

Studi Geologi Teknik dan Kestabilan Lereng di Ruas Jalan Kendari-Andoolo, Kecamatan Wolasi, Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara

Engineering Geology and Slope Stability Analysis In Kendari-Andoolo Road Section, Wolasi District, South Konawe Regency, Southeast Sulawesi

Masri^{1*}, Nurul Fauziah¹, Syamsul Razak Haraty², La Ode Ngkoimani¹, Harisma¹

¹Program studi Teknik Geologi Universitas Halu Oleo

²Program studi Teknik Geofisika Universitas Halu Oleo

Article history:

Received:

01 January 2023

Accepted:

21 August 2023

Keywords:

Faktor keamanan;

Gerakan tanah;

Lempung berfragmen;

Filit;

Wolasi;

Correspondent author:

masri@uho.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menyajikan kondisi geologi teknik pada ruas jalan Kendari-Andoolo, Kecamatan Wolasi, Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara yang merupakan kawasan rentan gerakan tanah. Penentuan faktor keamanan (FK) lereng juga dilakukan dengan menggunakan metode ksetimbangan batas pada lereng tunggal maupun lereng keseluruhan. Pengeboran dengan *hand auger* dan survey geolistrik konfigurasi Wenner-Schlumberger dilakukan untuk memperkirakan bidang gelincir lereng. Daerah penelitian tersusun atas filit, batulempung, dan batupasir. Diskontinuitas pada muka lereng berupa rekahan gerus berarah N45°E dan N105°E, foliasi berarah N280°E, dan breksiasi yang berarah N310°E. Tanah penutup berupa lanau organik plastisitas rendah (OL) dengan kisaran berat isi 16.92 kN/m³-18.01kN/m³ dan indeks plastisitas bernilai 8.64-10.57 (sedang). Nilai FK lereng menggunakan asumsi bidang gelincir rotasional dan nonrotasional. Pada lereng tunggal dengan asumsi bidang gelincir rotasional, menghasilkan nilai FK lebih rendah dibandingkan bidang gelincir nonrotasional, namun masih bernilai di atas nilai ambang. Pada model lereng keseluruhan, nilai FK kritis pada bidang gelincir rotasional. Bidang gelincir longsor pada lereng adalah batas lapisan lempung dan filit terlapukkan.

Abstract. This research presents the engineering geological features of the Kendari-Andoolo road section, Wolasi Sub-district, South Konawe Regency, Southeast Sulawesi, a vulnerable area for landslides. The slope factor of safety (FoS) was also determined using the limit equilibrium method on a single and overall slope. Hand auger drilling and Wenner-Schlumberger configuration geoelectric surveys were conducted to estimate the slope failure plane. The study area is composed of phyllite, mudstone, and sandstone. Discontinuities at the face of the slope are N45°E and N105°E shear fractures, N280°E foliation, and N310°E fault brecciation. The overburden is low plasticity organic silt (OL) with a density range of 16.92 kN/m³-

18.01kN/m³ and a plasticity index of 8.64-10.57 (medium). The FoS values of the slopes assumed rotational and nonrotational slip failures. On a single slope assuming rotational failures, the FoS value was lower than the nonrotational plane but still above the threshold value. The critical FoS is on the rotational sliding plane on the overall slope model. The slope's landslide failure plane is the clay's boundary layers and weathered phyllite.

© 2023 JRGI (Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia)

1. PENDAHULUAN

Ruas jalan Kendari-Andoolo merupakan jalur provinsi yang menghubungkan beberapa kabupaten kota lingkup Sulawesi Tenggara. Jalan ini membelah perbukitan terjal Wolasi sepanjang utara-selatan. Selama tujuh tahun terakhir sering terjadi longsoran bahan rombakan dan jatuhnya batuan di jalan poros ini. Pada tanggal 17 Juli 2013, kejadian tanah longsor terjadi di ruas jalan Wolasi. Terdapat tiga titik jalan ambles di sepanjang 6 meter ruas jalan yang mengakibatkan satu tiang listrik roboh. Meskipun tidak ada korban jiwa, gerakan tanah yang terjadi menyebabkan jalan poros menjadi rusak dan tidak bisa diakses hingga beberapa jam (BNPB, 2020).

Gerakan tanah sering terjadi pada lereng perbukitan terjal dengan batuan yang mengalami pelapukan intens (Putra dkk., 2020). Daerah penelitian berupa perbukitan miring yang tersusun atas batuan sedimen tak terkonsolidasi berumur Plistosen hingga batupasir tua berumur Trias (Simandjuntak dkk., 1993). Tanah penutup hadir dengan ketebalan bervariasi, batuan dalam kondisi lapuk disertai intensitas rekahan. Gerakan tanah di daerah penelitian biasanya terjadi pada saat curah hujan tinggi di musim hujan.

