

KAJIAN PENANGANAN PENURUNAN TANAH PADA JALUR KERETA API DENGAN PENDEKATAN RAILWAY EMBANKMENT TREATMENT SOLUTION (RETRASOL)

Amril Ma'ruf Siregar^{1*}, Iswan¹, Aminudin Syah¹ dan Nur Arifaini¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

*E-mail: amrilmarufs@gmail.com

Received: 23 November 2025

Accepted: 8 December 2025

Published: 12 December 2025

Abstrak

Permasalahan utama yang ditemukan pada badan jalan KA segmen Km. 233+300 – Km. 234+300 lintas Kemelak–Baturaja yaitu terjadinya *mud pumping* akibat sistem drainase yang tidak berfungsi optimal, erosi lereng, dan amblesan pada badan jalan rel yang berpotensi mengganggu keselamatan operasi perkeretaapian. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penerapan sistem *Railway Embankment Treatment Solution (Retrasol)* dalam menangani penurunan tanah dan meningkatkan stabilitas jalan rel kereta api. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental melalui pengukuran topografi, pengujian sondir, dan analisis data hidrologi. Hasil perhitungan dimana angka keamanan lereng berada pada kisaran 1,084 sd 1,23 untuk statik serta 0,90 sampai 0,98 untuk dinamik yang menunjukkan bahwa kondisi eksisting badan jalan KA dapat dikatakan berpotensi besar terjadi longsor. Hasil simulasi menunjukkan bahwa adanya peningkatan angka keamanan lereng setelah perkuatan *retaining wall* yaitu 2,508 untuk kondisi normal dan 1,939 pada saat kondisi MAT naik. Pemasangan *retaining wall* akan dilakukan pada badan jalan KA posisi timbunan yaitu sepanjang 350 m. Perbaikan sistem drainase juga dibutuhkan untuk menurunkan risiko erosi permukaan yang juga berfungsi sebagai tembok penahan tanah pada badan jalan KA dengan material U ditch tipe 0,6 m sepanjang 450 m. Temuan ini membuktikan bahwa sistem Retrasol efektif dalam meningkatkan stabilitas lereng timbunan badan jalan KA.

Kata Kunci: Penurunan tanah, retaining wall, drainase, retrasol

Abstract

The main problems found on the railway track between Km 233+300 and Km 234+300 on the Kemelak–Baturaja line are *mud pumping* due to a drainage system that is not functioning optimally, slope erosion, and subsidence on the railway track, which has the potential to disrupt the safety of railway operations. This study aims to analyse the effectiveness of implementing the *Railway Embankment Treatment Solution (Retrasol)* system in addressing ground subsidence and improving railway track stability. The research method employs a quantitative experimental approach through topographic measurements, sounding tests, and hydrological data analysis. The calculation results show that the slope safety factor ranges from 1.084 to 1.23 for static conditions and 0.90 to 0.98 for dynamic conditions, indicating that the existing railway roadbed is highly prone to landslides. The simulation results show that there is an increase in the slope safety factor after the retaining wall reinforcement, namely 2.508 for normal conditions and 1.939 when the MAT condition rises. The retaining wall will be installed on the railway embankment along a 350 m stretch. Improvements to the drainage system are also needed to reduce the risk of surface erosion, which also functions as a retaining wall on the railway embankment using 0.6 m U-ditch material along a 450 m stretch. These findings prove that the Retrasol system is effective in improving the stability of the railway embankment slope.

Keywords: Land subsidence, retaining wall, drainage, retrasol

To cite this article:

A Ma'ruf Siregar dkk. (2026). Kajian Penanganan Penurunan Tanah pada Jalur Kereta Api dengan Pendekatan Railway Embankment Treatment Solution (Retrasol). *Jurnal of Infrastructural in Civil Engineering*. Vol (07), No. 01, pp 71-81.

PENDAHULUAN

Upaya peningkatan keselamatan di bidang perkeretaapian dapat dilakukan melalui penyediaan prasarana yang memenuhi kelaikan. Hal ini merupakan bagian penting untuk meminimalisir potensi terjadinya kecelakaan kereta api. Data Kementerian Perhubungan menunjukkan bahwa sekitar 10 – 15% jalur rel nasional melewati daerah dengan tanah lunak berkeandungan lempung tinggi, termasuk di wilayah Sumatera Selatan [1-2]. Salah satu Lokasi yang membutuhkan perhatian khusus karena masuk dalam kategori rawan adalah Km. 233+300 – Km. 234+400 antara Kemelak – Baturaja Lintas Tarahan Tanjung Enim. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari hasil survei yang dilaksanakan oleh PT. KAI (Persero) Divisi Regional IV pada tahun 2023 menunjukkan adanya penurunan badan jalan kereta api sebesar 5 cm/tahun dengan indikasi visual terjadinya retak mikro pada ballast dan indikasi deformasi lateral. [3].

Penelitian Ini berfokus pada indikasi penurunan tanah pada badan jalan KA pada daerah timbunan dengan meninjau variabel kondisi geoteknik tanah dasar dan penanganan sistem drainase. Dalam konteks geoteknik, penurunan tanah (*settlement*) diartikan sebagai proses terjadinya deformasi tanah secara vertical akibat penambahan beban eksternal. Teori Terzhagi (1943) menjelaskan bahwa laju dan besarnya penurunan tergantung pada koefisien konsolidasi (C_v), indeks kompresibilitas (C_c), dan ketebalan lapisan lunak (H) [4]. Dalam kaitannya dengan rel kereta api, penurunan dapat diakibatkan oleh interaksi antara ballast, sub ballast, dan lapisan tanah dasar (subgrade) dalam pendistribusian beban dinamis dari kereta menuju tanah dasar [5].

