

Geologi Teknik dan Analisis Kestabilan Lereng pada Daerah Perkantoran Tirawuta, Kabupaten Kolaka Timur, Sulawesi Tenggara

Komang Asmaranita¹, Masri^{1}, Arisona²*

- 1. Jurusan Teknik Geologi, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia*
 - 2. Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia*
- *Email: masri@uho.ac.id*

SARI

Pemetaan geologi teknik dan analisis kestabilan lereng telah dilakukan pada Daerah Perkantoran Tirawuta, Kabupaten Kolaka Timur, Sulawesi Tenggara. Penelitian ini bertujuan untuk menyajikan kondisi geologi teknik kawasan perkantoran mencakup satuan geomorfologi, tipe litologi penyusun lereng, dan sifat fisik maupun sifat mekanik material penyusun lereng. Daerah penelitian tersusun atas satuan pasir lanau (SP-ML), satuan pasir lempung (SP-CL), dan satuan sekis. Sekis memiliki nilai kuat tekan yang rendah (6,63 MPa) disebabkan oleh derajat pelapukan yang tinggi. Kisaran berat isi litologi penyusun lereng sebesar 13,52 kN/m³-16,26 kN/m³ dengan indeks plastisitas sedang (6,88-14,33). Penentuan faktor keamanan lereng dilakukan dengan menggunakan Metode Bishop pada dua sayatan lereng. Hasil analisis menunjukkan lereng A pada kondisi stabil, sedangkan lereng B memiliki faktor keamanan (FK) mendekati nilai ambang (FK=1,27). Analisis sensitivitas pada parameter berat isi dan kuat geser menunjukkan pengontrol kestabilan lereng adalah satuan pasir lanau dan satuan pasir lempung. Perubahan nilai kohesi dan sudut geser dalam satuan pasir lempung mempengaruhi nilai faktor keamanan pada Lereng A, demikian pula satuan pasir lanau pada Lereng B. Pada kondisi lereng kritis, kohesi dan sudut geser dalam berkorelasi positif berdasarkan kurva regresi. Optimalisasi geometri pada lereng B dilakukan dengan mengubah geometri lereng berupa memperkecil sudut lereng dan membuat jenjang.

Kata kunci: Faktor keamanan, Gerakan tanah, Analisis balik, Analisis sensitivitas, Aluvium

How to Cite: Asmaranita, K., Masri, M., Arisona, A. 2023. Geologi Teknik dan Analisis Kestabilan Lereng pada Daerah Perkantoran Tirawuta, Kabupaten Kolaka Timur, Sulawesi Tenggara. Jurnal Geomine, 11 (2): 174 - 188.

Published By:

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:

geomine@umi.ac.id

Article History:

Submit 23 June 2023

Received in from 25 July 2023

Accepted 8 August 2023

Licensed By:

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



ABSTRACT

Engineering geological mapping and slope stability analysis have been conducted in Tirawuta Area, East Kolaka Regency, Southeast Sulawesi. This research aims to present the geological conditions of the office area, including geomorphological units, lithological types of slope, and the physical and mechanical properties of slope materials. The research area comprises silt sand units (SP-ML), clay sand units (SP-CL), and schist units. The schist has a low compressive strength (6.63 MPa) due to the high weathering degrees. The unit weight of the lithologies that make up the slope is 13.52 kN/m^3 - 16.26 kN/m^3 with a medium plasticity index (6.88-14.33). Determination of the slope factor of safety was carried out using the Bishop Method in two sections. The analysis showed that slope A was stable, while slope B had a factor of safety (FoS) close to the threshold value (FoS=1.27). Sensitivity analysis on the unit weight and shear strength parameters showed that silty and clay sand units control slope stability. Changes in the cohesion and friction angle in the clay sand unit affect the factor of safety on Slope A and the silty sand unit on Slope B. Cohesion and friction angle at critical slope conditions are positively correlated based on the regression curve. Geometry optimization on Slope B is recommended by changing the slope geometry by reducing the slope angle and creating benches.

Keywords: *Factor of safety, Landslides, Back analysis, Sensitivity analysis, Alluvium*

PENDAHULUAN

Daerah Tirawuta merupakan kawasan perkantoran Pemerintah Daerah Kolaka Timur dengan beberapa gedung pemerintahan utama dibangun di area perbukitan (Asnang, 2017). Daerah perkantoran dibangun pada kawasan perbukitan yang tersusun oleh endapan alluvium dan batuan metamorf (Simandjuntak dkk., 1993). Pada kondisi curah hujan yang tinggi dengan lereng terjal, lereng yang tersusun oleh endapan alluvium sering menyebabkan gerakan tanah. Salah satu kejadian terjadi pada 27 Mei 2022, gerakan tanah terjadi di ruas jalan yang menghubungkan Kabupaten Kolaka-Kolaka Timur yang mengakibatkan material longsor menutupi badan jalan (BNPB, 2022). Di sisi lain, ketersediaan data geologi hanya berasal dari Peta Geologi Regional lembar Kolaka berskala 1:250.000 (Simandjuntak dkk., 1993), sehingga tidak dapat diperoleh informasi detail terkait data geologi teknik yang diperlukan dalam analisis kestabilan lereng. Studi kestabilan lereng secara spasial pada batuan sekis di Perbukitan Asinua, Konawe juga menunjukkan distribusi faktor keamanan lereng kritis tersebar cukup luas pada model dengan parameter gempa dan asumsi lereng jenuh air (Kartiko dan Rizman, 2023). Penelitian ini bertujuan untuk menyajikan data geologi teknik berskala 1:10.000, dilanjutkan dengan evaluasi kestabilan lereng pada area perbukitan yang digunakan sebagai kawasan perkantoran. Studi kestabilan lereng mencakup penentuan faktor keamanan, analisis sensitivitas, dan analisis balik. Analisis sensitivitas digunakan

untuk menentukan parameter masukan yang paling mempengaruhi faktor keamanan dan analisis balik digunakan untuk menentukan nilai ambang kuat geser material penyusun saat lereng dalam kondisi kritis (Azizi, 2014).

