Evaluasi Stabilitas Lereng JLS Lot 3 Pantai Serang–Sumbersih Menggunakan *Software* Berbasis *Limit Equilibrium Method*

Elang Wijaya Kusuma[1]
Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya
E-mail: 22035010075@student.upnjatim.ac.id
Rani Ardiansyah Ardjito[2]
Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya
E-mail: 22035010041@student.upnjatim.ac.id
Karina Meilawati Eka Putri[3]
Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya
E-mail: karina.meilawati.ft@upnjatim.ac.id

Abstrak

Pembangunan infrastruktur jalan pada topografi ekstrem dengan kontur perbukitan terjal sering kali mengubah keseimbangan tegangan tanah yang berpotensi memicu ketidakstabilan. Untuk memitigasi risiko tersebut, evaluasi stabilitas lereng diperlukan guna memastikan keamanan infrastruktur jalan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi stabilitas lereng pada proyek Jalur Lintas Selatan. Metode penelitian menerapkan analisis kuantitatif berbasis komputasi menggunakan Metode Kesetimbangan Batas. Instrumen analisis meliputi simulasi dengan metode Morgenstern Price, Bishop, Ordinary, dan Janbu yang memproses data sekunder berupa parameter sifat fisik tanah dan geometri lereng. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh metode analisis menghasilkan nilai Faktor Keamanan yang secara konsisten melampaui batas kritis 1,5 sesuai persyaratan standar SNI 8460:2017. Nilai Faktor Keamanan tertinggi sebesar 1,748 diperoleh melalui metode Bishop, sedangkan nilai terendah sebesar 1,648 dihasilkan oleh metode Janbu. Variasi nilai ini diakibatkan oleh perbedaan asumsi gaya antar irisan pada setiap metode, namun konsistensi angka di atas ambang batas mengindikasikan reliabilitas model yang tinggi. Disimpulkan bahwa kondisi lereng dikategorikan aman dan stabil, sehingga tidak berpotensi mengalami kelongsoran pada kondisi pembebanan yang dianalisis.

Kata kunci: *Faktor Keamanan, infrastruktur jalan, Metode Kesetimbangan Batas, Lereng, Stabilitas*

Abstract

Road infrastructure development on extreme topography featuring ridged contours often disturbs the soil stress equilibrium, potentially inducing instability. To mitigate that risks, slope stability evaluation is essential to ensure infrastructure safety. This study aims to evaluate slope stability within the Jalur Lintas Selatan project. The research methodology employs a quantitative computational analysis utilizing the Limit Equilibrium Method. Employing the Morgenstern Price, Bishop, Ordinary, and Janbu methods, which process secondary data consisting of soil physical parameters and slope geometry. The results demonstrate that all analysis methods yielded Safety Factor values consistently exceeding the critical threshold of 1.5, in accordance with the SNI 8460:2017 standard. The highest Safety Factor of 1.748 was obtained using the Simplified Bishop Method, while the lowest value of 1.648 was yielded by the Janbu method. This variation is attributed to distinct inter-slice force assumptions within each method; however, the consistency above the requirement indicates high model reliability. In conclusion, the slope condition is

categorized as safe and stable, presenting no potential for failure under the analyzed loading conditions.
Keywords: *Limit Equilibrium Method, Road infrastructure, Safety Factor, Slope, Stability*

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur transportasi jalan raya merupakan salah satu prioritas strategis nasional yang vital untuk memacu pertumbuhan ekonomi makro dan menjamin mobilitas antarwilayah yang efisien. Proyek pembangunan Jalur Lintas Selatan (JLS) Lot 3 Serang Sumbersih merupakan salah satu bagian dari agenda besar tersebut, yang dirancang secara spesifik untuk membuka isolasi daerah pesisir serta memfasilitasi distribusi logistik di kawasan selatan Pulau Jawa. Upaya ini sejalan dengan agenda global *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya Tujuan ke-9 mengenai pembangunan infrastruktur yang tangguh, inklusif, dan berkelanjutan, serta Tujuan ke-8 yang berfokus pada dukungan terhadap pertumbuhan ekonomi melalui peningkatan konektivitas wilayah. Namun, tantangan teknis dalam proyek ini sangat signifikan mengingat trase jalan yang melintasi kontur topografi ekstrem berupa perbukitan terjal dan lembah curam. Kondisi ini menuntut pelaksanaan pekerjaan tanah (*earthwork*) yang masif, meliputi penggalian (*cut*) dan penimbunan (*fill*), yang secara fundamental mengubah keseimbangan tegangan in situ dan rona lingkungan sekitarnya [1].