Beberapa penelitian terkait gerakan tanah telah dilakukan pada daerah penelitian, antara lain studi kualitas massa batuan penyusun lereng (Hasria dkk., 2019) dan studi faktor pengontrol gerakan tanah pada batuan sedimen terlapukkan (Rikayanti, 2018). Berdasarkan Hasria dkk. (2019), daerah penelitian khususnya pada lereng yang tersusun oleh batuan metamorf memiliki kelas massa batuan baik (Kelas II) berdasarkan Klasifikasi *Slope Mass Rating* (SMR) dengan potensi longsoran guling dan baji. Rikayanti (2018) menyimpulkan faktor pengontrol gerakan tanah pada daerah penelitian dipengaruhi oleh bidang gelincir berupa kekar, foliasi, dan kemiringan lereng curam. Sebagian litologi penyusun lereng sudah mengalami pelapukan. Tanah lapukan berupa tanah kambisol (pecah ketika musim kemarau dan lembek ketika musim hujan).

Selain pendekatan klasifikasi massa batuan, analisis kestabilan lereng juga dapat dilakukan dengan pendekatan metode kesetimbangan batas (Huang, 2014). Metode ini memberikan justifikasi kestabilan lereng berdasarkan nilai faktor keamanan. Faktor keamanan menunjukkan perbandingan gaya pendorong dan gaya penahan yang berkerja pada lereng.

Lereng stabil ditunjukkan oleh faktor keamanan (FK) > 1 (Arif, 2016). Pada prinsipnya perhitungan faktor keamanan pada metode kesetimbangan batas menggunakan prinsip kesetimbangan gaya dan momen. Lereng dibagi menjadi beberapa sayatan vertikal. Komponen gaya normal dan gaya geser dihitung pada setiap sayatan yang dibuat, dengan bidang gelincir yang telah diasumsikan sebelumnya (Azizi, 2014).

Pada daerah penelitian, belum pernah dilakukan penelitian kestabilan lereng yang berfokus pada perhitungan faktor keamanan. Penelitian ini juga mencoba mereduksi bias bidang gelincir yang diasumsikan dengan penentuan bidang gelincir aktual menggunakan survey geofisika seperti yang telah dilakukan oleh peneliti lain (Akbar dkk., 2021; Hendri dkk., 2020). Penelitian sebelumnya, juga tidak menyajikan kondisi geologi teknik yang menjadi gambaran awal terkait kondisi morfologi dan sifat keteknikan material penyusun lereng. Diharapkan penelitian ini, bisa memberikan informasi tambahan dalam Upaya pengurangan risiko kejadian gerakan tanah pada ruas jalan Kendari-Andoolo Daerah Wolasi, Kabupaten Konawe Selatan.

2. METODE PENELITIAN

Data Geologi Teknik Daerah Penelitian

Pengambilan data geologi teknik daerah penelitian meliputi kegiatan pemetaan geologi yang berfokus pada pengambilan data geomorfologi, pemerian litologi, dan pengukuran unsur struktur geologi (Price, 2009). Penentuan satuan geomorfologi

berdasarkan klasifikasi genetik Brahmantyo dan Bandono (2006) didukung oleh data morfografi dan kemiringan lereng melalui peta topografi. Pemerian litologi dilakukan secara megaskopik meliputi jenis mineral, tesktur, dan struktur khas pada batuan metamorf dan jenis fragmen pada endapan residual penyusun lereng. Unsur struktur geologi dianalisis melalui pola kelurusan dan pengukuran langsung pada muka lereng. Analisis dilakukan dengan metode stereografi (Lisle dan Leyshon, 2004).

Sifat Keteknikan Penyusun Lereng

Pengujian sifat fisik dan sifat mekanis material penyusun lereng berupa penentuan indeks plastisitas (PI), bobot isi (γ), dan kuat geser (kohesi dan sudut geser dalam) dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Halu Oleo, sedangkan pengujian nilai kuat tekan dan kuat geser batuan dasar dilakukan di UPT Laboratorium Kontruksi Dinas Sumber Daya Air dan Bina Marga Kota Kendari.

Penampang Geometri Lereng

Data kondisi bawah permukaan lereng ditentukan melalui pengeboran *hand auger* berkedalaman 2 meter yang dilakukan pada empat titik di sepanjang puncak dan kaki muka lereng. Untuk penetrasi dan identifikasi lapisan penyusun lereng yang lebih detail, pada muka lereng juga dilakukan pengukuran resistivitas sepanjang 100 meter dengan spasi 5 meter menggunakan *resistivitymeter single channel* dilengkapi *OJS technology switching gridbox* dengan sumber tegangan DC.

Pengukuran menggunakan 20 elektroda berdasarkan konfigurasi Wenner-Schlumberger. Konfigurasi ini dipilih agar diperoleh penampang lateral dan penetrasi kedalaman lebih besar (Priyantari dkk., 2020).

