

PENDEKATAN GEOTEKNIK ADAPTIF UNTUK INFRASTRUKTUR JALAN DI TANAH LUNAK: STUDI KASUS KM 28 BATUAH, KUKAR

Yanti*, Adde Currie Siregar, Ulwiyah Wahdah Mufassirin Liana, Fitriyati Agustina

* Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur, Samarinda,
Kalimantan Timur

*Email: yy229@umkt.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerusakan jalan pada tanah lunak di KM 28 Desa Batuah, Kabupaten Kutai Kartanegara, dengan pendekatan geoteknik berbasis nilai *California Bearing Ratio* (CBR), penurunan tanah (*settlement*), dan stabilitas lereng. Metode penelitian meliputi investigasi lapangan, pengambilan sampel tanah, serta pengujian laboratorium untuk memperoleh parameter tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah dasar didominasi oleh lempung lunak dengan nilai CBR sebesar 3–5%, yang menunjukkan kondisi *subgrade* tidak layak. Analisis *settlement* berdasarkan teori konsolidasi menunjukkan penurunan teoritis sebesar ± 45 cm, sedangkan kondisi lapangan mencapai 30–80 cm, yang mengindikasikan deformasi berlebih. Selain itu, analisis stabilitas lereng menunjukkan faktor keamanan kurang dari 1 pada kondisi jenuh, sehingga berpotensi mengalami longsor. Temuan ini menunjukkan bahwa kerusakan jalan dipengaruhi oleh kombinasi tanah lunak, beban lalu lintas, dan kondisi drainase yang tidak optimal. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan tanah dan sistem drainase untuk meningkatkan kinerja dan ketahanan jalan.

Kata kunci: CBR, *settlement*, stabilitas lereng, tanah lunak, jalan

Abstract

This study aims to analyze road failure on soft soil at KM 28 Batuah, Kutai Kartanegara, using a geotechnical approach based on California Bearing Ratio (CBR), settlement, and slope stability. The methodology includes field investigation, soil sampling, and laboratory testing to obtain soil parameters. The results indicate that the subgrade consists of soft clay with a CBR value of 3–5%, indicating poor subgrade conditions. Settlement analysis based on consolidation theory shows a theoretical settlement of approximately 45 cm, while field observations range from 30 to 80 cm, indicating excessive deformation. In addition, slope stability analysis shows a safety factor of less than 1 under saturated conditions, indicating instability and potential failure. These findings demonstrate that road damage is caused by the combined effects of weak soil, traffic loads, and inadequate drainage. Therefore, ground improvement and proper drainage systems are required to enhance road performance and durability.

Keywords: CBR, *settlement*, slope stability, soft soil, road

1. PENDAHULUAN

Perkembangan infrastruktur jalan di Indonesia, khususnya di wilayah Kalimantan Timur, memiliki peran strategis dalam mendukung konektivitas antarwilayah serta distribusi logistik (Yatnikasari et al., 2023). Salah satu ruas penting adalah Jalan Batuah KM 28 di Kabupaten Kutai Kartanegara yang menjadi jalur vital bagi mobilitas masyarakat dan angkutan barang, termasuk kendaraan bertonase tinggi dari sektor pertambangan dan perkebunan (Utari, 2025). Namun, dalam beberapa tahun terakhir, ruas jalan ini mengalami kerusakan serius berupa penurunan badan jalan (*settlement*), retak memanjang, serta deformasi permanen yang mengganggu kelancaran lalu lintas dan membahayakan pengguna jalan.

Secara geoteknik, kondisi tanah di wilayah Kalimantan Timur umumnya didominasi oleh tanah lempung lunak dengan karakteristik daya dukung rendah, kompresibilitas tinggi, serta sensitivitas terhadap perubahan kadar air. Berdasarkan hasil pengujian sifat fisis tanah area Jalan Batuah KM 28 di laboratorium, diperoleh nilai kadar air (w) berkisar antara 45–65%, batas cair (*Liquid Limit*, LL) sebesar 60–80%, serta indeks plastisitas (*Plasticity Index*, PI) sebesar 30–45%. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa tanah memiliki plastisitas dan kadar air yang tinggi. Pengujian plastisitas tanah dilakukan menggunakan metode batas *Atterberg*, yang meliputi pengujian batas cair (*Liquid Limit*, LL) menggunakan alat *Casagrande* sesuai standar ASTM D4318, serta pengujian batas plastis (*Plastic Limit*, PL) dengan metode penggulungan manual. Dengan demikian, berdasarkan posisi data pada diagram plastisitas, tanah pada lokasi penelitian diklasifikasikan sebagai CH (*Clay of High Plasticity*) atau lempung plastisitas tinggi. Tanah jenis ini memiliki karakteristik