Penelitian Ini dilakukan dengan melakukan pendekatan pada teori konsolidasi tanah lunak dan mekanika deformasi jangka Panjang serta konsep load transfer dan *arching effect* dalam sistem timbunan-subgrade [6-7]. Model konseptual dikembangkan dengan mengasumsikan bahwa peningkatan kekakuan timbunan dan drainase efektif akan mengurangi tekanan air pori berlebih dan mempercepat proses konsolidasi primer. Variabel utama yang diteliti meliputi: (1) penurunan badan timbunan (*settlement*) sebagai variabel dependen, (2) kekakuan material dan metode perkuatan (Retrasol) sebagai variabel independen, serta (3) kondisi hidrogeoteknik tanah dasar sebagai variabel moderator. Relasi antar variabel diuji melalui analisis kuantitatif menggunakan pendekatan Finite Element Method (FEM) untuk memodelkan distribusi tegangan dan deformasi.

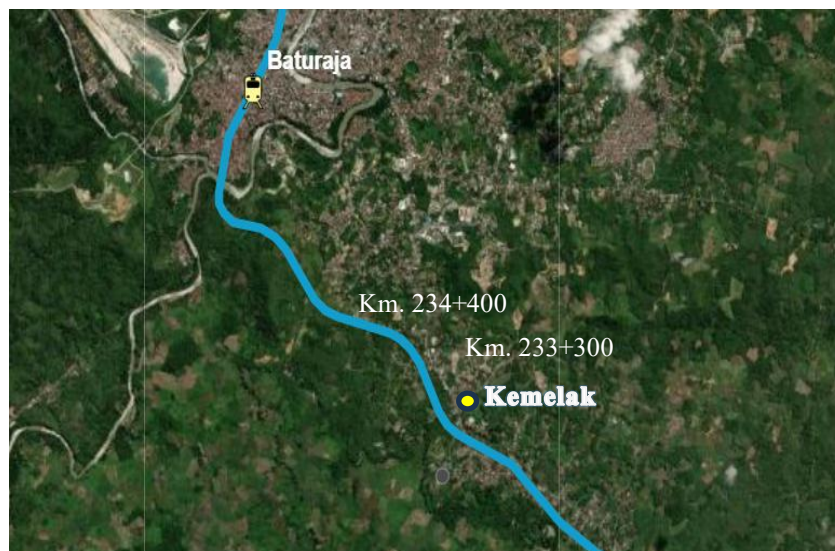
Kajian yang berhubungan dengan metode perkuatan dan besarnya penurunan menunjukkan bahwa penggunaan cemen – mixed gravel dapat menurunkan kompresibilitas timbunan secara signifikan, dengan hasil penurunan hanya 2 mm dalam periode 172 hari [8]. Sementara itu, penggunaan *Geosynthetic Reinforced Soil (GRS)* meningkatkan kekakuan timbunan dan menurunkan penurunan hingga $46,6 \times 10^{-3}$ m [9]. Sebagian besar penelitian tersebut hanya berfokus pada satu aspek, baik stabilitas maupun penurunan, dan belum banyak yang menganalisis secara simultan hubungan kuantitatif antara stabilitas lereng dan penurunan total dalam sistem perkuatan terpadu seperti Retrasol

Berdasarkan latar belakang tersebut di atas, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur efektivitas sistem Railway Embankment Treatment Solution (Retrasol) dalam

mengurangi penurunan dan meningkatkan stabilitas timbunan rel pada segmen Km 233+300 – Km 234+300 lintas Kemelak–Baturaja. Selain itu penelitian ini juga dapat memberikan hasil kajian terkait dengan: (1) Faktor yang mempengaruhi penerapan sistem Retrasol terhadap penurunan total timbunan rel? (2) Bagaimana perubahan faktor keamanan (SF) statik dan dinamik sebelum dan sesudah penerapan sistem tersebut? (3) Mengkaji korelasi antara parameter geoteknik tanah dasar dan peningkatan stabilitas pasca perkuatan. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memperkuat dasar ilmiah penerapan Retrasol sebagai solusi geoteknik adaptif khususnya pada jalur kereta api dengan kondisi lingkungan tropis yang ada di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Konsep Penelitian ini bersifat eksperimen semu (*quasi- experimental design*) untuk menganalisis efektivitas konsep Retrasol dalam mengurangi penurunan tanah dasar dan meningkatkan stabilitas badan jalan KA khususnya di daerah timbunan pada segmen Km. 233+300 – Km. 234+400 seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Pendekatan yang dipilih dalam penelitian ini yaitu pengukuran langsung di lapangan melalui survei dan analisis data. Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui pengukuran topografi lapangan untuk pengamatan penurunan tanah, uji tanah melalui sondir (CPT). Sementara data sekunder berasal dari laporan PT KAI berupa hasil inspeksi lapangan, dokumentasi proyek, dan data curah hujan dari instansi terkait sebagai variabel kontrol lingkungan. Pengumpulan data dilakukan selama periode penelitian bulan (Agustus – September 2025). Berdasarkan data-data tersebut dilakukan pengolahan data sehingga diperoleh peta kerentanan yang akan digunakan dalam tahap interpretasi selanjutnya. Data hasil investigasi geoteknik berupa data hasil pengujian laboratorium terhadap sampel tanah untuk mendapatkan parameter fisik tanah (*engineering properties* dan *indeks properties* tanah) dan data geometri lereng digunakan sebagai masukan dalam analisis stabilitas lereng pada daerah kajian.