Faktor Keamanan Lereng

Pendekatan metode paling populer dalam analisis kestabilan lereng adalah dengan metode kesetimbangan batas. Pada penelitian ini digunakan pendekatan kesetimbangan statik, dengan mengabaikan beban dinamik yang bekerja pada lereng. Massa tanah dan batuan pada bidang gelincir dibagi menjadi sejumlah irisan berarah vertikal. Faktor keamanan dihitung dengan asumsi bidang gelincir melingkar (*circular*) dan tidak melingkar (*non-circular*). Pada asumsi bidang gelincir berbentuk melingkar, perhitungan mempertimbangkan kesetimbangan momen sedangkan, pada bentuk bidang gelincir tidak melingkar hanya mempertimbangkan kesetimbangan pada masing-masing irisan (Arif, 2016). Dalam penelitian ini digunakan Metode Bishop pada gelinciran rotasional (Bishop, 1955) dan Metode Spencer pada gelinciran nonrotasional (Spencer, 1973).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Geologi Teknik Daerah Penelitian

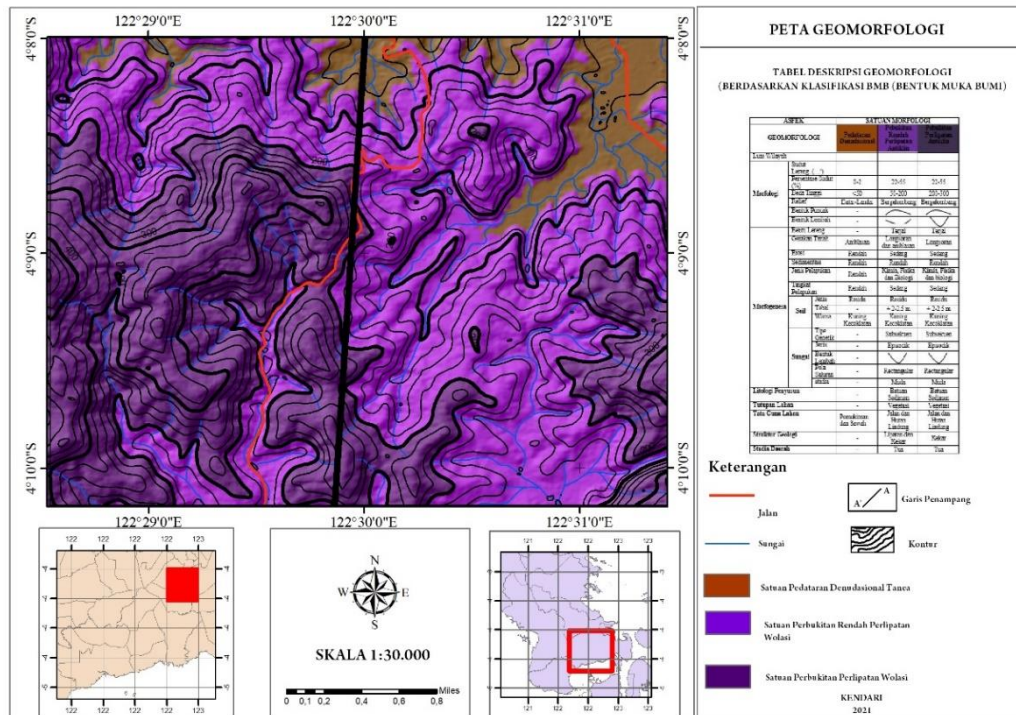
Satuan geomorfologi

Pada daerah penelitian, dijumpai tiga satuan geomorfologi, yaitu: pedataran denudasional, perbukitan rendah, dan perbukitan perlipatan Wolasi. Pola kelurusan punggungan dan lembah berarah umum Tenggara-baratlaut. Pola aliran Sungai bertipe rektangular dengan cabang sungai membentuk sudut tegaklurus terhadap sungai utama, yang penyebarannya dikontrol struktur geologi.

Satuan pedataran denudasional dicirikan oleh kontur renggang dengan elevasi 0-50mdpl, kemiringan lereng 0-2% (datar) tersebar di bagian utara berupa area pemukiman dan persawahan. Satuan ini tersusun oleh endapan alluvium dengan intensitas erosi alur yang cukup tinggi.

Satuan perbukitan rendah dicirikan oleh pola kontur kasar dengan elevasi 50-200mdpl, kemiringan lereng 21-55% berkategori curam. Satuan ini tersusun atas batupasir dan batulempung termasuk dalam Kawasan hutan lindung. Pelapukan berlangsung intens, Lembah Sungai muda berbentuk “V” diserati kehadiran perlipatan.

Satuan perbukitan lipatan dicirikan pola kontur rapat dan relief kasar dengan elevasi 75-500 mdpl dengan tipe perbukitan bergelombang. Satuan ini didominasi oleh sungai muda dengan litologi berupa filit dan batupasir (Gambar 1).