Faktor keamanan pada lereng pada prinsipnya adalah perbandingan gaya penahan dan gaya penggerak. Perhitungan parameter ini dapat didekati dengan penggunaan metode kesetimbangan batas maupun metode numerik (Huang, 2014). Pada metode kesetimbangan batas, faktor keamanan ditentukan berdasarkan prinsip kesetimbangan gaya dan/atau kesetimbangan momen (Arif, 2016). Metode Bishop merupakan salah satu metode kesetimbangan batas yang cukup populer. Metode Bishop menggunakan prinsip kesetimbangan momen dengan hanya memperhitungkan gaya normal antar irisan (Bishop, 1955). Dengan asumsi perhitungan yang lebih sederhana, Metode Bishop menghasilkan nilai faktor keamanan yang cukup akurat (Wesley, 2010).

Aplikasi Metode Bishop pada kestabilan lereng, baik lereng tambang maupun lereng jalan raya telah banyak digunakan. Metode ini telah banyak digunakan pada kasus lereng tambang batubara (Azizi dkk., 2019, Muhammad dkk., 2020) maupun desain lereng pada nikel laterit (Arief, 2020, Syafar, 2017). Penyusun lereng pada tambang batubara umumnya berupa variasi batuan sedimen, sedangkan pada nikel laterit tersusun atas batuan dasar dan lapisan tanah laterit tidak terkonsolidasi. Pada lereng jalan, Metode Bishop juga digunakan pada desain lereng tunggal yang tersusun atas batuan lapuk dengan tanah penutup (Hidayat, 2018, Munir dkk., 2021).

Daerah perkantoran Tirawuta tersusun atas endapan alluvium berukuran pasir, kerikil hingga kerakal yang menutupi sekis mika. Studi awal juga menunjukkan keterdapatannya riwayat dan jejak gerakan tanah pada sekitar area perkantoran, sehingga analisis balik perlu dilakukan. Analisis balik umumnya digunakan untuk menentukan geometri lereng awal dan mekanisme longsoran yang berlangsung. Analisis ini juga dapat menentukan parameter kuat geser lereng saat terjadi longsoran (Wardana dkk., 2021, Lv dkk., 2017).

METODE PENELITIAN

Geologi teknik dan geometri lereng

Pemetaan geologi teknik pada daerah penelitian berskala 1:10000 mengacu pada SNI (1992). Data geologi teknik berupa sebaran dan deskripsi litologi dan penentuan satuan geomorfologi, termasuk pengukuran geometri lereng. Deskripsi litologi penyusun lereng dilakukan pada singkapan maupun pada hasil pengeboran dengan *Hand Auger*. Penampang sayatan lereng mewakili kondisi lereng pada daerah Perkantoran Tirawuta. Penampang lereng berarah baratlaut-tenggara dan timurlaut-baratdaya.

Penentuan sifat fisik dan mekanik litologi penyusun lereng

Litologi penyusun lereng diperoleh melalui singkapan dan pengeboran hand auger dengan kedalaman hingga 3 meter. Sampel tanah penutup diperoleh menggunakan *shelby tube stainless steel* berukuran 3". Selanjutnya, pengujian sifat fisik dan mekanik sampel tanah dilakukan pada UPTD Laboratorium Dinas Sumber Daya Air dan Bina Marga Provinsi Sulawesi Tenggara. Pengujian sifat fisik mencakup analisis granulometri, pengujian indeks plastisitas (SNI, 2008), dan penentuan bobot isi. Pengujian sifat mekanik meliputi penentuan kuat geser tanah (kohesi dan sudut geser dalam) mengacu pada SNI (2016). Analisa granulometri dan nilai indeks plastisitas digunakan untuk penentuan tipe tanah berdasarkan klasifikasi USCS (Das dan Sobhan, 2018). Pengujian pada empat sampel tanah dan satu sampel batuan menunjukkan variasi nilai indeks plastisitas, bobot isi, dan kohesi (Tabel 1).

Tabel 1 Sifat keteknikan pada satuan batuan dan tanah pada daerah penelitian

Sampel	Deskripsi	Indeks Plastisitas	Berat Isi (kN/m ³)	Kohesi (KPa)	Sudut Geser Dalam (°)
ST. 2	Pasir berlanau	6,88	16,26	16,66	19,93
ST. 3	Pasir berlanau	13,03	13,52	35,80	19,29
ST. 5	Pasir berlempung	12,59	14,21	51,94	18,65
ST. 7	Pasir berlanau	14,33	14,11	37,24	19,92
ST. 9	Sekis mika agak lapuk	-	22,7	217	38,5

Penentuan nilai faktor keamanan lereng

Penentuan nilai faktor keamanan pada Metode Bishop didasarkan pada prinsip kesetimbangan momen dan mengabaikan perhitungan pada kesetimbangan gaya. Pada metode ini, gaya geser antar irisan diasumsikan nol dan gaya normal antar irisan diuraikan pada arah vertikal, sehingga resultan gaya normal pada irisan memiliki resultan nol pada arah vertikal (Cherianto dkk., 2014). Persamaan faktor keamanan menurut Bishop (1955) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$f(FK) = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} (\sum (Cb + (W - u.b) \tan \phi) \frac{\sec \alpha}{1 + \tan \phi \cdot \tan \alpha / F})$$

Dengan **c**: kohesi litologi penyusun lereng (kPa); **b**: lebar irisan; **W**: berat irisan; **u**: tekanan air pori; **φ**: sudut geser dalam; **α**: sudut dasar irisan terhadap bidang horizontal.