Analisis data yang akan dilakukan dalam penelitian ini melalui beberapa tahapan, yaitu (1) Analisis Data Hasil Pengukuran Topografi berupa peta situasi, detail elevasi potongan memanjang dan melintang jalur rel, (2) Analisis Data Hasil Pengujian Mekanika Tanah yang meliputi : penentuan jenis tanah dominan, analisis data pengujian sondir, Menghitung parameter kekuatan geser, modulus deformasi, dan koefisien konsolidasi (3) Analisis Penurunan Tanah

dengan menggunakan teori konsolidasi Terzaghi untuk prediksi penurunan primer dan sekunder, serta analisis penurunan akibat beban dinamis (*cyclic load*) Simulasi Numerik dengan Pemodelan struktur rel dan tanah bawah menggunakan bantuan software dengan metode PLAXIS dengan beberapa kondisi, yaitu : Tanpa perkuatan (kondisi eksisting), dengan geosintetik tunggal (geogrid), atau dengan kombinasi geosintetik dan perbaikan drainase [10-11].

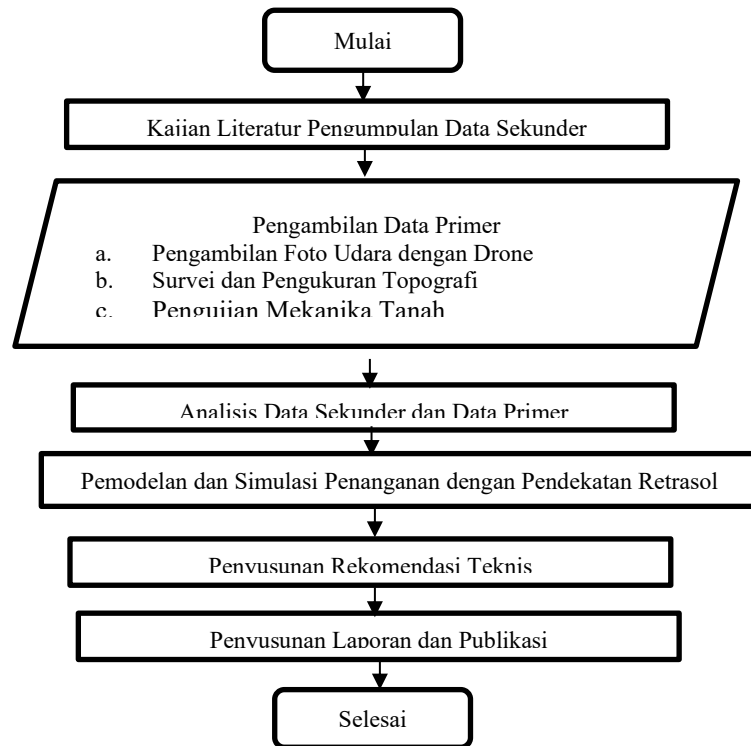
Pemodelan dan perhitungan analisis stabilitas lereng menggunakan data yang telah diperoleh. Data yang dibutuhkan dalam pemodelan dapat diambil langsung dari parameter hasil pengujian di laboratorium maupun dari hasil data pengujian di lapangan. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran yaitu hasil survei dan pengukuran topografi dan pengujian sondir. Untuk data sekunder, yaitu data curah hujan dan data lain yang relevan dengan penelitian ini diperoleh dari instansi terkait. Proses analisis data meliputi data penurunan dan geometri data, perhitungan daya dukung, kajian curah hujan dan perhitungan debit banjir rancangan.

Dalam analisis dilakukan perhitungan pada potongan lereng dengan kondisi paling kritis dengan iterasi untuk mendapatkan desain yang paling optimal. Metode ini diharapkan dapat mewakili tingkat stabilitas pada lereng dalam zona yang sama. Pada beberapa lokasi, dimana kondisi tebing pada daerah galian, diperlukan penanganan khusus dimana badan jalan KA memerlukan pematuan air dengan cepat dan air yang mengalir dari atas tebing yang membawa material sedimen tidak dibiarkan jatuh ke bagian drainase jalan KA. Dari hasil kajian dan analisis perilaku pergerakan air di beberapa lokasi, diperlukan konstruksi saluran gendong. Saluran ini dipasang tepat di bagian atas tembok penahan tanah. Penempatan penahan tanah plengsengan dilakukan pada lokasi galian tanah untuk melindungi badan jalan KA dari bahaya longsor.