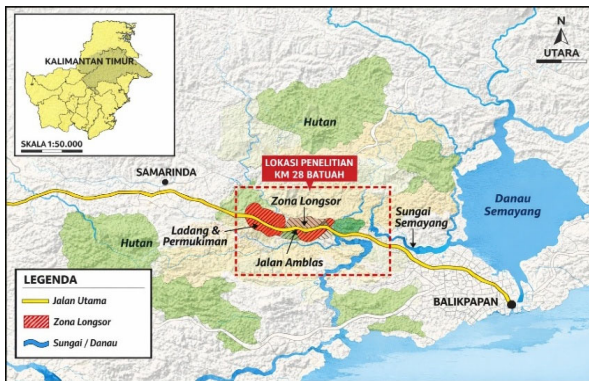
daya dukung rendah, kompresibilitas tinggi, serta sensitivitas tinggi terhadap perubahan kadar air, sehingga berpotensi mengalami penurunan (*settlement*) yang besar dan ketidakstabilan lereng pada konstruksi jalan.

Karakteristik tanah lempung plastisitas tinggi tersebut sejalan dengan pendapat Hardiyatmo (2012), yang menjelaskan bahwa tanah lempung lunak umumnya memiliki perilaku deformasi yang besar akibat kompresibilitas tinggi dan rendahnya kemampuan tanah dalam menahan beban. Kondisi ini menyebabkan tanah lebih rentan mengalami penurunan (*settlement*) serta kehilangan kestabilan apabila menerima beban konstruksi secara terus-menerus dalam jangka panjang.

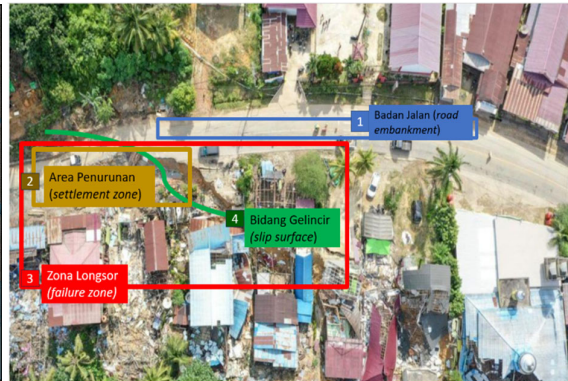
Menurut Das (2018), tanah lempung lunak dengan nilai CBR kurang dari 5% dan nilai SPT rendah (<10) memiliki kecenderungan mengalami deformasi besar ketika menerima beban berulang. Selain itu, penelitian oleh Craig (2004) menunjukkan bahwa tanah dengan kadar air tinggi akan mengalami peningkatan tekanan air pori yang signifikan, sehingga menurunkan kekuatan geser tanah dan memicu penurunan serta ketidakstabilan.

Kerusakan jalan pada tanah lunak merupakan permasalahan umum dalam rekayasa geoteknik, khususnya pada wilayah dengan dominasi tanah lempung lunak seperti Kalimantan Timur. Tanah jenis ini memiliki karakteristik daya dukung rendah, kompresibilitas tinggi, dan sensitif terhadap perubahan kadar air.

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisis tanah, diperoleh kadar air (*w*) sebesar 45–65%, batas cair (*LL*) 60–80%, dan indeks plastisitas (*PI*) 30–45%, yang mengindikasikan tanah tergolong lempung plastisitas tinggi (*CH*).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian



Gambar 2. Longsor ruas jalan KM 28 Batuah

Perhitungan *settlement* mengacu pada teori konsolidasi Terzaghi (1943), sedangkan analisis stabilitas lereng menggunakan metode *limit equilibrium*.