Uji sensitivitas dan analisis balik longsor

Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui parameter masukan yang berkontribusi terhadap perubahan faktor keamanan lereng. Uji sensitivitas dilakukan pada

nilai bobot isi dan kuat geser litologi penyusun lereng dengan asumsi distribusi seragam. Pada analisis balik longsoran ditentukan nilai kuat geser kritis (kuat geser saat perhitungan faktor keamanan lereng bernilai kritis). Kedua analisis ini dapat menunjukkan tipe parameter masukan dan nilai ambangnya yang mempengaruhi kestabilan lereng (Masri, 2016).

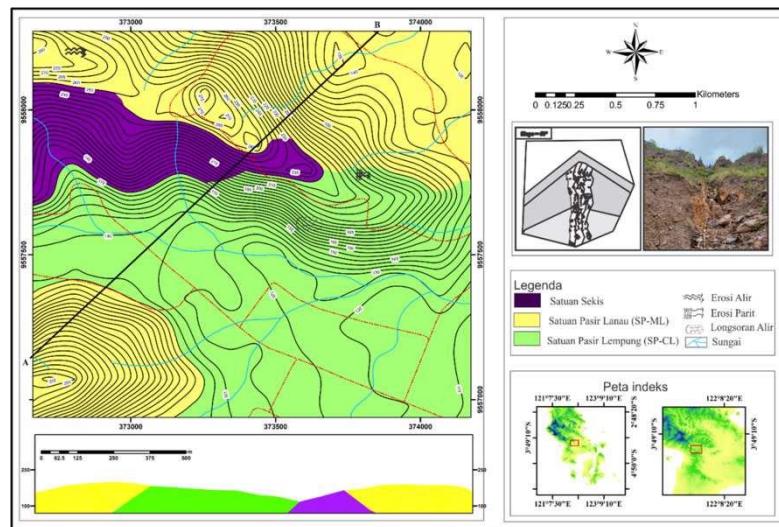
HASIL DAN PEMBAHASAN

Geologi Teknik Daerah Penelitian

Pola kelurusan perbukitan dan lembah dapat mencerminkan proses tektonik dan tipe struktur geologi yang berkembang pada suatu daerah. Berdasarkan analisis pola kelurusan menggunakan citra DEM nasional beresolusi 8 meter, orientasi perbukitan dan lembah berarah umum relatif tenggara-baratlaut, sejajar dengan sesar geser mengiri regional yang banyak dijumpai di lengan Tenggara Seulawesi (Surono, 2013). Berdasarkan tipe morfografi, daerah penelitian tersusun atas perbukitan dan perbukitan rendah (Gambar 1). Perbukitan rendah dicirikan oleh pola kontur kasar dengan elevasi berkisar antara 110 – 195 mdpl. Kemiringan lereng landai hingga miring, tersusun atas endapan alluvium. Satuan ini digunakan sebagai area pemukiman dan perkantoran. Satuan perbukitan dicirikan oleh pola kontur rapat dan relief yang kasar. Satuan ini tersebar pada elevasi 200 – 375 mdpl. Kemiringan lereng miring hingga curam yang diklasifikasikan sebagai perbukitan bergelombang miring (Widyatmanti dkk., 2016). Satuan ini tersusun atas sekis mika yang terhampar di bagian barat area perkantoran. Daerah perbukitan ini digunakan sebagai area perkantoran bupati, kawasan wisata, dan hutan lindung.



Gambar 1 Bentang alam perbukitan yang memanjang berarah tenggara-baratlaut diikuti perbukitan bergelombang miring berelevasi lebih rendah



Gambar 2 Peta geologi teknik daerah penelitian

Daerah perbukitan pada kawasan perkantoran secara umum tersusun atas batuan dan endapan alluvium sedimenter. Litologi batuan berupa sekis mika, sedangkan endapan sedimen berupa fragmen alluvium yang berukuran lempung hingga pasir (Gambar 2). Satuan sekis mika berwarna abu-abu kecokelatan tersebar di bagian barat area perkantoran. Secara megaskopik dapat teramati tekstur lepidoblastik yang membentuk struktur foliasi (Gambar 3A). Umumnya tersusun oleh kelompok mineral mika, kuarsa, dan mineral oksida. Hasil pengujian nilai kuat tekan (UCS) menunjukkan nilai yang relatif rendah sebesar 6,63 MPa. Hasil pengujian ini berbeda dengan nilai kuat tekan sekis pada Perbukitan Asinua yang relatif lebih tinggi (Kartiko dan Rizman, 2023). Perbedaan ini disebabkan oleh sekis mika pada daerah penelitian hadir dengan derajat pelapukan relatif tinggi, dicirikan oleh kehadiran mineral oksida.