Berdasarkan hasil interpretasi data yang telah diperoleh dapat direncanakan jenis penanganan untuk meningkatkan faktor aman dari lereng dengan 2 perlakuan, yaitu kondisi eksisting dan perhitungan setelah dilakukan pengamanan pada struktur badan jalan rel yang ditinjau. Fokus utama perbaikan tanah yang dikaji dalam penelitian ini meliputi perkuatan struktur dan badan jalan KA untuk meningkatkan kepadatan, kuat geser tanah, dan/atau ketahanan likuifaksi; serta untuk mengurangi: kompresibilitas, permeabilitas, dan penurunan tanah pada saat kondisi normal maupun pada saat dibebani oleh kereta api yang melintas. Pada bagian akhir dari penelitian ini kajian meliputi perbaikan trase, perbaikan struktur badan jalan KA, desain tembok penahan tanah, saluran drainase, perlintasan KA. Tahapan pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan pada jalur kereta api lintas Tarahan–Tanjungenim, khususnya pada segmen Km. 139+800 hingga Km. 233+300 – 234+300 antara Kemelak – Baturaja di Kabupaten OKU Timur Provinsi Sumatera Selatan. Lokasi tersebut merupakan bagian dari jaringan strategis angkutan batu bara Babarajang dan diketahui mengalami penurunan tanah signifikan yang mengganggu kestabilan jalur rel. Hasil observasi lapangan menunjukkan beberapa permasalahan utama, yaitu terjadinya penurunan elevasi rel. Selain itu, di beberapa titik sering terjadi genangan air akibat sistem drainase yang tidak berfungsi optimal sehingga menyebabkan terjadinya *mud pumping*, amblesan, serta erosi pada kaki lereng badan jalan rel. Di beberapa titik, PT KAI telah melakukan penanganan sementara menggunakan bronjong dan plat beton pada segmen, namun efektivitasnya masih terbatas terhadap tekanan air pori dan deformasi dinamis jangka panjang. Gambar 3 menunjukkan beberapa contoh permasalahan yang terjadi di lokasi penelitian.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian



(a) Kondisi longsor pada lereng



(b) Kondisi Mud Pumping

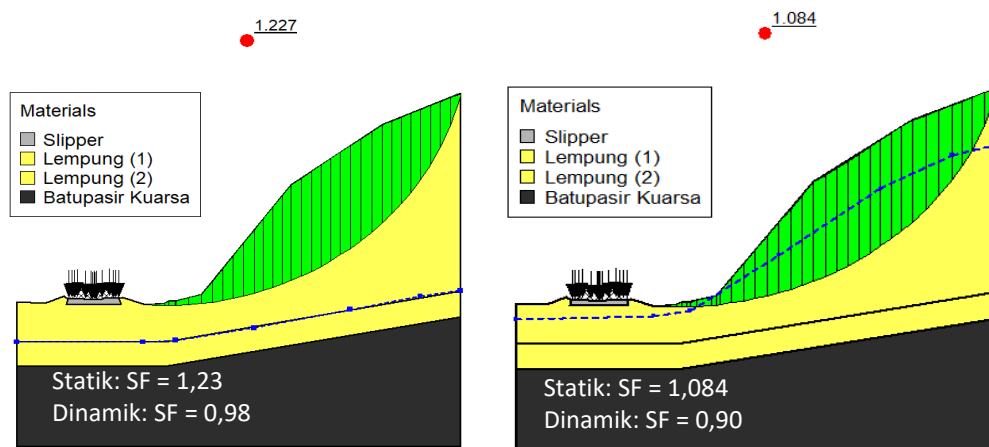
Gambar 3. Permasalahan di Lokasi Penelitian

Analisis data curah hujan maksimum harian yang diperoleh dari data pos hujan pada periode 1993 – 2024 dari Stasiun Martapura menunjukkan nilai puncak sebesar 502,8 mm, dengan distribusi yang paling sesuai berdasarkan analisis perbandingan beberapa metode, diperoleh bahwa parameter yang paling sesuai dengan analisis yaitu menggunakan Log Pearson Tipe III, sebagaimana dianalisis melalui uji *skewness* dan *kurtosis* [4]. Berdasarkan hasil perhitungan curah hujan rancangan dengan kala ulang 10 tahun, diperoleh intensitas sebesar 453,10 mm/jam. Hasil ini menjadi dasar dalam menentukan dimensi drainase permukaan dan perencanaan sistem pembuangan air di lokasi studi.

Perkuatan Tebing dan badan Jalan KA Di Lokasi Rel dengan Retaining Wall

Uji mekanika tanah lapangan menunjukkan bahwa tanah di lokasi penelitian didominasi oleh lempung lunak hingga sedang dengan nilai *cone resistance* (qc) antara 14–66 kg/cm² pada kedalaman 1–3 meter. Nilai ini menunjukkan konsistensi lunak sampai sangat kaku di bawah

permukaan, dengan lapisan atas yang sangat rentan terhadap deformasi. Setelah dilakukan kajian dan analisis dengan menggunakan menggunakan bantuan Geoslope analysis, diperoleh kesimpulan bahwa kondisi lereng eksisting masuk dalam kategori tidak aman. Hal tersebut dapat terlihat pada hasil perhitungan dimana angka keamanan lereng berada pada kisaran 1,084 sd 1,23 untuk statik serta 0,90 sampai 0,98 untuk dinamik dimana nilai tersebut telah dikonfirmasi dimana adanya indikasi infiltrasi air pada batuan lapuk yang menyebabkan terjadinya erosi di kaki lereng yang mengakibatkan massa tanah lereng di atasnya tidak stabil. Dengan demikian, kondisi eksisting dapat dikatakan potensi longsor masih dapat terjadi jika tidak ditangani segera. Gambar 4 memperlihatkan analisis perhitungan kestabilan lereng eksisting.