Perhitungan penurunan tanah (*settlement*) dan stabilitas lereng memerlukan parameter geoteknik utama seperti indeks kompresi (*C_c*), kohesi (*c*), sudut geser dalam (*φ*), berat volume tanah (*γ*), serta kondisi tegangan dan tekanan air pori. Parameter-parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi perilaku tanah terhadap pembebanan dan kestabilan konstruksi, sebagaimana dijelaskan dalam prinsip-prinsip mekanika tanah oleh Hardiyatmo (2014).

$$S = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log_{10} \left(\frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0} \right) \quad (1)$$

dengan:

- S* = *settlement*: besarnya penurunan tanah (m)
- C_c* = *compression index*: Tingkat kemampatan tanah
- H* = Tebal lapisan tanah (m)
- e₀* = *Void ratio* awal: Banyaknya rongga tanah
- σ₀* = Tegangan awal: Beban tanah sebelum konstruksi (kPa)
- Δσ* = Tambahan tegangan: Beban dari jalan (kPa)
- log₁₀* = logaritma basis 10 yang digunakan dalam analisis konsolidasi tanah sesuai teori Terzaghi (1943)

Perhitungan faktor keamanan lereng (*safety factor*) untuk penelitian ini menggunakan persamaan

$$SF = \frac{c' + (\sigma - u) \tan \phi'}{\tau} \quad (2)$$

dengan:

SF = *Safety factor*
 c' = kohesi efektif (kPa)
 σ = tegangan normal (kPa)
 u = tekanan air pori (kPa)
 ϕ' = sudut geser dalam ($^{\circ}$)
 τ = tegangan geser

Rumus Tegangan Awal

$$\sigma_0 = \gamma \cdot H \quad (3)$$

Keterangan:

γ = berat volume tanah (kN/m³)
 H = kedalaman lapisan tanah (m)

Rumus Tambahan Tegangan

$$\Delta \sigma = \gamma \cdot h \quad (4)$$

Keterangan:

h = tinggi timbunan (m)

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji kegagalan perkerasan jalan pada tanah lunak dengan pendekatan CBR dan stabilisasi tanah, seperti yang dikemukakan oleh Yoder & Witczak (1975), yang menyatakan bahwa nilai CBR merupakan parameter utama dalam menentukan ketahanan *subgrade* terhadap deformasi. Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih bersifat umum dan belum secara spesifik mengkaji keterkaitan antara nilai CBR, besarnya penurunan (*settlement*), serta stabilitas lereng pada kondisi lapangan yang kompleks seperti di KM 28 Jalan Batuah yang dipengaruhi oleh kombinasi beban lalu lintas berat, kondisi drainase yang kurang optimal, dan karakteristik tanah lunak yang tebal.

Berdasarkan kajian literatur tersebut, terdapat kesenjangan (*gap*) penelitian berupa belum adanya analisis komprehensif yang mengintegrasikan parameter CBR, *settlement*, dan stabilitas lereng secara simultan dalam mengevaluasi kegagalan jalan pada lokasi spesifik KM 28 Jalan Batuah. Penelitian sebelumnya cenderung memisahkan masing-masing parameter tanpa memberikan gambaran menyeluruh mengenai mekanisme kegagalan yang terjadi di lapangan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mampu menggabungkan ketiga parameter tersebut dalam satu kerangka analisis untuk menghasilkan evaluasi yang lebih akurat dan aplikatif.

Dengan demikian, tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis penyebab kegagalan jalan di KM 28 Jalan Batuah berdasarkan parameter utama berupa nilai CBR tanah dasar, besarnya penurunan (*settlement*) yang terjadi, serta stabilitas lereng/timbunan, sehingga dapat diperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai mekanisme kerusakan jalan serta rekomendasi teknis yang tepat dalam upaya perbaikan dan pencegahan kerusakan di masa mendatang.

2. METODOLOGI

Penelitian ini difokuskan pada ruas jalan poros Samarinda–Balikpapan KM 28 yang terletak di Desa Batuah, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Ruas ini merupakan bagian dari koridor strategis penghubung logistik antara Kota Samarinda, Kota Balikpapan, dan kawasan Ibu Kota Nusantara (IKN).