Perubahan bentang alam akibat aktivitas konstruksi tersebut menghasilkan geometri lereng baru, baik yang bersifat alami maupun buatan [2]. Secara fisik, lereng didefinisikan sebagai permukaan tanah yang membentuk sudut kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal, yang keberadaannya tidak terlepas dari pengaruh gaya gravitasi [3]. Stabilitas lereng ini sangat bergantung pada keseimbangan mekanis di dalam massa tanah. Dalam tinjauan geoteknik, lereng yang terbentuk akibat pemotongan bukit sering kali mengalami ketiakstabilan dan menyebabkan terjadinya gerakan massa [4]. Gerakan massa didefinisikan sebagai proses perpindahan material penyusun lereng ke arah yang lebih rendah, yang dipicu oleh dominasi gaya gravitasi serta adanya fluktuasi tekanan [5].

Masalah utama muncul ketika keseimbangan gaya terganggu. Secara teoritis, ketidakstabilan lereng terjadi ketika gaya pendorong (seperti berat massa tanah, beban kendaraan, dan tekanan air pori) melampaui gaya penahan yang bersumber dari kekuatan geser tanah (*shear strength*) [6]. Parameter kekuatan geser ini, yang terdiri dari kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ), memegang peranan vital dalam menahan pergerakan massa tanah. Apabila gaya pendorong menjadi dominan, misalnya akibat penambahan beban *surcharge* dari kendaraan berat atau kejenuhan tanah akibat hujan, maka faktor keamanan lereng akan menurun [7].

Kegagalan dalam menjaga kestabilan lereng berpotensi memicu bencana tanah longsor yang fatal. Risiko ini tidak hanya menghambat progres konstruksi, tetapi juga membahayakan keselamatan pengguna jalan dan merusak struktur perkerasan yang

telah terbangun. Pada konteks JLS Lot 3 Serang Sumbersih, risiko ini diperburuk oleh kondisi geologi yang kompleks serta intensitas curah hujan tropis yang tinggi. Infiltrasi air hujan ke dalam pori tanah dapat meningkatkan tekanan air pori (*pore water pressure*) sekaligus menurunkan isapan matrik (*matric suction*), yang menjadi pemicu utama kelongsoran pada lereng galian [8]. Oleh sebab itu, evaluasi stabilitas lereng menjadi prasyarat utama yang wajib dipenuhi.

Untuk menganalisis potensi kelongsoran dengan presisi tinggi pada kondisi geometri dan beban yang kompleks, pendekatan konvensional sering kali tidak memadai. Diperlukan metode analisis berbasis komputasi, salah satunya adalah Metode LEM. Perangkat lunak berbasis LEM dapat dalam memodelkan stratigrafi tanah yang heterogen dan menyimulasikan variasi muka air tanah. Selain itu, perangkat lunak ini mampu menghitung nilai Faktor Keamanan (FK) minimum menggunakan metode irisan, seperti Metode Bishop, yang diformulasikan khusus untuk menganalisis bidang runtuh berbentuk busur lingkaran (*circular slip surface*) [9].

Berdasarkan urgensi mitigasi risiko geoteknik, penelitian ini difokuskan untuk mengevaluasi stabilitas lereng pada segmen tinjauan di JLS Lot 3. Penelitian ini akan menganalisis stabilitas lereng dengan mempertimbangkan kondisi eksisting dan desain geometrik lereng untuk mendapatkan nilai FK yang memenuhi kriteria persyaratan minimum sesuai standar SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan tahap tinjauan studi literatur yang bertujuan untuk memperoleh dasar teori dan metode analisis yang relevan dengan kajian stabilitas lereng, khususnya pendekatan Limit Equilibrium Method (LEM). Literatur yang dikaji meliputi konsep kestabilan lereng, asumsi-asumsi analisis, serta standar perencanaan yang berlaku.