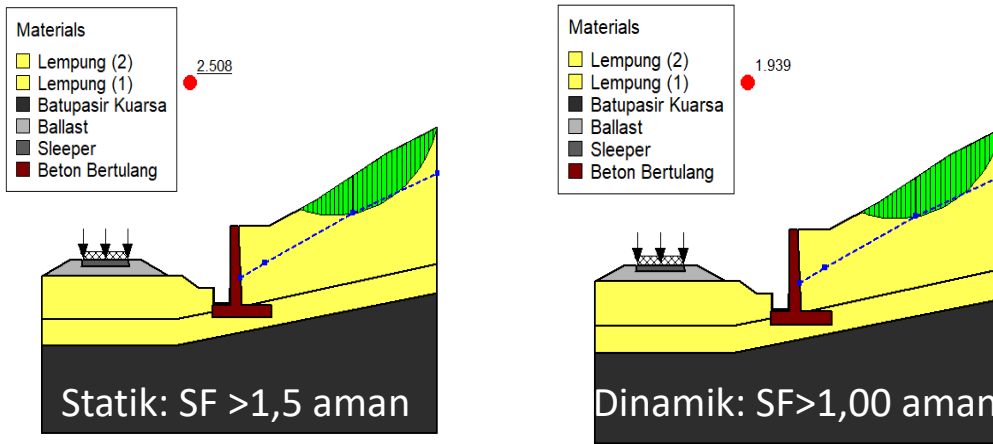


Gambar 4. Analisis Perhitungan Kestabilan Lereng Eksisting

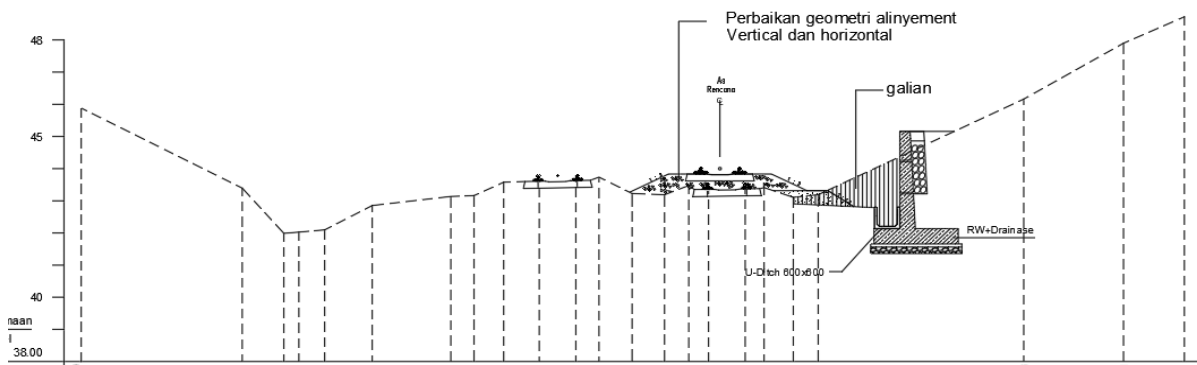
Upaya yang dilakukan yaitu memasang tembok penahan tanah pada bagian kaki lereng. Hasil simulasi menunjukkan bahwa adanya peningkatan angka keamanan lereng setelah pemasangan. Selain itu, angka keamanan static dan dinamik pada kondisi setelah pemasangan retaining wall menunjukkan angka 2,508 untuk kondisi normal dan 1,939 pada saat kondisi MAT naik. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa konstruksi dapat mengamankan lereng dari bahaya longsor. Gambar di bawah ini menunjukkan hasil pengamanan lereng pada daerah galian dengan menggunakan retaining wall dan system drainase. Fungsi penanganan pada kasus ini yaitu:

- Dinding Penahan Tanah → Sebagai perkuatan untuk menambah *resisting force*
- Penataan geometri lereng (melandaikan lereng) → Menurunkan *driving force*
- Saluran drainase dan macmat → Menurunkan risiko erosi permukaan.

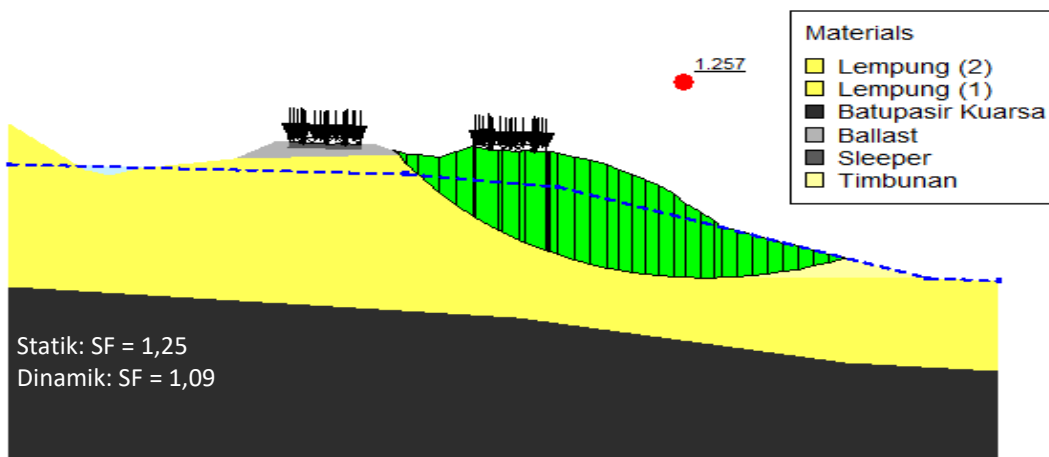
Gambar 5 di bawah ini menunjukkan simulasi pengamanan lereng setelah dilakukan perkuatan dengan retaining wall. Adapun usulan tipe tembok penahan tanah pada kegiatan ini disajikan pada Gambar 6. Kajian selanjutnya yaitu melakukan pemodelan terhadap kondisi lereng eksisting pada daerah timbunan. Hasil kajian menunjukkan bahwa kondisi lereng badan jalan KA pada daerah timbunan masih labil terhadap keruntuhan dimana angka keamanan hasil perhitungan yaitu 1,25 untuk statik dan 1,09 untuk dinamik. Hal tersebut diakibatkan adanya erosi di kaki lereng yang mengakibatkan massa tanah di atasnya labil. Hal tersebut dapat diakibatkan oleh system drainase yang tidak baik terutama pada saat terjadi hujan dimana infiltrasi air hujan pada badan jalan KA dapat menurunkan tahanan geser tanah. Gambar 7 di bawah ini menunjukkan contoh pemodelan kondisi eksisting badan jalan KA pada Km. 233+775.