Tabel 1. Ringkasan Data Teknis

Parameter	Nilai
Status jalan	Nasional
Tipe jalan	2/2 UD
Lebar jalan	$\pm 9 - 11$ m
Panjang kerusakan	± 300 m
LHR	8.000 – 15.000 kendaraan/hari
Kendaraan berat	30 – 40%
Jenis kerusakan	Longsor + amblas

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis lapangan dan laboratorium untuk mengevaluasi kondisi *subgrade* jalan di KM 28 Jalan Batuah, Kabupaten Kutai Kartanegara. Metodologi penelitian dirancang untuk memperoleh data yang representatif mengenai kekuatan tanah, deformasi, dan stabilitas lereng. Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap yang saling terkait, yaitu: pengumpulan data lapangan, pengambilan sampel tanah, pengujian laboratorium, analisis data, dan interpretasi hasil.

a) Data yang Digunakan

Jenis data yang digunakan meliputi:

1. Data lapangan:

- Nilai CBR *subgrade* pada berbagai titik pengambilan.
- Kedalaman dan karakteristik tanah melalui uji SPT (*Standard Penetration Test*).
- Pengukuran dimensi timbunan jalan, lereng, dan kemiringan saluran drainase.
- Data curah hujan dan kondisi drainase sebagai faktor eksternal.

2. Data laboratorium:

- Kadar air (w), batas cair (LL), batas plastis (PL), dan indeks plastisitas (PI).
- Kohesi (c) dan sudut geser internal (ϕ) melalui uji geser langsung.
- *Settlement* teoritis berdasarkan parameter konsolidasi satu dimensi.

Semua data dikumpulkan dari lokasi penelitian pada KM 28 Jalan Batuah selama periode pengambilan sampel bulan Januari 2026.

b) Alat dan Bahan

1. Alat yang digunakan meliputi:

- Bor tanah manual dan core sampler untuk pengambilan sampel.
- Peralatan uji laboratorium geoteknik standar (*oven* pengering, alat uji CBR, konsolidometer, uji geser langsung).
- GPS dan *leveling instrument* untuk pengukuran topografi lapangan.

2. Bahan yang digunakan antara lain:

- Sampel tanah asli dari kedalaman 0–10 m.
- Air distilasi untuk uji konsolidasi dan CBR.

c) Proses Pengumpulan dan Pemilahan Data

1. Survei Lapangan:

Dilakukan pemetaan kondisi badan jalan, identifikasi titik-titik kritis dengan deformasi tinggi, dan koordinasi titik pengambilan sampel tanah.

2. Pengambilan Sampel Tanah:

Sampel diambil secara *stratified* berdasarkan kedalaman: 0–2 m, 2–5 m, dan 5–10 m. Setiap sampel diberi label dan dibawa ke laboratorium untuk pengujian.

3. Pengujian Laboratorium:

- Pengujian CBR dilakukan sesuai standar ASTM D1883 (2021)
- Uji konsolidasi untuk menentukan *settlement* teoritis mengikuti metode Terzaghi (1943).
- Uji geser langsung untuk memperoleh parameter kekuatan geser tanah (c dan ϕ).

4. Validasi Data:

Setiap hasil diuji ulang minimal dua kali untuk memastikan konsistensi. Data yang tidak konsisten atau terkontaminasi diabaikan dan diganti dengan sampel cadangan.

d) Analisis Data

Analisis dilakukan dalam tiga fokus utama:

1. Analisis CBR:

Menentukan tingkat kelayakan *subgrade* sesuai kategori CBR (sangat rendah, rendah, cukup) dan rekomendasi stabilisasi.

2. Analisis *Settlement*:

- Menghitung penurunan teoritis berdasarkan parameter konsolidasi dan membandingkan dengan pengukuran lapangan. Menentukan faktor penyebab selisih antara teori dan lapangan (*secondary consolidation*, beban berulang, drainase buruk).