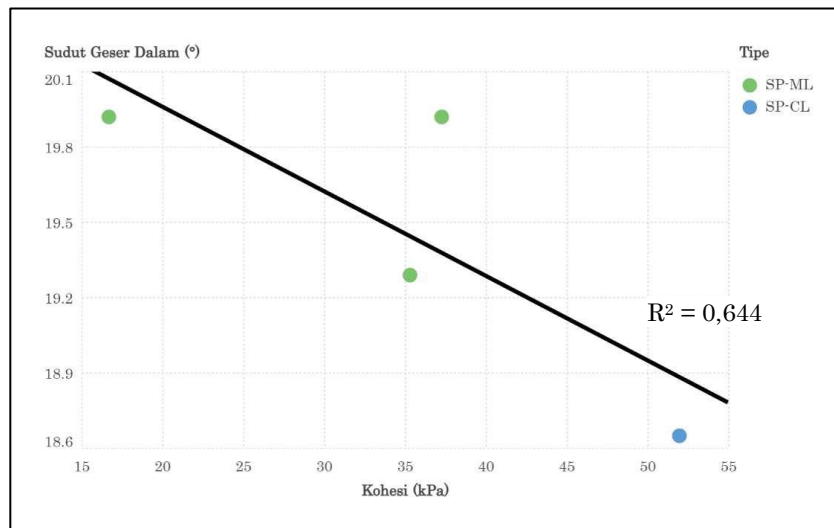
Satuan pasir lanauan tersebar pada bagian utara dan baratdaya dengan kondisi lembab hingga kering. Ketebalan lapisan berkisar 1 – 5 meter. Satuan ini berwarna coklat keabu-abuan didominasi pasir kasar, bentuk butir membundar, derajat kebulatan rendah, tersusun atas fragmen sekis dan kuarsa, nonkarbonatan (Gambar 3B). Bobot isi 14,11 – 16,26 gr/cm³ dengan kadar air natural 27,63%. Analisis granulometri menunjukkan fraksi kasar 76-85% dan fraksi halus 15-24%. Fraksi kasar dominan pasir. Koefisien keseragaman (Cu) dan koefisien gradasi (Cc) menunjukkan pasir tersortasi buruk. Pada fraksi halus dilakukan uji plastisitas dengan nilai batas cair 36,06%, batas plastis 24,65%, dan nilai indeks plastisitas 11,41% berkategori rendah. Berdasarkan Klasifikasi USCS, satuan ini didefinisikan sebagai satuan pasir berlanau tersortasi buruk dengan plastisitas rendah (SP-ML).



Gambar 3 Singkapan sekis mika lapuk sedang (A) dengan kenampakan struktur foliasi oleh kuarsa dan mineral mika; singkapan pasir berlanau (SP-ML) dengan erosi alir (B); singkapan pasir berlempung (SP-CL) pada lereng terjal (C).

Satuan pasir lempungan tersebar luas di bagian timur memisahkan satuan sekis dan pasir berlanau. Pada satuan ini dijumpai erosi parit dan jejak gerakan tanah. Ketebalan lapisan berkisar 1 – 8 meter (Gambar 3C). Satuan ini berwarna coklat kehitaman didominasi pasir halus, bentuk butir membulat, derajat kebulatan tinggi, tersusun atas mineral oksida dan mineral lempung, nonkarbonatan. Bobot isi 14,21 gr/cm³ dengan kadar air natural 34,85%. Analisis granulometri menunjukkan fraksi kasar 78% dan fraksi halus 22%. Fraksi kasar dominan pasir. Koefisien keseragaman (Cu) dan koefisien gradasi (Cc) menunjukkan pasir tersortasi buruk. Pada fraksi halus dilakukan uji plastisitas dengan nilai batas cair 41,07%, batas plastis 28,48%, dan nilai indeks plastisitas 12,59% berkategori rendah. Berdasarkan Klasifikasi USCS, satuan ini didefinisikan sebagai satuan pasir berlempung tersortasi buruk dengan plastisitas rendah (SP-CL).

Pada pengujian kuat geser yang dilakukan pada ketiga satuan diperoleh nilai yang bervariasi. Secara umum kuat geser sekis jauh lebih besar dibanding kuat geser endapan alluvium. Satuan pasir berlanau memiliki sudut geser dalam yang relatif lebih besar dibanding pada satuan pasir berlempung, namun memiliki kohesi yang lebih rendah. Berdasarkan Gambar 4, pada endapan alluvium, fungsi perubahan kohesi diikuti perubahan sudut geser dalam dengan fungsi korelasi negatif. Prilaku serupa juga dijumpai pada batulempung Formasi Bobonaro dengan indeks durabilitas rendah (Setiawan dkk., 2023) dan pada variasi profil nikel laterit di Daerah Langgikima Konawe Utara (Masri dkk., 2023).



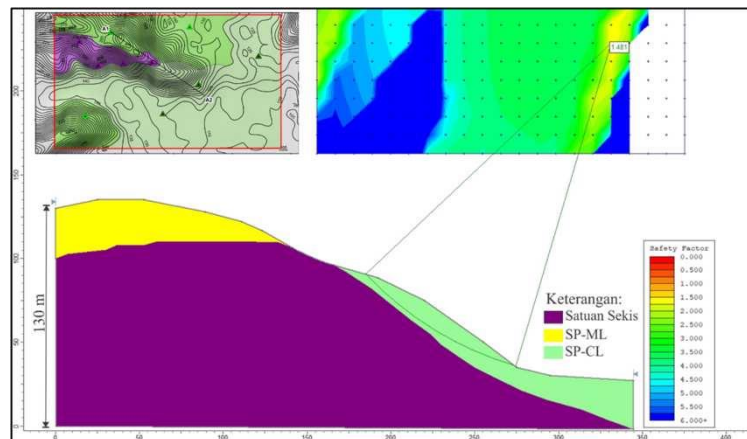
Gambar 4 Korelasi negatif nilai kohesi dan sudut geser dalam pada satuan endapan alluvium; pasir berlanau (titik hijau), pasir berlempung (titik biru)

Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng dilakukan pada dua sayatan lereng (A dan B). Faktor keamanan ditentukan dengan Metode Bishop yang disederhanakan dengan parameter masukan berupa geometri lereng, bobot isi, kohesi dan sudut geser dalam penyusun lereng. Lereng tersusun atas sekis mika, pasir berlanau, dan pasir berlempung. Hasil analisis perhitungan faktor keamanan menunjukkan lereng pada sayatan A cenderung stabil melampaui batas ambang kriteria longsoran (Martin dan Stacey, 2018). Lereng pada sayatan B memiliki faktor keamanan yang mendekati nilai ambang kriteria longsoran, sehingga diperlukan desain lereng optimal.