Selanjutnya dilakukan pengumpulan data sekunder, yang mencakup parameter fisik dan mekanik tanah hasil pengujian terdahulu, serta data geometri lereng berupa potongan melintang pada lokasi penelitian di STA 4+125 Jalur Lintas Selatan. Data geometri lereng diasumsikan mewakili kondisi aktual di lapangan pada saat analisis dilakukan.

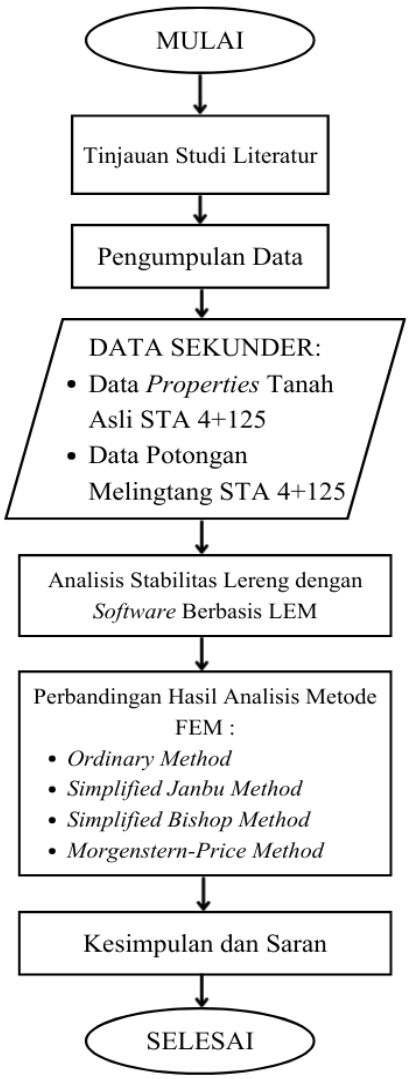
Setelah seluruh data terkumpul, analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan perangkat lunak berbasis Limit Equilibrium Method (LEM) dengan menerapkan empat metode analisis, yaitu Ordinary Method, Janbu, Bishop, dan Morgenstern–Price. Dalam analisis ini digunakan beberapa asumsi utama, yaitu:

1. Kondisi lereng dianalisis pada keadaan eksisting tanpa perkuatan.
2. Muka air tanah diasumsikan berada di bawah bidang kelongsoran dan tidak mempengaruhi tekanan pori, sehingga analisis dilakukan pada kondisi tanah relatif kering.

3. Kondisi drainase diasumsikan baik, sehingga tidak terjadi akumulasi tekanan air pori akibat aliran air tanah.
4. Rentang pencarian garis kelongsoran ditentukan secara otomatis oleh program dengan batasan awal dan akhir yang disesuaikan dengan geometri lereng, mulai dari bagian puncak lereng hingga kaki lereng, untuk memperoleh bidang kelongsoran paling kritis (critical slip surface).

Hasil simulasi dianalisis pada tahap pembahasan dengan fokus pada komparasi nilai faktor keamanan (FK) yang dihasilkan oleh keempat metode LEM tersebut. Evaluasi dilakukan untuk meninjau konsistensi hasil analisis serta pemenuhan kriteria keamanan lereng berdasarkan SNI 8460:2017.

Berdasarkan hasil komparasi nilai faktor keamanan dan evaluasi terhadap standar yang berlaku, kemudian dirumuskan kesimpulan mengenai kondisi kestabilan lereng serta saran untuk pengembangan analisis atau penelitian lanjutan.



Gambar 1. Diagram Alir
Sumber: Penulis, 2025

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Parameter Tanah

Analisis stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak berbasis LEM memerlukan input data spesifik yang merepresentasikan karakteristik tanah, meliputi berat jenis tanah kering, sudut geser dalam, serta kohesi. Penelitian ini menetapkan fokus utama pada parameter-parameter kekuatan tersebut, karena variabel ini memiliki dampak paling signifikan terhadap stabilitas lereng. Parameter tanah yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan hasil uji laboratorium. Adapun rincian data parameter untuk setiap lapisan tanah tersebut disajikan di bawah ini.