3. Analisis Stabilitas Lereng:

- Menghitung faktor keamanan (SF) timbunan dan lereng berdasarkan metode *limit equilibrium* (*Coulomb*).
- Menentukan kondisi kritis saat hujan (jenuh) versus kering.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik tanah, menganalisis penyebab kerusakan jalan, serta merumuskan solusi teknis pada ruas jalan KM 28 Desa Batuah. Berdasarkan hasil investigasi lapangan dan pengujian laboratorium, diperoleh data sebagai berikut:

3.1. Analisis Nilai CBR *Subgrade*

Berdasarkan Tabel 2, hasil pengujian laboratorium pada sampel tanah KM 28 Jalan Batuah, diperoleh nilai CBR berkisar antara 3%–5%. Nilai ini menunjukkan bahwa tanah dasar tergolong tanah lemah (*weak subgrade*). Nilai CBR tersebut menunjukkan bahwa tanah dasar belum memenuhi kriteria daya dukung yang memadai untuk mendukung konstruksi perkerasan jalan secara optimal. Menurut AASHTO (1993), nilai daya dukung tanah dasar merupakan salah satu parameter utama dalam menentukan kinerja dan umur layanan struktur perkerasan jalan.

Tabel 2. Hasil Analisis CBR *Subgrade*

No	Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Nilai CBR	3 – 5	%	Termasuk tanah lemah (<i>subgrade</i> buruk)
2	Standar Minimum	≥ 6	%	Syarat <i>subgrade</i> layak (Bina Marga)
3	Klasifikasi	Rendah	-	Tidak memenuhi syarat konstruksi
4	Dampak	-	-	Jalan rentan mengalami deformasi dan retak
5	Kesimpulan	Tidak layak	-	Wajib dilakukan perbaikan tanah

3.2. Analisis *Settlement* (Penurunan Tanah)

Tabel 3. Hasil Perhitungan *Settlement* (Penurunan Tanah)

No	Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Indeks kompresi (C_c)	0.30	-	Tanah sangat kompresibel
2	Tebal lapisan (H)	10	m	Lapisan tanah lunak tebal
3	<i>Void ratio</i> (e_0)	1.0	-	Banyak rongga $\rightarrow$ mudah turun
4	Tegangan awal (σ_0)	170	kPa	Kondisi awal tanah
5	Tambahan tegangan ($\Delta\sigma$)	50	kPa	Beban dari lalu lintas
6	<i>Settlement</i> teoritis	45	cm	Hasil perhitungan konsolidasi
7	<i>Settlement</i> lapangan	30 – 80	cm	Kondisi nyata di lokasi
8	Selisih	Tinggi	-	Dipengaruhi air & beban berulang
9	Status	Kritis	-	Melebihi batas toleransi jalan

Berdasarkan Tabel 3, hasil analisis menunjukkan bahwa tanah memiliki sifat sangat kompresibel dengan indeks kompresi 0,30 dan *void ratio* 1,0, sehingga mudah mengalami penurunan. Tegangan awal (σ_0) dihitung berdasarkan tegangan *overburden* menggunakan persamaan $\sigma_0 = \gamma H$ dengan mempertimbangkan berat volume tanah lempung lunak sebesar 16–18 kN/m³ dan ketebalan lapisan tanah lunak sebesar 10 m, sehingga diperoleh nilai tegangan awal berkisar 160–180 kPa dan digunakan nilai representatif sebesar 170 kPa.

Tambahan tegangan ($\Delta\sigma$) ditentukan dari kombinasi beban timbunan dan beban lalu lintas, di mana beban timbunan menghasilkan tegangan sekitar 45–50 kPa, sedangkan beban lalu lintas memberikan tambahan sekitar 5–10 kPa, sehingga diperoleh nilai $\Delta\sigma$ sebesar 50 kPa. Dengan parameter tersebut, diperoleh nilai *settlement* teoritis sebesar ± 45 cm, yang sejalan dengan kondisi lapangan sebesar 30–80 cm. Nilai ini menunjukkan bahwa tanah mengalami penurunan yang signifikan dan berpotensi melebihi batas toleransi perkerasan jalan.

Menurut Fedriawan (2022), besarnya penurunan tanah dipengaruhi oleh sifat kompresibilitas tanah serta kondisi pembebanan. Oleh karena itu, diperlukan upaya perbaikan tanah seperti penggunaan geotekstil atau metode perkuatan lainnya untuk mengurangi besarnya *settlement* pada konstruksi jalan di atas tanah lunak (Putri et al., 2025). Temuan tersebut diperkuat oleh penelitian Aslam dan Gofar (2022) yang menunjukkan bahwa kombinasi metode stabilisasi dan perkuatan tanah mampu meningkatkan stabilitas timbunan serta mengurangi deformasi pada tanah lunak yang menerima beban lalu lintas.