Sayatan lereng A

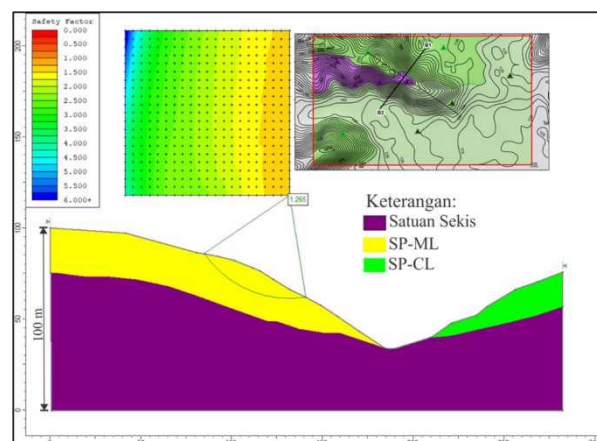
Perhitungan faktor keamanan pada lereng majemuk sepanjang 350 meter; lereng A menunjukkan nilai 1,48 dengan menggunakan 25 *slice* (potongan). Bidang gelincir pada lereng keseluruhan berupa bidang dangkal oleh kontak antara pasir lempung (SP-CL) dan sekis (Gambar 5). Bidang gelincir terbentuk oleh kontras nilai kuat geser pada kedua lapisan dan orientasi perlapisan yang searah dengan arah muka lereng.



Gambar 5 Analisis kestabilan lereng pada sayatan lereng A berarah Tenggara-baratlaut dengan nilai faktor keamanan 1.48

Sayatan lereng B

Sayatan pada lereng B memiliki panjang 290 meter dengan tinggi maksimum 100meter berarah timurlaut-baratdaya (Gambar 6). Dari hasil analisis lereng majemuk tersebut, diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,26 yang mendekati nilai ambang kriteria longsor. Bidang gelincir terbentuk pada kedalaman dangkal pada satuan pasir berlanau (SP-ML). selain kontras kuat geser pada kedua litologi, rendahnya faktor keamanan juga disebabkan oleh kemiringan lereng yang lebih besar. Hasil perhitungan juga didukung oleh jejak gerakan tanah pada satuan ini. Jejak longsor menunjukkan scarp longsor dengan zona deplesi pada lereng curam (**Error! Reference source not found.**).

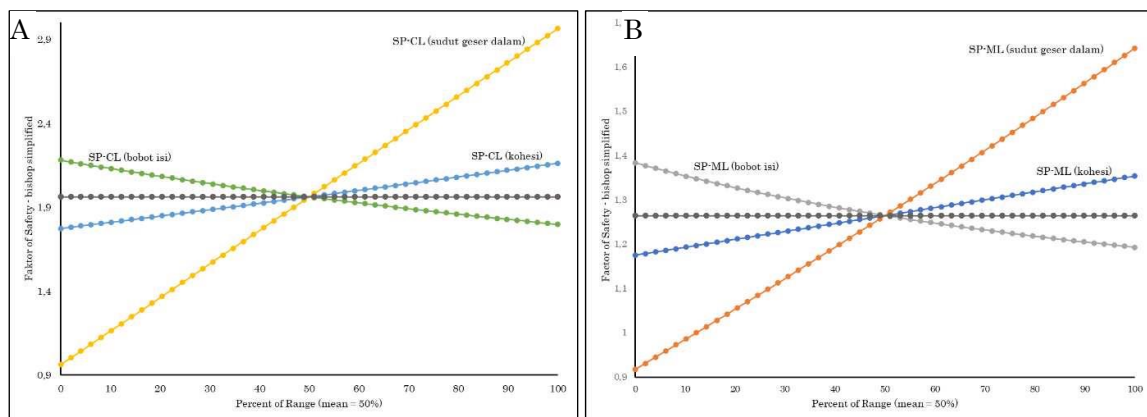


Gambar 6 Analisis kestabilan lereng pada sayatan lereng B berarah timurlaut-baratdaya dengan nilai faktor keamanan 1.26

Uji sensitivitas dan analisis balik longsor

Analisis sensitivitas pada kedua lereng majemuk pada sayatan A dan B ditujukan untuk menentukan parameter masukan yang paling mempengaruhi nilai faktor keamanan. Sudut geser dalam dan kohesi merupakan parameter masukan yang paling berpengaruh