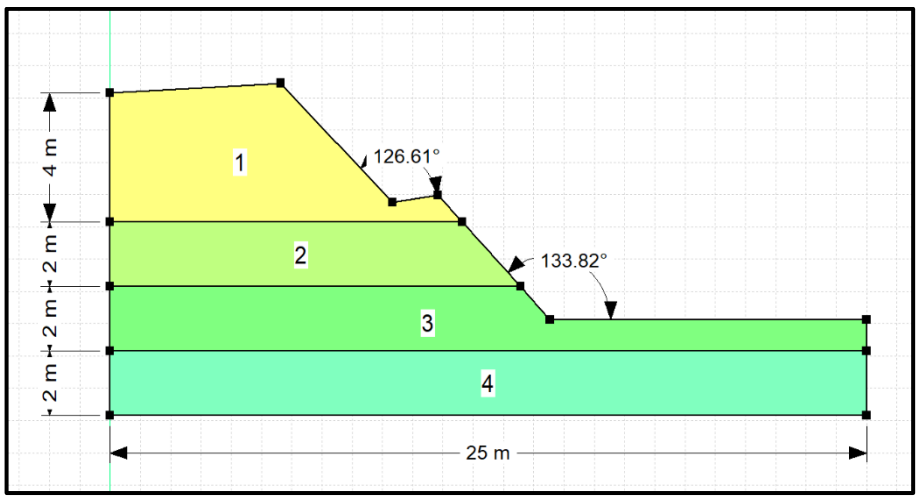
Tabel 1 Parameter Input

No	Deskripsi	Dalam Lapisan :	0,00 – 4,00 Meter	4,00 – 6,00 Meter	6,00 – 8,00 Meter	8,00 – ,00 Meter
1	Berat Jenis Tanah Kering	(kN/m^3)	22,35	21,46	17,38	22,13
2	Kohesi	(kPa)	22	20	24	22
3	Sudut Geser Dalam	(Derajat)	22	22	19	19

Sumber: Penulis, 2025

3.2 Geometri Lereng

Untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai objek yang dianalisis, konfigurasi detail dari geometri lereng yang diterapkan dalam simulasi penelitian ini divisualisasikan pada Gambar 2 berikut.