Analisis Stabilitas Lereng (*Slope Stability*)

Tabel 4. Hasil Analisis Stabilitas Lereng

No	Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Kohesi (c)	15	kPa	Kekuatan tanah rendah
2	Sudut geser (ϕ)	10	°	Tanah mudah longsor
3	Tinggi lereng (H)	6	m	Timbunan cukup tinggi
4	Sudut lereng (β)	30	°	Kemiringan sedang
5	SF (kering)	1.3	-	Stabil minimum
6	SF (jenuh)	0.60 – 0.95	-	Tidak stabil
7	Standar aman	≥ 1.5	-	Tidak terpenuhi
8	Kesimpulan	Tidak aman	-	Risiko longsor tinggi saat hujan

Berdasarkan Tabel 4 di atas, analisis stabilitas lereng menunjukkan bahwa tanah memiliki kekuatan rendah dengan kohesi 15 kPa dan sudut geser 10°. Nilai SF sebesar 1,3 pada kondisi kering masih tergolong stabil minimum, namun turun menjadi 0,60–0,95 saat jenuh sehingga lereng dinyatakan tidak aman dan berisiko longsor saat hujan. Studi menunjukkan bahwa lereng dengan nilai SF < 1 dikategorikan tidak stabil, sedangkan standar keamanan yang direkomendasikan adalah SF $\geq 1,5$ untuk menjamin kestabilan lereng dalam jangka panjang (Wintoro et al., 2025). Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Arifin et al. (2025) yang menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan (*safety factor*) yang rendah merupakan indikator utama potensi kegagalan lereng pada infrastruktur transportasi, terutama pada kondisi tanah yang memiliki kekuatan geser rendah dan dipengaruhi oleh peningkatan kadar air.

Tabel 5. Sintesis Hasil Analisis Geoteknik

No	Parameter	Hasil	Keterangan
1	CBR	3 – 5%	<i>Subgrade</i> lemah
2	<i>Settlement</i>	30 – 80 cm	Penurunan sangat besar
3	Stabilitas lereng	SF < 1 (jenuh)	Longsor terjadi
4	Kondisi tanah	Lempung lunak	Kompresibilitas tinggi
5	Dampak	Kerusakan jalan	Retak, amblas, deformasi
6	Kesimpulan	Gagal geoteknik	Tidak memenuhi syarat konstruksi

Berdasarkan Tabel 5, sintesis analisis geoteknik menunjukkan tanah dasar tergolong lemah dengan CBR 3–5%, *settlement* 30–80 cm, dan stabilitas lereng SF < 1 pada kondisi jenuh. Kondisi ini berpotensi menyebabkan retak, amblas, dan deformasi jalan sehingga diperlukan perbaikan tanah sebelum konstruksi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pada ruas Jalan KM 28 Desa Batuah, Kabupaten Kutai Kartanegara, dapat disimpulkan bahwa kerusakan jalan terutama disebabkan oleh kondisi tanah dasar berupa lempung lunak dengan nilai CBR rendah sebesar 3–5%, sehingga daya dukung tanah tidak memenuhi persyaratan sebagai *subgrade* jalan. Kondisi tersebut menyebabkan tanah mudah mengalami deformasi dan tidak mampu menahan beban lalu lintas secara optimal. Selain itu, hasil analisis menunjukkan penurunan tanah yang cukup besar, dengan *settlement* teoritis sekitar 45 cm dan kondisi lapangan mencapai 30–80 cm, sehingga melebihi batas toleransi perkerasan jalan. Besarnya penurunan ini dipengaruhi oleh konsolidasi sekunder, beban kendaraan berulang, dan drainase yang kurang baik. Dari sisi stabilitas lereng, nilai faktor keamanan pada kondisi jenuh berada di bawah batas aman (SF < 1), yang menunjukkan bahwa lereng dan timbunan jalan berpotensi longsor saat curah hujan tinggi. Secara keseluruhan, kerusakan jalan di KM 28 Batuah merupakan akibat gabungan antara rendahnya daya dukung tanah, besarnya penurunan, dan ketidakstabilan lereng.

