutu 14,53 MPa dengan ukuran panjang x lebar x tebal yaitu 3 m x 0.6 m x 0.07 m.
- Tahap 4 : Dilakukan penimbunan dan pemadatan ballast.
- Tahap 5 : Pemasangan bantalan beton dan beban gandar kereta api sebesar 18 ton.

Analisis numerik menunjukkan hasil sebagai berikut.

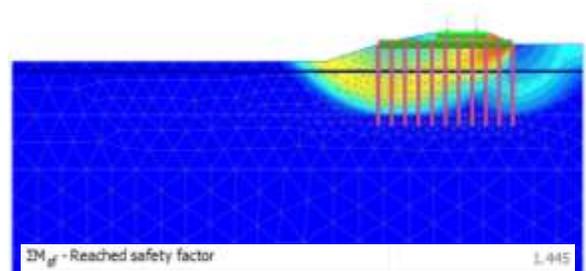


Gambar 7. Safety Factors dan Total Displacement Alternatif 1

Alternatif ke-2 penanganan dilakukan dengan menggunakan matras bambu dan kayu gelam. Kayu gelam dipenetrasi sedalam 3 m sampai menumpu pada tanah yang cukup kaku, kemudian dilakukan pemasangan matras bambu. Adapun urutan langkah konstruksi yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Tahap 1 : Pembongkaran ballast dan bantalan.
- Tahap 2 : Pemasangan kayu gelam berdiameter 6 cm, panjang 3 m, dan jarak antar kayu gelam sebesar 0.5 m.
- Tahap 3 : Pemasangan matras bambu 3 lapis.
- Tahap 4 : Dilakukan penimbunan dan pemadatan ballast.
- Tahap 5 : Pemasangan bantalan beton dan beban gandar kereta api sebesar 18 ton.

Analisis numerik menunjukkan hasil sebagai berikut.

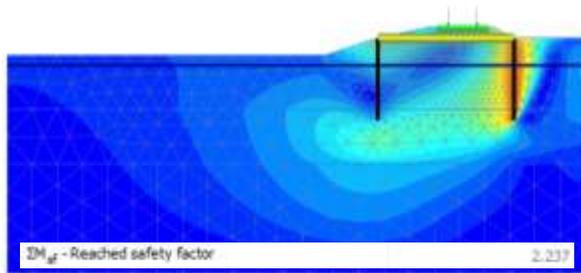


Gambar 8. Safety Factors dan Total Displacement Alternatif 2

Alternatif ke-3 penanganan dilakukan dengan menggunakan geotextile dan portal. Portal bentuk U dipenetrasi sedalam 3 m, kemudian dilakukan pemasangan geotextile. Adapun urutan langkah konstruksi yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Tahap 1 : Pembongkaran ballast dan bantalan.
- Tahap 2 : Pemasangan portal U
- Tahap 3 : Pemasangan geotextile.
- Tahap 4 : Dilakukan penimbunan dan pemadatan ballast.
- Tahap 5 : Pemasangan bantalan beton dan beban gandar kereta api sebesar 18 ton.

Analisis numerik menunjukkan hasil sebagai berikut.



Gambar 9. Safety Factors dan Total Displacement Alternatif 3

Berdasarkan analisis dari ketiga alternatif, berikut ini merupakan perbandingan nilai faktor keamanan dan besarnya deformasi yang terjadi.

Tabel 8. Summary nilai faktor keamanan dan besarnya deformasi

Output	Alt ke-1	Alt ke-2	Alt ke-3
FK	1.398	1.445	2.237
Deformasi arah horizontal, U _x (cm)	11.11	10.74	0.34
Deformasi arah vertikal, U _y (cm)	16.36	13.79	0.17
Deformasi Total, U (cm)	29.51	31.56	0.71

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dari ketiga alternatif simulasi. Metode perkuatan yang bisa dilakukan sesuai karakteristik tanah tersebut yaitu alternatif 3 dengan menggunakan portal dan geotextile, dimana nilai Safety Factor sebesar 2.237 telah melebihi safety factor ijin $FoS > 1.5$ dan displacement yang dihasilkan 0.71 cm.

REFERENSI

- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2012). Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. *PM. 60 Tahun 2012*, 1–57.
- Look, B. G. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Taylor & Francis Group.
- Panduan Geoteknik Indonesia. (2001). *Panduan Geoteknik I: Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak*. WSP International.
- Parluhutan, O. C. (2014). Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland STA. 1000 m). *Jurnal Sipil Statik*, 2(3), 139–147.
- Putra, A. P., Septanto, D., & Praja, S. W. (2018). Handling of Landslide Prone Areas by Using the Shotcrete Method. *Jurnal Perkeretaapian Indonesia (Indonesian Railway Journal)*, 2(2), 147–155.
- Wardoyo. (2019). *Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia*. Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.