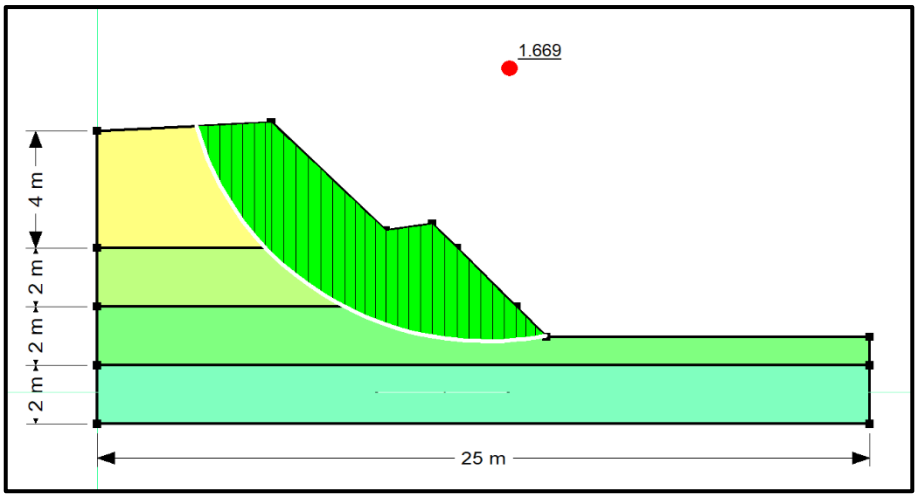


Gambar 2 Geometri Lereng
Sumber: Penulis, 2025

3.3 Analisis Lereng dengan Menggunakan *Software* berbasis LEM

Ordinary Method

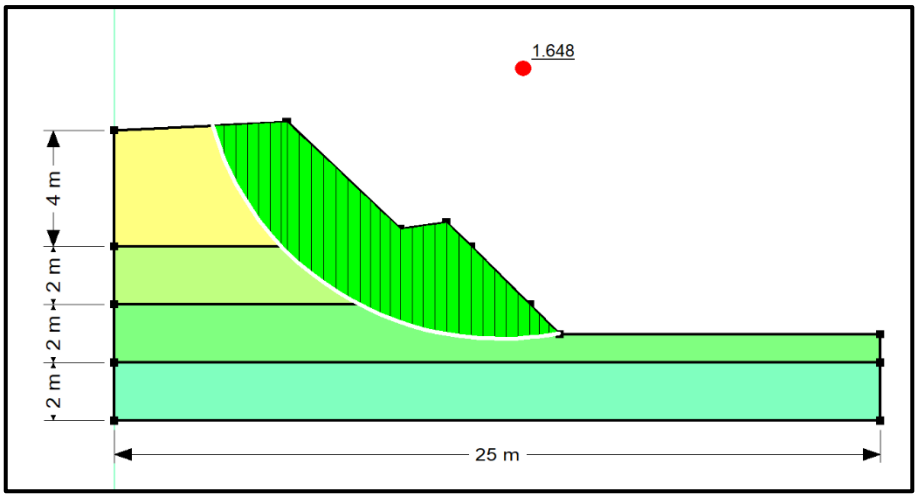
Simulasi juga dilakukan menggunakan *Ordinary Method* (Metode Fellenius) sebagai pendekatan yang lebih konservatif dengan mengabaikan gaya antar irisan. Dari perhitungan tersebut, didapatkan nilai FK sebesar 1,669. Karena nilai FK yang diperoleh berada di atas batas minimum yang disyaratkan (FK > 1,5), maka kondisi lereng tersebut tetap masuk dalam kategori Aman.



Gambar 3 Analisis Lereng *Ordinary Method*
Sumber: Penulis, 2025

Simplified Janbu Method

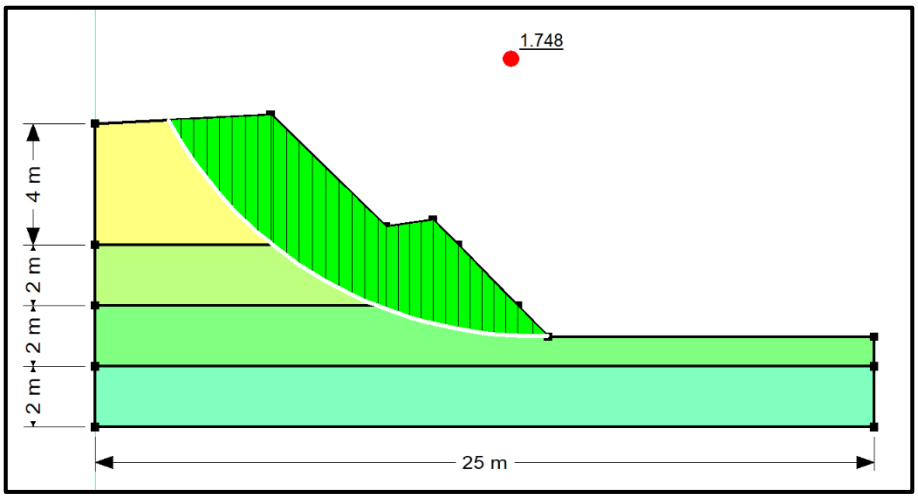
Analisis selanjutnya menggunakan Metode Janbu Sederhana (*Simplified Janbu Method*). Berbeda dengan metode Bishop yang berbasis momen, metode ini didasarkan pada kesetimbangan gaya horizontal dan vertikal antar irisan. Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai FK sebesar 1,648. Mengingat nilai tersebut lebih besar dari batas aman (FK > 1,5), maka stabilitas lereng dikategorikan Aman.