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena jumlah titik sampel yang digunakan masih sedikit dan belum dilakukan pengujian lapangan dalam jangka panjang. Selain itu, analisis yang dilakukan masih menggunakan pendekatan teoritis dan belum memanfaatkan pemodelan numerik dengan perangkat lunak geoteknik. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan lebih banyak titik pengujian, metode investigasi tanah yang lebih detail seperti CPT dan uji laboratorium lanjutan, serta analisis berbasis software agar hasilnya lebih akurat. Untuk penanganan di lapangan, diperlukan perbaikan tanah sebelum pembangunan atau rehabilitasi jalan, seperti preloading dengan *vertical drain*, penggunaan geosintetik, perbaikan drainase, serta pengawasan beban kendaraan berat agar kerusakan jalan dapat dikurangi.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan strategi penanganan infrastruktur jalan pada tanah lunak yang lebih efektif, adaptif, dan berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan karya ilmiah ini dengan baik. Proses penyusunan ini tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak yang dengan tulus memberikan kontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh dosen dan civitas akademika UMKT yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pemikiran dalam memberikan arahan, masukan, serta motivasi selama proses penelitian hingga penyusunan laporan ini selesai.

Selanjutnya, penulis mengucapkan terima kasih kepada instansi terkait yang telah memberikan izin penelitian serta menyediakan data dan informasi yang diperlukan, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Apresiasi juga diberikan kepada rekan-rekan yang telah membantu dalam proses pengumpulan data, diskusi ilmiah, serta memberikan semangat selama penyusunan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, C. P., Rochmawati, R., & Kololikiye, G. R. (2025). Studi Evaluasi Stabilitas Lereng Pada Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi Sta. 38+ 475 Menggunakan Software Geostudio 2024. *Jurnal Rekayasa Sipil (e-journal)*, 15(2), 104-114. <https://jim.unisma.ac.id/index.php/ft/article/view/28398>
- Aslam, Z., & Gofar, N. (2022). The Effect of Soil Stabilization and Reinforcement on The Stability of Embankment on Soft Soil. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(2), 356–367. <https://doi.org/10.28932/jts.v18i2.4613>
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, DC: AASHTO.
- ASTM International. (2021). *ASTM D1883-21: Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*. West Conshohocken, PA: ASTM International..
- Craig, R. F. (2004). *Craig's Soil Mechanics* (7th ed.). Spon Press.
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). *Principles of Geotechnical Engineering* (9th ed.). Cengage Learning.
- Fedriawan, & Zhafirah, A. (2022). Penurunan Tanah Berdasarkan Hasil Uji Konsolidasi di Laboratorium. *Jurnal Konstruksi*, 20(2), 234–239. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.20-2.1145>
- Hardiyatmo, H. C. (2012). *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2014). *Mekanika Tanah II*. Gadjah Mada University Press.
- Putri, Y., Larasati, A., Anggraini, N., & Sholeh, M. (2025). Analisis Perbaikan Tanah Metode Preloading Kombinasi Prefabricated Vertical Drain (Pvd) Pada Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK)*. 6. 342-348. <https://doi.org/10.33795/jos-mrk.v6i1.6065>
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. John Wiley & Sons.
- Utari, S. N., Nurdin, A. R., & Mallawangeng, T. (2025). Analisa Dampak Volume Lalu Lintas dan Estimasi Berat Kendaraan Terhadap Umur Layanan Jalan. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi*, 3(1), 75-84. <https://doi.org/10.56326/jptsk.v3i1.4181>
- Wintoro, B., Hakim, A. M., Kamil, A. I., & Zakiyyah, A. (2025). Evaluation Of Slope Stability Problems: A Case Study Of Slope Reinforcement On Expansive Soil For The High-Voltage Transmission Tower (Sutt) T80 Malingping–Bayah, Sukabumi. *Jurnal Pensil : Pendidikan Teknik Sipil*, 14(3), 384–398. <https://doi.org/10.21009/jpensil.v14i3.54672>
- Yatnikasari, S., Awalludin, M. H., Agustina, F., Liana, U. W. M., & Vebrian, V. (2023). Analisis Preservasi Jalan Pada Ruas Jalan Barong Tongkok-Sendawar (Mentiwan) Kabupaten Kutai Barat Kalimantan Timur. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 685-692. <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i3.23370>
- Yoder, E. J., & Witzack, M. W. (1975). *Principles of Pavement Design*. Wiley.