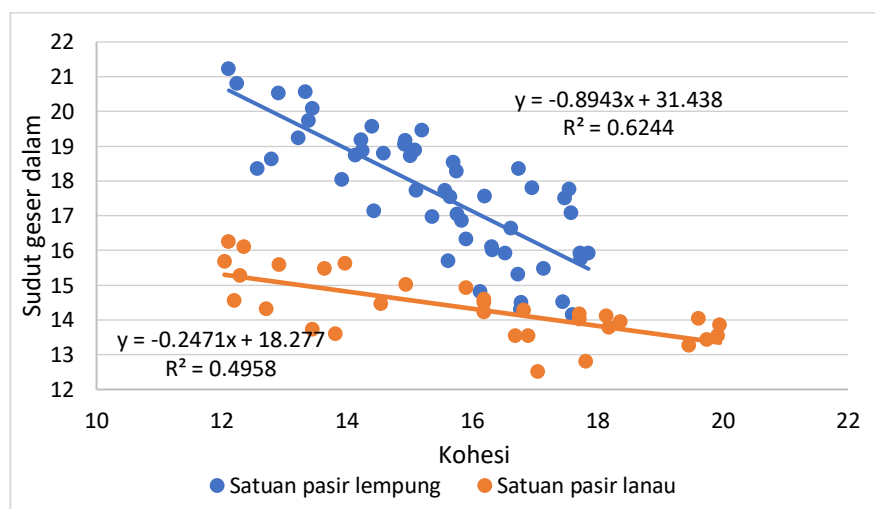
terhadap kedua lereng majemuk. Pada lereng A, perubahan nilai bobot isi turut mempengaruhi nilai faktor keamanan meskipun pada kisaran lebih kecil (1,8 – 2,2). Berbeda dengan perubahan pada nilai kuat geser, perubahan pada sudut geser dalam mengubah nilai faktor keamanan cukup signifikan pada kisaran 0,9 – 2,9. Perubahan faktor keamanan ini dikontrol oleh perubahan kuat geser lapisan pasir berlempung yang menjadi bidang gelincir. Hasil yang sama juga dijumpai pada lereng B. bobot isi dan kuat geser lapisan pasir berlanau (SP-ML) turut mempengaruhi perubahan pada nilai faktor keamanan. Perubahan bobot isi tidak signifikan mengubah nilai faktor keamanan (berkisar 1,2 – 1,4). Berbeda dengan nilai sudut geser dalam yang menghasilkan perubahan nilai faktor keamanan pada kisaran 0,9 – 1,7. Secara umum, uji sensitivitas pada kedua lereng menunjukkan perubahan bobot isi berkorelasi negatif dengan perubahan nilai faktor keamanan. Peningkatan bobot isi mengurangi nilai faktor keamanan karena memperbesar berat isian. Di sisi lain perubahan kuat geser berkorelasi positif dengan nilai faktor keamanan (Gambar 7). Peningkatan kuat geser memperbesar gaya penahan, dan sebaliknya. Pada kedua lereng menunjukkan perubahan faktor keamanan dikontrol oleh sifat fisik dan mekanik lapisan bidang gelincir, khususnya nilai sudut geser dalam.



Gambar 7 Uji sensitivitas pada parameter bobot isi dan kuat geser terhadap perubahan nilai faktor keamanan. Pada lereng A, perubahan faktor keamanan dikontrol oleh kuat geser satuan pasir berlempung. Pada lereng B, faktor keamanan dikontrol oleh perubahan kuat geser pasir berlanau

Analisis balik merupakan metode yang digunakan untuk menentukan kondisi (sifat mekanik batuan/tanah) dan dapat membentuk model lereng yang sesuai dengan keadaan longsoran (Read dan Stacey, 2010). Longsoran aktual dapat dipertimbangkan antara parameter-parameter kekuatan yang diperoleh dari pengujian laboratorium dan penyelidikan lapangan. Analisis balik dimodelkan pada lereng kritis (kondisi longsor) agar diperoleh nilai parameter seperti kohesi dan sudut geser dalam. Analisis balik bertujuan untuk menentukan prediksi nilai kohesi dan sudut geser dalam terendah yang dapat mengakibatkan kelongsoran (Sakurai, 2017). Pada penelitian ini, analisis balik dilakukan untuk menentukan kombinasi

nilai sudut geser dalam dan kohesi lapisan pada bidang gelincir yang dapat menyebabkan lereng dalam kondisi kritis. Analisis balik dilakukan dengan menentukan kelompok nilai kuat geser pada satuan pasir berlanau dan pasir berlempung pada kisaran nilai FK (0,99 – 1,01) berdasarkan distribusi data uniform. Analisis balik pada kedua lereng menunjukkan pada kondisi lereng kritis, sudut geser dalam dan kohesi pada kedua satuan berkorelasi negatif. Pada lereng A, kohesi satuan pasir berlempung pada kondisi kritis berkisar 12-17 kPa diikuti kisaran sudut geser dalam (14 – 21°). Dibandingkan pada lereng B, kisaran nilai kohesi dan sudut geser dalam pada satuan pasir berlanau relatif lebih rendah. Korelasi kuat geser ini dapat dinyatakan dalam fungsi regresi dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,496 dan 0,624 (Tabel 2).



Gambar 8 Fungsi kohesi dan sudut geser dalam pada satuan pasir berlempung dan pasir berlanau pada kedua lereng dalam kondisi kritis ($0,99 < FK < 1,01$) yang menunjukkan korelasi negatif