Gambar 1 Peta geomorfologi daerah penelitian yang dibagi menjadi tiga satuan

Satuan Batuan dan Endapan Residual

Filit hadir sebagai batuan dasar penyusun lereng. Hadir setempat di bagian selatan dengan kondisi lapuk kuat, nilai kuat tekan UCS sebesar 7,85 MPa. Di bagian atas profil, dijumpai kehadiran lempung berfragmen sebagai tanah penutup. Batupasir tersebar di bagian utara dengan kontak tegas pada filit. Batupasir berukuran pasir sedang, butir membundar didominasi kuarsa dan litik metamorf, matriks dan semen nonkarbonatan, tingkat pelapukan sedang (derajat III). Batulempung hadir dengan kondisi lapuk dan terlipat kuat. Struktur laminasi dijumpai disertai jejak gerakakan tanah. Perbedaan nilai kuat tekan pada batuan menunjukkan efek derajat pelapukan (Tabel 1).

Hadir sebagai lapisan tanah penutup, lempung berfragmen merupakan endapan tidak terkonsolidasi yang menyebar luas di

daerah penelitian. Hadir dengan kondisi lembab-kering, dijumpai erosi alir dan parit, serta jejak gerakan tanah. Ketebalan lapisan antara 1-17 meter yang berasal dari pelapukan residu filit dan batulempung, dicirikan oleh hadirnya fragmen filit. Tanah ini berwarna coklat terang hingga gelap, berukuran lanau dengan fragmen kerikil-kerakal, bentuk butir menyudut, lunak – agak lunak. Satuan lempung berfragmen memiliki nilai batas cair (LL) 32,90%-39,35%, indeks plastisitas (PI) 6,86%-10,57%. sudut geser dalam $27,63^{\circ}$ - $29,66^{\circ}$ dengan kohesi 9,61 kPa-11,081 kPa (Tabel 2). Tanah ini tersortasi buruk, mudah digali dengan peralatan gali sederhana.

Tabel 1 Derajat pelapukan batuan pada lereng dan pengaruhnya terhadap kuat tekan uniaksial

Litologi	Derajat Pelapukan	UCS (MPa)
Batulempung	Lapuk Kuat (IV)	3.67

Litologi	Derajat Pelapukan	UCS (MPa)
	Lebih dari separuh batuan dekomposisi menjadi tanah, batuan segar berubah warna, kekar intens, vein dengan isian kuarsa dan perlipatan	
Batupasir	Lapuk Sedang (III) Kurang dari separuh batuan terdekomposisi menjadi tanah. Batuan segar telah berubah warna oleh oksidasi, tekstur berbutir, diskontinuitas sedikit hadir	27.43
Filit	Lapuk Kuat (IV) Lebih dari separuh batuan terdekomposisi menjadi tanah. Batuan segar berubah warna, foliasi masih terlihat, vein terlihat lebih planar	7.85

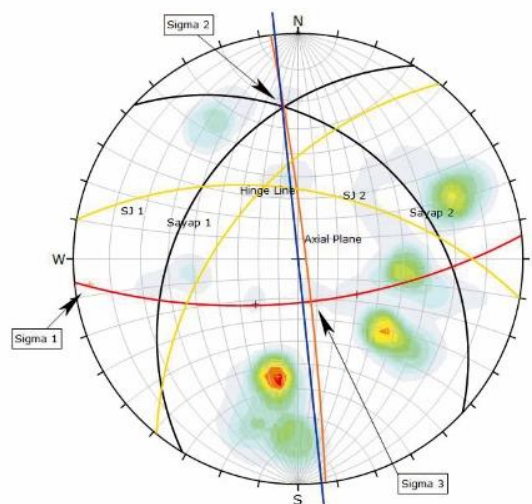
Tabel 2 Sifat keteknikan pada lempung berfragmen sebagai lapisan tanah penutup

Sampel	Sudut geser dalam	Kohesi (kPa)	Indeks Plastistas	Bobot isi (kN/m ³)
Bor 1	28,65°	11,08	8.64	17.71
Bor 2	27,37°	10,29	10.57	17.66
Bor 3	28,14°	10,88	9.31	18.01
Bor 4	27,63°	10,49	9.16	16.92

Struktur geologi yang hadir pada ruas jalan Kendari-Andoolo berupa lipatan, rekahan gerus, dan breksiasi sesar. Rekahan gerus hadir berpasangan berorientasi N221°E/65°NW dan N282°E/70°NE, disertai breksiasi sesar berarah N335°E. hasil stereografi menunjukkan kedua tipe struktur geologi ini terbentuk oleh rezim tegasan sesar geser mengiri (Gambar 2). Perlipatan dijumpai pada laminasi batulempung maupun belahan pada filit yang

menunjukkan kesan perlapisan sebelum batuan mulai termetamorfkan. Sayap lipatan berorientasi NE dan NW. Analisis stereonet pada kemiringan sumbu lipatan dan bidang perlipatan menunjukkan tipe lipatan menunjam.