Gambar 4 Analisis Lereng *Simplified Janbu Method*
Sumber: Penulis, 2025

Simplified Bishop Method

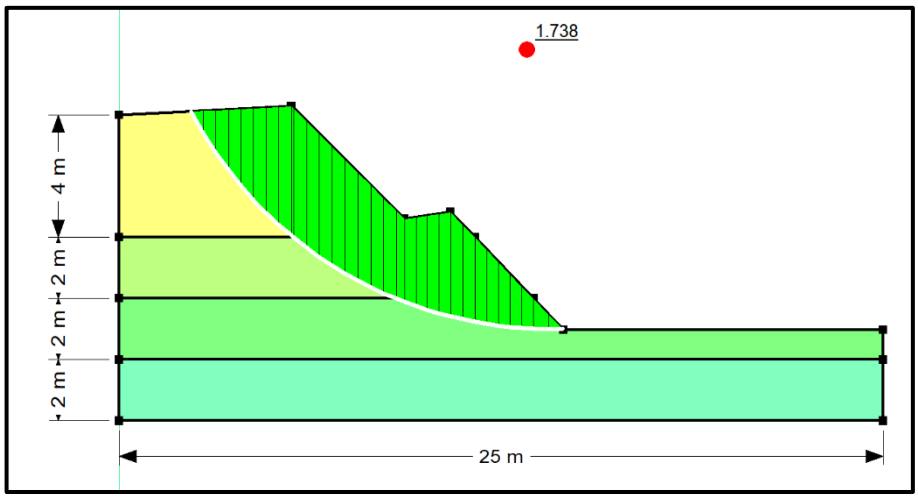
Perhitungan stabilitas juga diterapkan menggunakan Metode Bishop Sederhana untuk mendapatkan estimasi yang lebih akurat dibandingkan *Ordinary Method*. Dari metode ini, didapatkan nilai FK sebesar 1,748. Karena nilai FK melampaui standar keamanan (FK > 1,5), maka kondisi lereng dinyatakan Aman.



Gambar 5 Analisis Lereng *Simplified Bishop Method*
Sumber: Penulis, 2025

Morgenstern-Price Method

Simulasi menggunakan metode Morgenstern-Price diterapkan untuk mendapatkan hasil analisis yang presisi dengan memenuhi syarat kesetimbangan statis. Dari perhitungan tersebut, didapatkan nilai FK sebesar 1,738. Karena nilai FK yang diperoleh melebihi batas minimum yang disyaratkan (FK > 1,5), maka berdasarkan klasifikasi tingkat keamanannya, kondisi lereng tersebut masuk dalam kategori Aman.



Gambar 6 Analisis Lereng *Morgenstern-Price Method*
Sumber: Penulis, 2025

3.4 Analisis Perbandingan Nilai Faktor Keamanan Berdasarkan Variasi Metode

Berdasarkan hasil simulasi numerik, diperoleh variasi nilai FK dari keempat metode LEM yang digunakan. Secara umum, hasil analisis menunjukkan urutan nilai FK sebagai berikut: Janbu < Ordinary Method < Morgenstern–Price < Bishop. Variasi nilai tersebut disebabkan oleh perbedaan asumsi dasar masing-masing metode dalam memenuhi kesetimbangan statis serta perlakuan terhadap gaya antar irisan (*inter-slice forces*). Perbedaan nilai FK antar metode ini memiliki implikasi langsung terhadap desain lereng, khususnya dalam penentuan tingkat keamanan, konservatisme desain, serta pengambilan metode rujukan dalam evaluasi kestabilan.

Pertama, *Ordinary Method* (Fellenius) menghasilkan nilai FK yang relatif rendah dibandingkan metode LEM lainnya. Hal ini sejalan dengan kajian Salunkhe dkk [10], yang menyatakan bahwa pengabaian gaya normal dan geser antar irisan menyebabkan estimasi FK cenderung konservatif. Dalam konteks desain lereng, hasil dari metode ini dapat digunakan sebagai batas bawah (*lower bound*) untuk mengevaluasi kondisi kritis lereng, namun kurang direkomendasikan sebagai satu-satunya dasar desain karena tidak memenuhi seluruh persamaan kesetimbangan gaya.