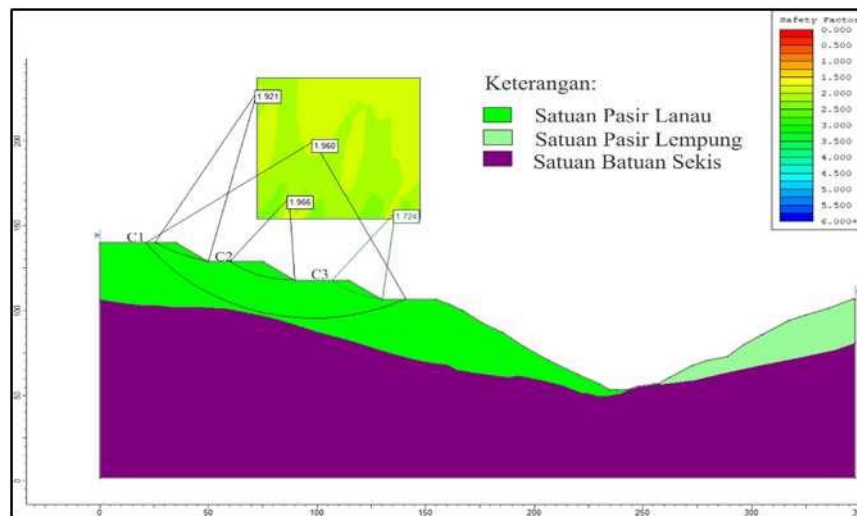
Tabel 1 Fungsi regresi linear parameter kohesi dan sudut geser dalam lapisan bidang gelincir pada lereng

Satuan	Parameter (x)	Parameter (y)	R^2	Tipe korelasi	Fungsi regresi
Pasir lanau	Kohesi	Sudut geser dalam	0,49	Negatif	$y = 0,89x + 31,43$
Pasir lempung	Kohesi	Sudut geser dalam	0,62	Negatif	$y = 0,24x + 18,27$

Rekomendasi Geometri Lereng Optimal

Faktor keamanan pada lereng B sebesar 1,26 mendekati nilai ambang kelongsoran. Hasil analisis balik menunjukkan dengan geometri actual, jika perubahan kuat geser terus berlangsung, lereng dapat berada pada kondisi kritis. Penelitian ini juga tidak mempertimbangkan analisis tekanan pori dan beban percepatan seismik. Seiring waktu lereng dapat kehilangan kekuatan gaya penahan secara berangsur. Untuk itu diperlukan

rekomedasi desain geometri lereng dengan faktor keamanan yang lebih tinggi, agar stabil hingga pada periode tertentu. Rekomendasi geometri lereng berupa pelandaian kemiringan lereng dan pembuatan jenjang. Tinggi jenjang 10 meter dengan kemiringan jenjang 34° , mampu menghasilkan peningkatan nilai faktor keamanan hingga 1,96 (Gambar 9) melampaui batas ambang kelongsoran dibanding pada lereng awal. Selain desain lereng, pemantauan lereng juga diperlukan, khususnya pengendalian drainase air permukaan dan bawah permukaan untuk mengurangi laju pelapukan.



Gambar 9 Desain rekomendasi lereng B dengan pembuatan jenjang menghasilkan nilai FK 1,96

KESIMPULAN

Daerah perkantoran Tirawuta, Kolaka Timur tersusun atas batuan sekis dan endapan alluvium. Endapan alluvium terbagi menjadi satuan pasir berlanau dengan plastisitas rendah tersortasi buruk (SP-ML) dan satuan pasir berlempung plastisitas rendah juga tersortasi buruk (SP-CL). Bidang gelincir longsor berupa batas perlapisan sekis dan satuan alluvium membentuk bidang gelincir sirkular dangkal. Uji sensitivitas menunjukkan sudut geser dalam adalah parameter yang paling mempengaruhi nilai faktor keamanan. Analisis balik menunjukkan distribusi nilai kuat geser pada satuan pasir berlanau lebih rendah dibanding satuan pasir berlempung saat lereng dalam kondisi kritis. Rekomendasi geometri lereng diperlukan untuk mencegah perubahan status lereng B menjadi kritis oleh pelapukan yang berlanjut. Rekomendasi berupa pelandaian lereng dan pembuatan jenjang. Selain itu, juga diperlukan pemantauan lereng dan pengendalian drainase air permukaan. Penelitian lanjutan perlu mempertimbangkan penentuan probabilitas kelongsoran untuk mengakomodir ketidakpastian data masukan. Pada analisis deterministik, kedalaman air tanah dan beban seismik perlu diperhitungkan dalam penentuan faktor keamanan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas kontribusi penelaah sehingga manuskrip ini menjadi lebih baik. Penulis juga mengucapkan terima kasih atas pelayanan UPTD Laboratorium Dinas Sumber Daya Air dan Bina Marga Provinsi Sulawesi Tenggara, sehingga analisis data laboratorium dapat diselesaikan tepat waktu.

PUSTAKA

- Arief, M. Z. 2020. Studi Pengaruh Geometri Lereng pada Analisis Kemantapan Lereng 2D dan 3D Dengan Metode Keseimbangan Batas. *Indonesian Mining Professionals Journal*, 2(1), pp. 51-56. <https://doi.org/10.36986/impj.v2i1.27>
- Arif, I. 2016. *Geoteknik Tambang* (1 ed.). Jakarta, Gramedia Pustaka Utama.
- Asnang, B. 2017. Studi Identifikasi Pengembangan Kawasan Kantor Bupati Di Kabupaten Kolaka Timur. *LOSARI : Jurnal Arsitektur Kota dan Pemukiman*, 2(2), pp. 87-97. <https://doi.org/10.33096/losari.v2i2.64>
- Azizi, M. A. 2014. Pengembangan Metode Penentuan Reliabilitas Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara di Indonesia, Disertasi, Institut Teknologi Bandung.
- Azizi, M. A., Hakim, R. N. & Nugraha, A. D. 2019. Optimalisasi Geometri Lereng Tambang Nikel Menggunakan Metode Probabilistik Pada Hill Pit 05 PT Vale Indonesia Tbk, Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Geomine*, 7(2), pp. 92-100. <https://doi.org/10.33536/jg.v7i2.344>
- Bishop, A. W. 1955. The use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. *Géotechnique*, 5(1), pp. 7-17. <https://doi.org/10.1680/geot.1955.5.1.7>
- BNPB. 2022. Data Informasi Bencana Indonesia [Online]. Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Available: <https://dibi.bnpb.go.id/> [diakses pada Juli 2023].
- Cherianto, O., Rajagukguk, P., Turangan, A. E. & Monintja, S. 2014. Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland Sta.1000m). *Jurnal Sipil Statik*, 2(3), pp. 139-147.
- Das, B. M. & Sobhan, K. 2018. *Principles of Geotechnical Engineering* (9 ed.). Boston, Cengage Learning.
- Hidayat, R. 2018. Analisis Stabilitas Lereng pada Longsor Desa Caok, Purworejo, Jawa Tengah. *Jurnal Sumber Daya Air*, 14(1), pp. 63-74. <https://doi.org/10.32679/jsda.v14i1.195>
- Huang, Y. H. 2014. *Slope Stability Analysis by the Limit Equilibrium Method: Fundamentals and Methods*. Virginia, ASCE Press.