Secara umum, ruas jalan Kendari-Andoolo Daerah Wolasi tersusun atas batuan metamorf dan batuan sedimen yang disetarakan dengan Formasi Meluhu berumur Trias. Batuan hadir dalam kondisi lapuk-lapuk kuat disertai rekahan gerus intens, perlapisan, dan perlipatan yang mengurangi kekuatan massa batuan. Kehadiran tanah penutup yang tebal juga mengindikasikan potensi gerakan tanah berupa longsoran bahan ronbakan di sepanjang kontak batuan dan tanah penutup (Gambar 3), sebagai lapisan dengan kontras sifat fisik dan mekanik yang berbeda.

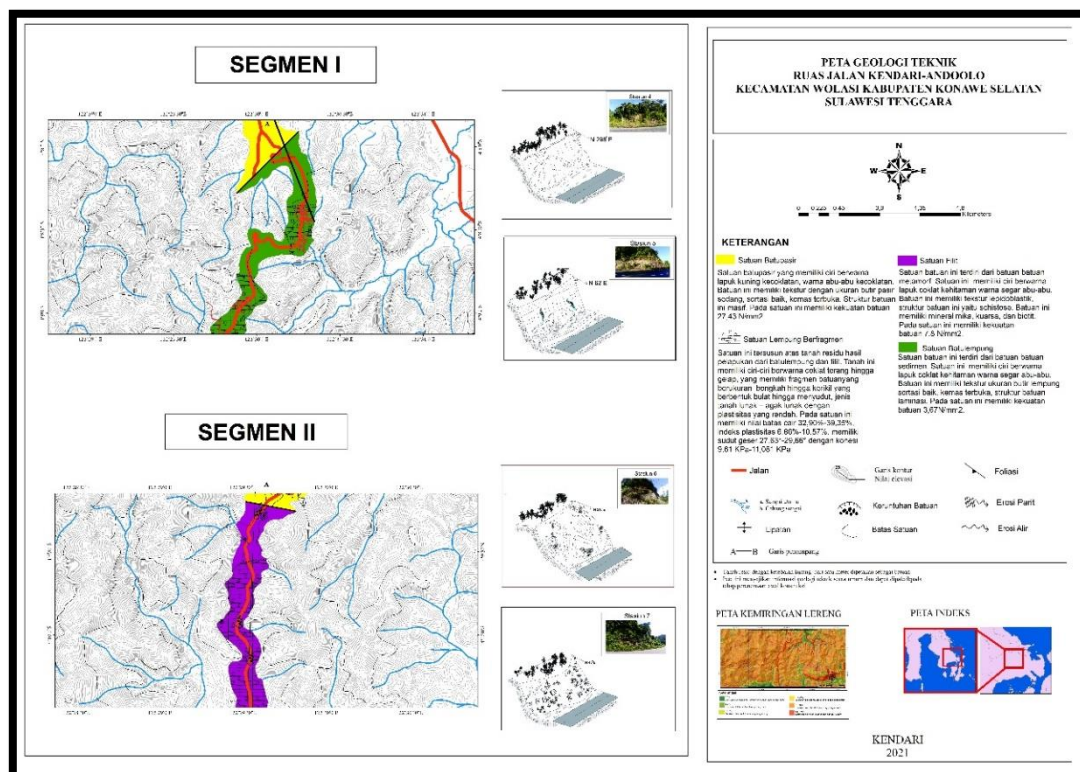


Gambar 2 Proyeksi stereografi data rekahan gerus dan breksiasi. Tegasan utama oleh sesar geser mengiri

3.2. Kestabilan Lereng di Ruas Jalan Geometri dan Penampang Lereng

Geometri lereng diperoleh melalui sayatan berarah timurlaut-baratdaya sepanjang muka lereng. Sayatan ini dipilih karena memotong lereng dengan kemiringan terjal, filit lapuk kuat disertai rekahan gerus, dan tanah penutup yang tebal. Topografi aktual pada penampang dibuat berdasarkan peta topografi berinterval

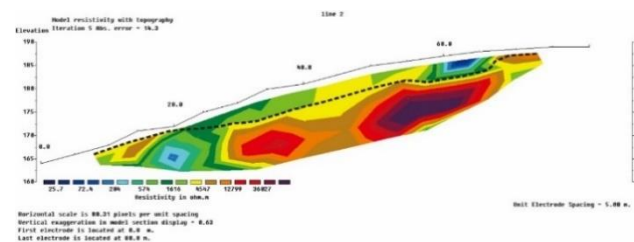
7,5 meter berdasarkan data DEMNAS. Metode tahanan jenis dengan konfigurasi Wenner-Schlumberger juga dilakukan untuk melengkapi data bor *hand auger* di empat titik. Lintasan pengukuran sepanjang 80 meter searah penampang lereng dengan elevasi 165-200 mdpl.