Gambar 5. Hasil Analisis kondisi lereng Setelah dilakukan Pengamanan



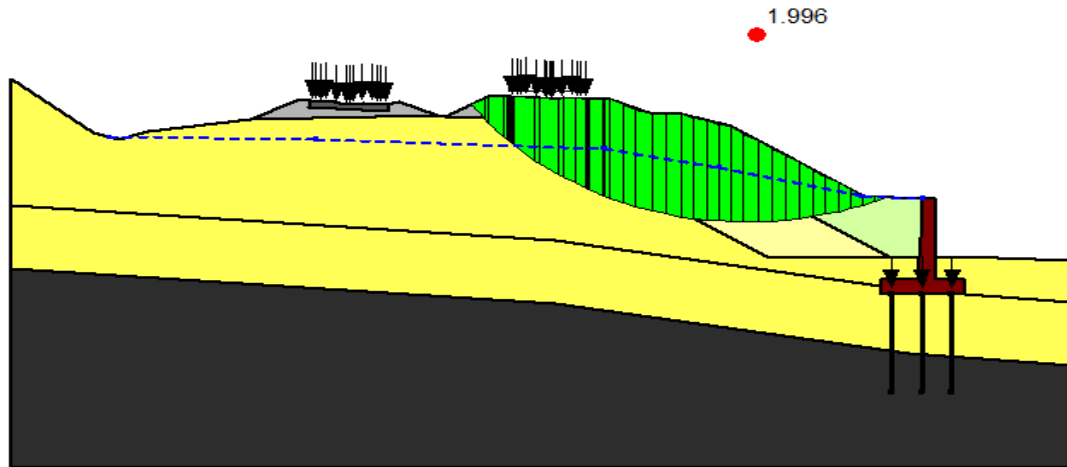
Gambar 6. Desain Konstruksi Dinding Penahan Tanah



Gambar 7. Simulasi Kestabilan Badan Jalan KA Eksisting Timbunan Tanpa Perkuatan

Upaya pengamanan yang dapat dilakukan yaitu melakukan pengamanan pada bagian kaki timbunan. Konsep pengamanan yang ditawarkan yaitu dengan metode Retaining Wall beton. Fungsi retaining wall yaitu memotong bidang longsor dan menjaga kestabilan lereng sampai menemukan kondisi yang ideal. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa dengan pengamanan

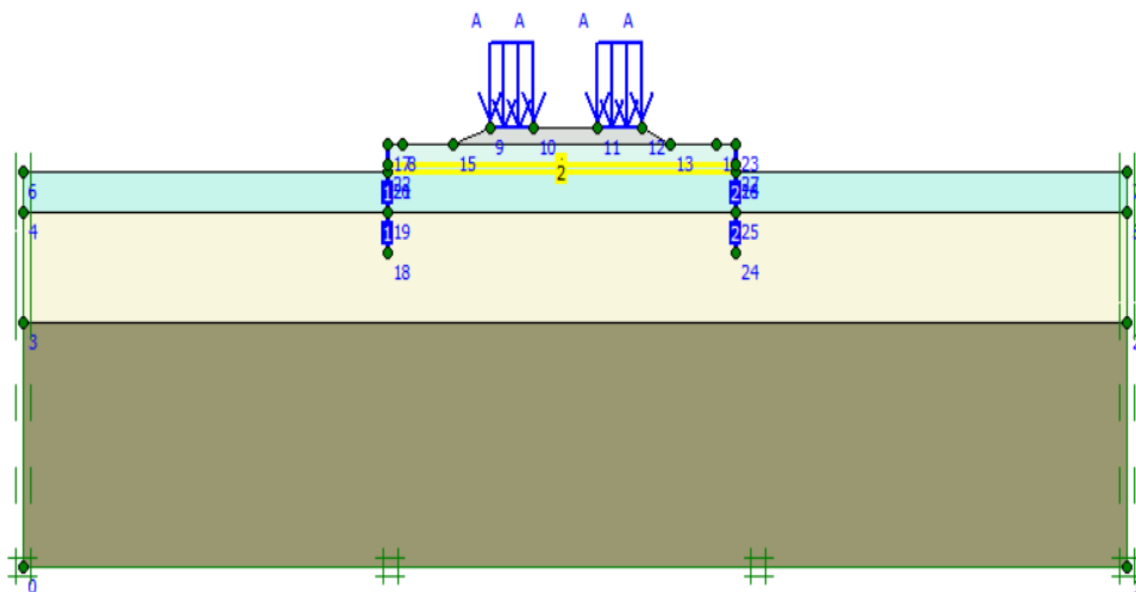
retaining wall diperoleh angka aman lereng berada di atas 1,5 yaitu 1,996. Dengan demikian, rencana pengamanan lereng dengan menggunakan retaining wall beton dapat mengatasi terjadinya keruntuhan pada lereng. Gambar 8 di bawah ini menunjukkan hasil pemodelan retaining wall pada software.