Kedua, *Janbu Simplified Method* menghasilkan estimasi faktor keamanan yang cenderung lebih rendah dibandingkan LEM lainnya. Hal ini sejalan dengan studi Mahfuz dkk [11], yang menyatakan bahwa pendekatan Janbu berbasis kesetimbangan gaya vertikal dengan koreksi empiris menyebabkan nilai faktor keamanan lebih konservatif dibandingkan metode berbasis momen seperti Bishop. Perbedaan ini terjadi karena metode Janbu tidak sepenuhnya memenuhi kesetimbangan momen global melainkan mengandalkan asumsi koreksi faktor untuk kompensasi gaya horizontal dan distribusi tegangan antar irisan. Implikasinya terhadap desain, metode Janbu sesuai digunakan sebagai pendekatan konservatif awal (*preliminary design*), terutama untuk mengidentifikasi potensi ketidakstabilan, namun perlu dikombinasikan dengan metode yang lebih rigor untuk pengambilan keputusan akhir.

Ketiga, *Metode Bishop Simplified* menghasilkan estimasi faktor keamanan yang lebih realistis dibandingkan Metode Fellenius. Hal ini sejalan dengan studi Mau dkk.[12], yang menyatakan bahwa Metode Bishop mempertimbangkan gaya normal total pada pusat irisan dan memenuhi kesetimbangan vertikal, sehingga memberikan nilai FK lebih tinggi dibandingkan Metode Fellenius yang mengabaikan resultan gaya antar irisan. Keunggulan ini terjadi karena Metode Bishop menggunakan keseimbangan normal dan momen dengan distribusi gaya yang lebih akurat, tanpa asumsi resultan gaya antar irisan nol. Dalam desain lereng, metode ini banyak digunakan sebagai acuan utama, karena memberikan estimasi FK yang representatif dan efisien secara komputasi, khususnya untuk bidang gelincir melingkar.

Terakhir, Metode Morgenstern-Price menghasilkan estimasi faktor keamanan paling komprehensif dibandingkan metode LEM lainnya. Hal ini sejalan dengan studi Amalina dan Iftikhar [13], yang menyatakan bahwa Metode Morgenstern-Price memenuhi semua persamaan kesetimbangan statis (gaya dan momen) sehingga memberikan nilai faktor keamanan lebih tinggi dibandingkan metode Fellenius yang

paling konservatif. Keunggulan ini terjadi karena metode mengakomodasi bidang gelincir melingkar maupun non-melingkar dengan pendekatan yang lebih lengkap terhadap distribusi gaya antar irisan. Implikasinya terhadap desain, metode Morgenstern–Price sangat direkomendasikan sebagai metode verifikasi (final check) dalam evaluasi kestabilan lereng, terutama pada lereng kritis atau yang memiliki konsekuensi kegagalan tinggi.

Variasi nilai faktor keamanan yang diperoleh dari keempat metode LEM menunjukkan bahwa pemilihan metode analisis memiliki pengaruh signifikan terhadap interpretasi tingkat keamanan lereng. Dalam konteks desain lereng jalan, hasil ini mengindikasikan bahwa metode Janbu dan Ordinary Method dapat digunakan sebagai pendekatan konservatif awal, sedangkan metode Bishop dan Morgenstern–Price lebih representatif untuk evaluasi desain akhir. Dengan demikian, penelitian ini memberikan implikasi praktis bahwa penggunaan lebih dari satu metode LEM diperlukan untuk meningkatkan keandalan keputusan desain lereng, khususnya pada proyek jalan dengan kondisi topografi ekstrem seperti Jalur Lintas Selatan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak berbasis LEM, dapat disimpulkan bahwa lereng dalam kondisi stabil dan aman. Seluruh metode kesetimbangan batas yang diterapkan menunjukkan konsistensi hasil dengan nilai Faktor Keamanan yang berada di atas batas kritis 1,5. Secara rinci, nilai FK yang diperoleh adalah 1,748 untuk Metode Bishop Sederhana, 1,738 untuk Metode Morgenstern-Price, 1,669 untuk Metode Ordinary, dan 1,648 untuk Metode Janbu Sederhana. Dengan demikian, berdasarkan klasifikasi standar keamanan, lereng pada lokasi penelitian dikategorikan aman dan tidak berpotensi mengalami kelongsoran pada kondisi pembebanan yang dianalisis.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan agar analisis stabilitas lereng dilakukan dengan memperhitungkan kondisi variasi muka air tanah atau kondisi jenuh air untuk mengetahui perilaku lereng pada kondisi terburuk. Selain itu, penambahan analisis beban gempa (pseudostatis) sangat direkomendasikan mengingat kondisi wilayah yang rawan gempa, serta perlunya validasi parameter tanah melalui pengujian lapangan yang lebih komprehensif guna meningkatkan akurasi representasi model pada kondisi sebenarnya.