Gambar 3 Peta geologi teknik yang menunjukkan sebaran batuan dan tanah residu pada ruas jalan Daerah Wolasi

Hasil interpretasi menunjukkan kehadiran dua zona lapisan. Lapisan 1 di bagian atas dengan interval resistivitas 25-574 $\Omega.m$ diinterpretasikan sebagai lapisan lempung berfragmen dengan porositas tinggi dan tidak terkonsolidasi. Lapisan 2 di bagian bawah dengan interval resistivitas $>1616 \Omega.m$ yang diinterpretasi sebagai filit dengan gradasi derajat pelapukan. Zona transisi pada kedua lapisan dianggap sebagai bidang gelincir yang

membentuk bidang planar dengan kedalaman hingga 5 meter (Gambar 4).



Gambar 4 Penampang resistivitas pada lereng yang menunjukkan bidang gelincir berbentuk planar

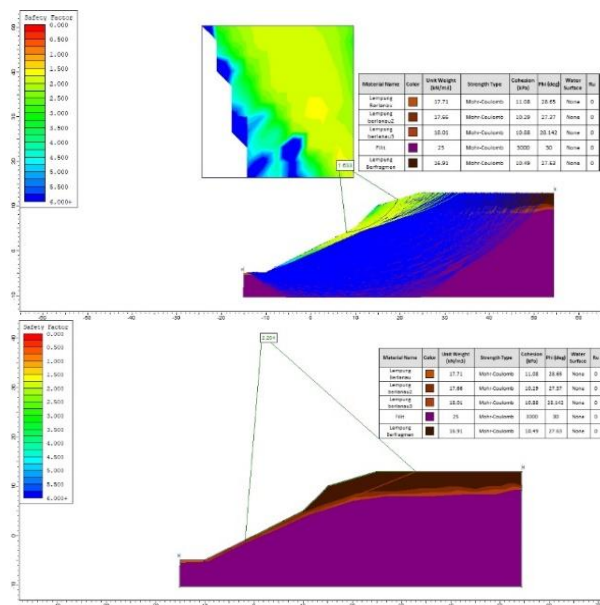
Faktor Keamanan Lereng

Penentuan faktor keamanan pada analisis kestabilan lereng diawali dengan memilih metode perhitungan, memasukan parameter geometri lereng dan kekuatan material lereng, serta penentuan asumsi bidang gelincir. Perhitungan dilakukan pada kondisi lereng tunggal dan lereng keseluruhan. Nilai kekuatan material penyusun lereng diperoleh dari uji laboratorium (Tabel 1 dan Tabel 2). Asumsi bidang gelincir yang digunakan adalah bidang gelincir rotasional dan bidang gelincir planar aktual pada penampang tahanan jenis. Geometri lereng tunggal dengan tinggi 14 m dan kemiringan lereng 55°. Lereng yang dipilih merupakan lereng tunggal tepat di ruas jalan, perhitungan dalam keadaan statis. Pada lereng tunggal dan keseluruhan, asumsi bidang gelincir rotasional dihitung dengan Metode Bishop sedangkan bidang gelincir aktual dihitung dengan Metode Spencer.

Hasil analisis menunjukkan, pada lereng tunggal dengan bidang gelincir rotasional, faktor keamanan (FK) dengan Metode Bishop bernilai 1,63 yang menunjukkan nilai FK di atas nilai ambang yang dipersyaratkan pada lereng tunggal ($FK > 1,2$). Hal ini menunjukkan kestabilan lereng tunggal di ruas jalan dalam kategori stabil terhadap potensi longsoran rotasional dan tidak memerlukan evaluasi kestabilan lereng lebih lanjut (Gambar 5).

Pada skenario bidang gelincir aktual, hasil analisis dengan Metode Spencer menghasilkan nilai FK 2.20 yang juga menunjukkan nilai FK di atas nilai ambang yang dipersyaratkan (Martin dan Stacey, 2018). Hal ini menunjukkan faktor keamanan lereng tunggal pada skenario bidang gelincir rotasional dan