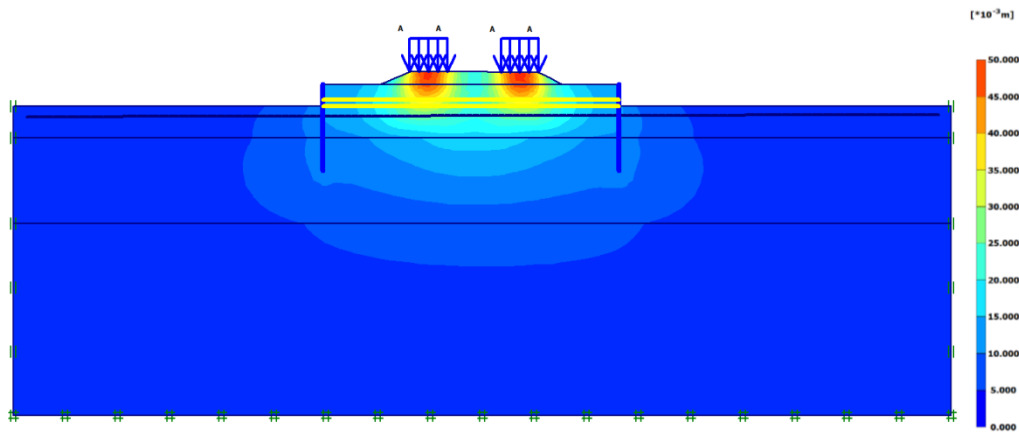
Gambar 8. Simulasi Kestabilan Badan Jalan KA Eksisting Timbunan Setelah Perkuatan.

Penataan Geometri Badan Jalan KA

Selain pemasangan retaining wall, penataan geometri lereng dilakukan untuk mengembalikan dimensi badan jalan KA yang mengalami amblesan pada kondisi normal. Selain itu, perbaikan sistem drainase juga dibutuhkan untuk menurunkan risiko erosi permukaan. Dari hasil simulasi pengamanan daerah amblesan dengan menggunakan retaining wall menunjukkan bahwa penurunan dapat ditekan menjadi 4,2 cm dan faktor aman terhadap kelongsoran dapat ditingkatkan menjadi 1,6. Gambar 9 dan Gambar 10 di bawah ini menunjukkan simulasi pemodelan pada badan jalan KA yang mengalami ambles.

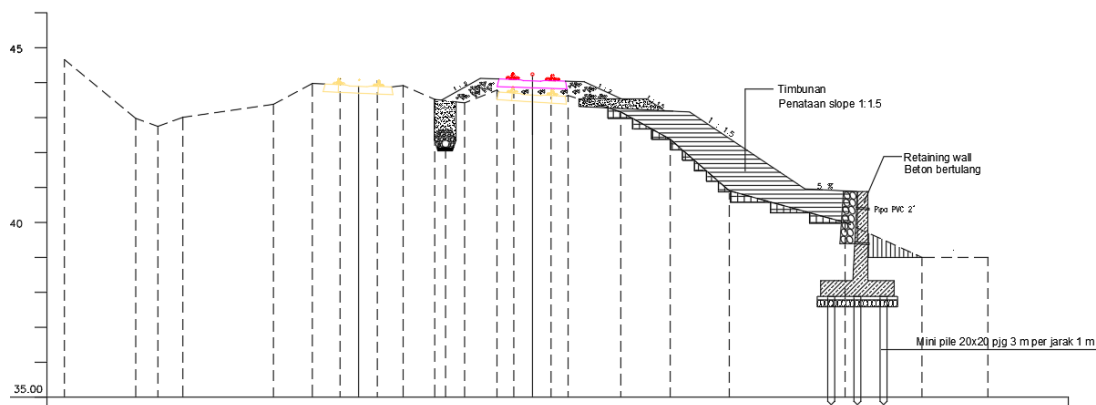


Gambar 9. Pemodelan simulasi Retaining Wall pada Lokasi Rawan Ambles



Gambar 10. Hasil simulasi penurunan dengan perkuatan retaining Wall pada lokasi amblesan

Penempatan posisi retaining wall disesuaikan dengan kondisi lokasi. Pada kegiatan ini, terdapat 5 tipe retaining wall yang akan ditempatkan di masing – masing lokasi rencana penanganan. Pemasangan retaining wall akan dilakukan pada badan jalan KA posisi timbunan yaitu sepanjang 350 m pada km. 233+000 sampai dengan Km. 233+350. Adapun tipikal gambar desain retaining wall pada Lokasi timbunan jalan KA dapat dilihat pada Gambar 11 di bawah ini.

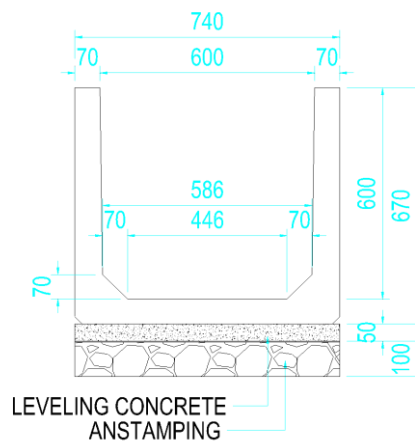


Gambar 11. Penempatan retaining wall pada daerah timbunan

Penataan Sistem Drainase

Saluran drainase merupakan konstruksi yang sangat penting untuk menjaga keutuhan dan kestabilan struktur badan jalan KA. Selain itu, Beberapa fungsi drainase pada konstruksi jalan KA adalah mencegah erosi ballast dan mud pumping. Prinsip utama dalam perencanaan saluran drainase adalah dapat mengalirkan dan membuang air secepatnya agar tidak terjadi genangan dan air terkekang yang dapat menyebabkan turunnya daya dukung badan jalan KA pada saat terjadi hujan.