- Kartiko, R. D. & Rizman, D. M. 2023. Analisis Kestabilan Lereng Tiga Dimensi pada Batuan Metamorf di Perbukitan Asinua, Sulawesi Tenggara. *Bulletin of Geology*, 7(2), pp. 1084-1089. <https://doi.org/10.5614/bull.geol.2023.7.1.2>
- Lv, Q., Liu, Y. & Yang, Q. 2017. Stability analysis of earthquake-induced rock slope based on back analysis of shear strength parameters of rock mass. *Engineering Geology*, 228, pp. 39-49. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.07.007>
- Martin, D. & Stacey, P. 2018. *Guideliness for Open Pit Slope Design in Weak Rocks*. New York, CRC Press.
- Masri. 2016. Analisis kestabilan lereng terhadap potensi longsoran guling pada ruas jalan Tawaeli - Toboli KM 42 - KM 53, Sulawesi Tengah, Tesis, Institut Teknologi Bandung.
- Masri, Mili, M. Z., Nafiu, W. R. A., Tugo, L. J. & Rifai, L. O. A. 2023. Mineralogi dan Properti Keteknikan Endapan Nikel Laterit Daerah Tobimeita-Langgikima, Kabupaten Konawe Utara, Sulawesi Tenggara. *GEOSAPTA*, 9(2), pp. 117-125. <https://doi.org/10.20527/jg.v9i2.14860>
- Muhammad, S., Masri, M. & Hasria, H. 2020. Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Bishop di Pit ALC-14 Tambang Batubara PT. Equalindo Makmur Alam Sejahtera Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. *Jurnal Geomine*, 8(2), pp. 162-170. <https://doi.org/10.33536/jg.v8i2.621>
- Munir, A. S., Jafar, N., Anwar, H., Ajwad, M., Yusuf, F. N., Asmiani, N. & Martireni, A. P. 2021. Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Bishop pada Jalan Poros Maros-Bone Kilometer 84,1 Tompo Ladang Kabupaten Maros. *Jurnal Geomine*, 9(2), pp. 150-167. <https://doi.org/10.33536/jg.v9i2.952>
- Read, J. & Stacey, P. 2010. *Guidelines for Open Pit Slope Design*. Oxford, CRC-Csiro Publishing.
- Sakurai, S. 2017. *Back Analysis in Rock Engineering*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315375168>
- Setiawan, A., Sadisun, I. A. & Sani, R. A. 2023. Efek Derajat Pelapukan Batulempung Formasi Bobonaro Terhadap Kestabilan Lereng pada Rencana Lokasi Observatorium Nasional Timau di Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur. *Bulletion of Geology*, 7(2), pp. 1155-1167. <https://doi.org/10.5614/bull.geol.2023.7.2.3>
- Simandjuntak, T. O., Surono & Sukido 1993. *Peta Geologi Lembar Kolaka, Sulawesi*. Bandung, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- SNI 1992. SNI 03-2849-1992 Tata cara pemetaan geologi teknik lapangan. Jakarta, Badan Standar Nasional.
- SNI 2008. SNI 03-1966:2008 Cara uji penentuan batas plastis dan indeks plastisitas tanah. Jakarta, Badan Standar Nasional.

- SNI 2016. SNI 3420:2016 Metode uji kuat geser langsung tanah tidak terkonsolidasi dan tidak terdrainase. Jakarta, Badan Standar Nasional.
- Surono 2013. Geologi Lengan Tenggara Sulawesi (2 ed.). Bandung, Badan Geologi.
- Syafar, Z. 2017. Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop Pada Penambangan Nikel. Jurnal Geomine, 4(3), pp. 90-93. <https://doi.org/10.33536/jg.v4i3.70>
- Wardana, N., Dian Eka, A. & Rochsyid, A. 2021. Reliabilitas Analisis Balik Kelongsoran Lereng Lowwall Dengan Pendugaan Parameter Geoteknik Dan Remediasi Lereng Menggunakan Metode Beda Hingga. Kurvatek, 6(1), pp. 125-136. <https://doi.org/10.33579/krvtek.v6i1.2083>
- Wesley, L. D. 2010. Geotechnical Engineering in Residual Soils. New Jersey, John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470943113>
- Widyatmanti, W., Wicaksono, I. & Syam, P. D. R. 2016. Identification of topographic elements composition based on landform boundaries from radar interferometry segmentation (preliminary study on digital landform mapping). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 37, pp. 012008-012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/37/1/012008>