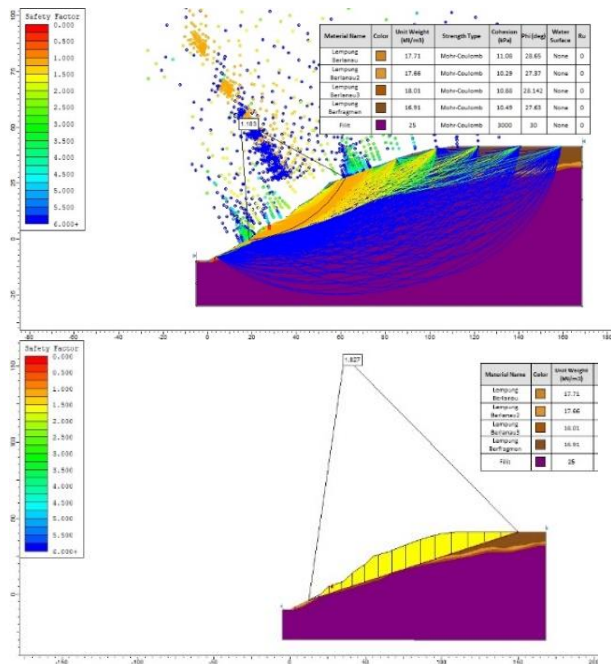
planar dalam keadaan stabil tidak memerlukan evaluasi lebih lanjut.



Gambar 5 Perhitungan faktor keamanan pada lereng tunggal menggunakan bidang gelincir rotasional (atas) dan bdiang gelincir nonrotasional (bawah)

Pada perhitungan faktor keamanan pada lereng keseluruhan, dijumpai hasil yang berbeda. Lereng keseluruhan bergeometri panjang 170 meter, tinggi 40 meter dengan *overall slope* sebesar 45°. Pada skenario bidang gelincir rotasional dengan Metode Bishop, faktor keamanan (FK) sebesar 1,16 yang tergolong lereng dalam kondisi kritis. Pada skenario bidang gelincir aktual dengan Metode Spencer, faktor keamanan sebesar 1,83 yang berada di atas nilai ambang (Gambar 6). Pada lereng keseluruhan skenario longsoran berupa bidang gelincir aktual pada zona batas filit lapuk dan tanah penutup berdasarkan survey geofisika menunjukkan nilai faktor keamanan yang tinggi (Tabel 3). Skenario longsoran rotasional dengan bidang gelincir pada tanah

penutup berbentuk sirkular menghasilkan faktor keamanan rendah.



Gambar 6 Perhitungan faktor keamanan pada lereng keseluruhan menggunakan bidang gelincir rotasional (atas) dan bdiang gelincir nonrotasional (bawah)

Tabel 3 Rekap faktor keamanan lereng pada lereng tunggal dan lereng keseluruhan

Kondisi Lereng	Bidang gelincir	Nilai FK	Kondisi Lereng
Lereng Tunggal (<i>inter-ramp</i>)	Rotasional	1.63	Stabil
	aktual	2.20	Stabil
Lereng keseluruhan (<i>Overall</i>)	Rotasional	1.16	Kritis
	aktual	1.83	Stabil

Ketidakstabilan lereng pada ruas jalan Kendari-Andoolo pada Daerah Wolasi dipengaruhi oleh bahan rombakan berupa tanah penutup lempung berlanau dan pelapukan batuan dasar. Jenis tanah lempung berlanau memiliki plastisitas sedang sehingga

memerlukan lebih banyak kandungan air untuk terdeformasi dalam bentuk agregat (Raharjo dan Sarmili, 2017). Asumsi bidang gelincir pada kontak antara batuan dan tanah penutup ditunjukkan dengan perhitungan faktor keamanan pada bidang planar. Pada asumsi tersebut, lereng dalam kategori stabil, baik pada lereng tunggal maupun lereng keseluruhan. Pada asumsi bidang gelincir rotasional yang membentuk geometri longsoran dangkal diperoleh faktor keamanan lereng yang stabil pada lereng tunggal dan kritis pada lereng keseluruhan. Perbedaan nilai faktor keamanan ini, dipengaruhi oleh perbedaan volume tanah dan bahan rombakan yang mempengaruhi besar gaya pendorong yang bekerja pada lereng.

4. KESIMPULAN

Ruas jalan Kendari-Andoolo merupakan jalan trans provinsi yang sangat strategis karena menghubungkan Kota Kendari dan beberapa kabupaten di bagian Selatan Sulawesi Tenggara. Desain jalan dijumpai banyak kelokan dengan lereng terjal. Kawasan ini berada pada satuan geomorfologi perbukitan perlipatan. Lereng tersusun atas filit lapuk kuat dan perlapisan batupasir-batulanau yang terlipat, setempat juga hadir rekahan gerus pada batuan. Tanah penutup berupa lempung berfragmen berplastisitas sedang. Dengan survey geofisika, bidang gelincir berupa bidang planar diidentifikasi pada zona batas lapisan 1 dan lapisan 2 oleh kontras resistivitas sebagai batas batuan dan tanah penutup. Faktor keamanan menunjukkan lereng dalam kondisi stabil pada

asumsi lereng tunggal, namun berada pada kondisi kritis pada perhitungan lereng keseluruhan dengan bidang gelincir rotasional. Kehadiran lempung berfragmen dengan kuat geser rendah serta batuan dasar yang lapuk kuat menjadi penyebab ketidakstabilan pada lereng.