Desain saluran drainase di sepanjang rencana perbaikan adalah sistem drainase permukaan yang dibagi menjadi 2 tipe, yaitu saluran drainase gendong, dan saluran drainase tipe U ditch. Saluran drainase gendong juga berfungsi sebagai tembok penahan tanah pada badan jalan KA. Penempatan dan penentuan dimensi saluran drainase dikaji berdasarkan elevasi dan besarnya debit banjir yang terjadi di masing – masing lokasi. Untuk rencana tipe saluran drainase ditentukan berdasarkan ketersediaan material yang sudah difabrikasi, yaitu U ditch tipe 0,6m x 0,6m sepanjang 450 m yaitu dari Km. 233+050 sampai dengan km. 233+500 di sebelah kanan. Gambar 12 di bawah ini menunjukkan tipikal desain rencana saluran drainase di lokasi penelitian.



Gambar 12. Tipikal saluran drainase U Ditch ukuran 0,6 x 0,6 m

KESIMPULAN

Hasil observasi lapangan menunjukkan beberapa permasalahan utama, yaitu terjadinya penurunan elevasi rel. Selain itu, di beberapa titik sering terjadi genangan air akibat sistem drainase yang tidak berfungsi optimal sehingga menyebabkan terjadinya *mud pumping*, amblesan, serta erosi pada kaki lereng badan jalan rel. Hasil perhitungan dimana angka keamanan lereng berada pada kisaran 1,084 sd 1,23 untuk statik serta 0,90 sampai 0,98 untuk dinamik dimana nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi eksisting badan jalan KA dapat dikatakan berpotensi besar terjadi longsor jika tidak ditangani segera. Upaya yang dilakukan yaitu memasang tembok penahan tanah pada bagian kaki lereng. Hasil simulasi menunjukkan bahwa adanya peningkatan angka keamanan lereng setelah perkuatan dengan retaining wall yaitu 2,508 untuk kondisi normal dan 1,939 pada saat kondisi MAT naik. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa konstruksi dapat mengamankan lereng dari bahaya longsor. Pemasangan retaining wall akan dilakukan pada badan jalan KA posisi timbunan yaitu sepanjang 350 m pada km. 233+000 sampai dengan Km. 233+350. Perbaikan sistem drainase juga dibutuhkan untuk menurunkan risiko erosi permukaan. Saluran drainase gendong juga berfungsi sebagai tembok penahan tanah pada badan jalan KA dengan material U ditch tipe 0,6m x 0,6m sepanjang 450 m yaitu dari Km. 233+050 sampai dengan km. 233+500 di sebelah kanan. Diharapkan dengan adanya perkuatan pada lereng dan perbaikan sistem drainase yang baik maka penurunan tanah dasar tidak akan terjadi pada badan jalan KA.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 32 Tahun 2024 tentang Tata Cara Penyelenggaraan Kewajiban Pelayanan Publik (PSO) untuk Angkutan Orang Kelas Ekonomi pada Kereta Api*. Jakarta, Indonesia: Kemenhub RI, 2024.
- [2] PT Kereta Api Indonesia (KAI), *Laporan Statistik Penumpang dan Infrastruktur Perkeretaapian Nasional 2025*. Bandung, Indonesia: PT KAI, 2025.
- [3] H. Dwiatmoko, D. Supriyatno, and S. W. Mudjanarko, "The role of railway infrastructure development on the regional economic growth," *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, vol. 11, no. 1, pp. 125–135, 2020, doi: 10.30880/ijscet.2020.11.01.013.
- [4] S. Harto, *Analisis Hidrologi*. Jakarta, Indonesia: Gramedia Pustaka Utama, 1993.

- [5] C. Charoenwong, D. P. Connolly, P. K. Woodward, P. Galvín, and P. Alves Costa, “Analytical forecasting of long-term railway track settlement,” *Computers and Geotechnics*, vol. 143, p. 104601, 2022, doi: 10.1016/j.compgeo.2021.104601.
- [6] A. W. Skempton and L. Bjerrum, “A contribution to the settlement analysis of foundations on clay,” *Géotechnique*, vol. 7, no. 4, pp. 168–178, 1957, doi: 10.1680/geot.1957.7.4.168.
- [7] K. Terzaghi and R. B. Peck, *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York, NY, USA: Wiley, 1948.
- [8] U. Kim and D. S. Kim, “Field studies on low and fast compressibility of cement-mixed gravel in railway embankment construction,” *PLOS ONE*, vol. 18, no. 8, p. e0288884, 2023, doi: 10.1371/journal.pone.0288884.
- [9] Y. G. R. Puteri, S. H. Utomo, and M. R. Fahmi, “Implementation of Geosynthetic-Reinforced Soil (GRS) for railway project in Indonesia,” *Ranah Research Journal*, vol. 7, no. 5, pp. 3383–3395, 2025, doi: 10.38035/rrj.v7i5.1523.
- [10] Z. Zhao and L. Zheng, “Influences of the geogrid-reinforced soil platform on the performance of pile-supported embankment,” *Frontiers in Earth Science*, vol. 12, p. 1486831, 2024, doi: 10.3389/feart.2024.1486831.
- [11] R. Kang and A. Kadar, “Geotechnical solutions for railway embankment settlement issues,” ResearchGate, 2020.