5. REFERENSI

[1] Suhaimah, S., Firmansyah, Y. K., & Farichah, H. (2025). Analisis penyebab kelongsoran lereng JLS Lot 3 menggunakan metode elemen hingga. *Media Konstruksi*, *10*(2), 175–185.

[2] Wahyuningdiah, D. S., Fatmawati, L. E., & Firmansyah, Y. K. (2023). Perencanaan perkuatan lereng menggunakan sheet pile sebagai alternatif dinding

penahan tanah lereng Jembatan Kaca Kabupaten Probolinggo. *RACIC: Jurnal Teknik Sipil*.

[3] Sartika, D. D., & Yakin, Y. A. (2017). Analisis stabilitas lereng tanah berbutir kasar dengan uji model fisik. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil, 3*(2), 70.

[4] Warastri, A., Lukito, H., & Nugroho, N. (2024). Evaluasi dan pengelolaan lereng bekas galian material vulkanik di Padukuhan Selo Timur, Kalurahan Hargorejo, Kapanewon Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumian Satu Bumi, 5*.

[5] Nainggolan, E. N., & Dzakiya, N. (2019). Analisis kestabilan lereng berdasarkan analisis sifat fisik mekanik tanah dan batuan di Desa Selopamioro dan sekitarnya, Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Teknomineral, 1*(2), 97–104.

[6] Sukandi, S., & Hr, B. M. (2021). Evaluasi tegangan–regangan lereng Jalan Ampenan–Pemenang Km 12+800 (studi kasus longsoran lereng tanjakan Alberto Senggigi). *Konstruksia, 12*(2), 153–163.

[7] Kalimanto, D., Surjandari, N. S., & Dananjaya, R. H. (2016). Analisis stabilitas lereng akibat beban hujan harian maksimum bulanan dan beban lalu lintas. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 4(2).

[8] Gofar, N., Pangestika, E. N., Harianto, Y., Gumay, H., & Satyanaga, A. (2024). Effect of near-surface heterogeneities on the pore-water pressure distribution and slope stability. *Sinergi, 28*(2), 327–336.

[9] Rumbyarso, Y. P. A., & Pribadi, G. (2023). Analisis stabilitas lereng dengan metode Bishop pada proyek geotechnical investigation jalur transportasi Pelabuhan Batubara Marangkayu Kabupaten Kutai Kartanegara. *Jurnal Kridatama Sains dan Teknologi, 5*(2), 562–577.

[10] Salunkhe, D. P., Bartakke, R. N., Chvan, G., Kothavale, P. R., & Digvijay. (2017). An overview on methods for slope stability analysis. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 6*(3), 2181–2278.

[11] Amri, N., Dharmawansyah, D., & Hermansyah, H. (2021). Perbandingan metode Bishop dan Janbu dalam analisis stabilitas lereng pada oprit Jembatan Labu Sawo Sumbawa. *Journal of Civil Engineering and Planning (JCEP), 2*(1), 20–33.

[12] Mau, J., Rasidi, N., & Hanggara, I. (2017). Studi penentuan faktor keamanan stabilitas lereng menggunakan metode Fellenius dan Bishop pada dinding penahan batu kali di Jalan Raya Beji Puskesmas Kota Batu. *eUREKA: Jurnal Penelitian Teknik Sipil dan Teknik Kimia, 1*(2).

[13] Amalina, A. N., & Ifthikar, A. A. (2025). Analisis perbandingan stabilitas lereng pada area karst (studi kasus Girimulyo, Kulon Progo). Jurnal Rekayasa Teknik Sipil dan Lingkungan–CENTECH, 6(1), 37–46.