Pada penelitian ini, faktor keamanan dihitung dalam kondisi statis, dengan mengabaikan beberapa faktor. Efek muka air tanah juga dapat mempengaruhi nilai faktor keamanan, sehingga pengukuran kuat geser lapisan penyusun lereng pada kondisi jenuh dengan muka airtanah yang diketahui dapat menjadi penelitian lanjutan. Faktor keamanan juga dapat dihitung dengan mempertimbangkan beban dinamik seperti percepatan yang ditimbulkan oleh gempabumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, L. O. J., Lihawa, F., & Mahmud, M. (2021). Analisis Tipe Dan Bidang Gelincir Longsor Di Kabupaten Gorontalo Utara. *Jambura Geoscience Review*, 3(2), hal. 73-83. <https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v3i2.10623>
- Arif, I. (2016). *Geoteknik Tambang* (1 ed.). Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 397 hal.
- Azizi, M. A. (2014). *Pengembangan Metode Penentuan Reliabilitas Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara di Indonesia*. Disertasi, Institut Teknologi Bandung. 240 hal.
- Bishop, A. W. (1955). The use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. *Géotechnique*, 5(1), hal. 7-17. <https://doi.org/10.1680/geot.1955.5.1.7>
- Brahmantyo, B., & Bandoni, S. (2006). Klasifikasi Bentuk Muka Bumi (Landform) untuk pemetaan geomorfologi pada skala 1:25.000 dan aplikasinya untuk penataan ruang. *Jurnal Geoplrika*, 1(2), hal. 71-78. <https://doi.org/10.31227/osf.io/8ah6v>
- Hasria, Anshari, E., Muliddin, Restele, L. O., & Ningrat, H. (2019). Analisis kestabilan lereng dengan Metode Slope Mass Rating (SMR) di Kecamatan Wolasi Kabupaten Konawe Selatan. *Physical and Social Geography Research Journal (PSGRJ)*, 1(2), hal. 9-18.
- Hendri, H., Faryuni, I. D., & Zulfian, Z. (2020). Identifikasi Bidang Gelincir dan Tipe Tanah Longsor di Daerah Rawan Longsor Desa Bantai Menggunakan Metode Geolistrik. *Prisma Fisika*, 7(3), hal. 167-178. <https://doi.org/10.26418/pf.v7i3.36329>
- Huang, Y. H. (2014). *Slope Stability Analysis by the Limit Equilibrium Method: Fundamentals and Methods*. ASCE Press. Virginia. 378 hal.
- Lisle, R. J., & Leyshon, P. R. (2004). *Stereographic Projection Techniques for Geologists and Civil Engineers*. Cambridge University Press. London. 121-121 hal. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139171366>
- Martin, D., & Stacey, P. (2018). *Guidelines for Open Pit Slope Design in Weak Rocks*. CRC Press. New York. 415 hal.
- Price, D. G. (2009). *Engineering Geology* (M. H. de Freitas, Ed.). Springer. Berlin, Heidelberg. 450 hal. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-68626-2>
- Priyantari, N., Supriyadi, S., Baskoro, S. A., & Saputra, F. (2020). Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner dan Wenner-Schlumberger pada Daerah Mata Air Panas Kali Sengon di Desa Blawan-Ijen. *Berkala Sainstek*, 8(1), hal. 20-24. <https://doi.org/10.19184/bst.v8i1.11991>
- Putra, M. H. Z., Kartiko, R. D., Soemantidiredja, P., Sadisun, I. A., & Tohari, A. (2020). Pengaruh zona jenuh air terhadap kestabilan lereng di Weninggalih, Kabupaten Bandung Barat. *RISSET*

- Geologi dan Pertambangan*, **30**(1), hal. 119 - 130.
<https://doi.org/10.14203/risetgeotam2020.v30.1086>
- Raharjo, P., & Sarmili, L. (2017). Keterdapatan Mineral Lempung Smektit Yang Mempunyai Sifat Plastisitas Tinggi Di Perairan Cirebon, Jawa Barat. *Jurnal Geologi Kelautan*, **14**(1), hal. <https://doi.org/10.32693/jgk.14.1.2016.339>
- Rikayanti. (2018). *Analisis pengontrol longsor Jalan Poros Kendari-Desa Tanea KM. 16-20 Kecamatan Konda Kabupaten Konawe Selatan Provinsi Sulawesi Tenggara*. Skripsi, Universitas Halu Oleo. 114 hal.
- Simandjuntak, T. O., Surono, & Sukido. (1993). *Peta Geologi Lembar Kolaka, Sulawesi*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Spencer, E. (1973). Thrust line criterion in embankment stability analysis. *Géotechnique*, **23**(1), hal. 85-100.
<https://doi.org/10.1680/geot.1973.23.1.85>