

ANALISIS KESTABILAN LERENG TERHADAP POTENSI LONGSORAN GULING MENGGUNAKAN *CONTINUOUS SLOPE MASS RATING* (C-SMR) PADA RUAS JALAN TAWAELI-TOBOLI KM 42–52, SULAWESI TENGAH

Masri^{1*}, Imam Achmad Sadisun²

¹Program studi Teknik Geologi, Universitas Halu Oleo

²Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung

*Email korespondensi: masri@uho.ac.id

Tel: +62-822-9645-1988

Article history:

Received 15 Oktober 2019; Received in revised 15 Oktober 2019; Accepted 21 Oktober 2019; Published 21 Oktober 2019

SARI

Bidang diskontinuitas pada lereng di ruas jalan Tawaeli-Toboli KM 42-52 dapat menjadi bidang lemah yang memicu longsor, di antaranya longsor guling. Longsor guling dapat terjadi pada blok tunggal yang menghasilkan jatuhnya blok batuan (*rockfall*) dan dapat terjadi pada massa batuan yang diikuti perpindahan volume blok batuan yang besar. Metode empiris yang berbasis pembobotan diskret seperti klasifikasi *Slope Mass Rating* memberikan penilaian yang cukup konservatif terhadap potensi longsor, sehingga pembobotan berbasis fungsi kontinum bisa digunakan untuk mengevaluasi penilaian. Potensi tipe longsor dan arah gerakan blok batuan pada lereng diidentifikasi dengan analisis kinematika. Pada empat lereng yang diinvestigasi, kualitas massa batuan berdasarkan klasifikasi C-SMR menunjukkan interval normal hingga baik. Hasil analisis kinematika menunjukkan bahwa potensi longsor pada lereng yang diinvestigasi adalah longsor guling tipe *direct toppling* dengan nilai probabilitas kelongsoran terbesar 33%. Kedua metode tersebut mampu mengidentifikasi kondisi massa batuan dan potensi kelongsoran pada lereng. Metode empiris yang berbasis pembobotan kontinum juga mampu mereduksi bias yang dihasilkan oleh pembobotan diskret.

Kata kunci: Kestabilan lereng, analisis kinematika, C-SMR, probabilitas kelongsoran

ABSTRACT

Discontinuity on the slope along the road Tawaeli Toboli KM-42-52 could be a weak plane that can stimulate landslide, including toppling failure type. Toppling failure can occur in a single block that produces rockfall and can be occurred in the rock mass that followed a large volume of rock mass displacement. The empirical methods based discrete function such as Slope Mass Rating classification provides a conservative assessment of the potential landslides evaluation so that the continuum function can be used for testing assessment. Failure potential types and direction of movement of rock mass in a slope were identified by analysis of kinematics. In the investigated slope, rock mass quality, which determines by using C-SMR, showed that fair to good quality. Kinematics analysis results show that the Failure potential type on slopes that were investigated are direct toppling with the most significant probability of failure value is 33%. Both methods can identify the quality of the rock mass and the failure potential type on the slope. The empirical method based on continuum function could also reduce the bias generated by the discrete function of the Slope Mas Rating classification.

Keywords: Slope stability, kinematic analysis, C-SMR, probability of failure

1 Pendahuluan

Daerah penelitian berada pada ruas jalan Tawaeli-Toboli yang merupakan jalur strategis penghubung daerah barat dan timur Sulawesi Tengah (**Gambar 1**). Jalan lintas provinsi tersebut berada pada topografi pegunungan dengan hampir seluruh badan jalan melalui lereng perbukitan dengan kemiringan curam hingga sangat curam. Pegunungan ini tersusun atas endapan molasa Sulawesi berumur Pliosen Awal ([Sukanto dkk., 1973](#)) dan kompleks batuan metamorf berumur Trias Akhir ([van Leeuwen dkk., 2016](#)). Dijumpainya banyak diskontinuitas menunjukkan batuan metamorf terdeformasi kuat, sehingga sangat memungkinkan terjadi longsoran pada lereng kupasan di sepanjang jalan tersebut. Di sepanjang ruas jalan KM 42 - KM 52 bahkan dijumpai jatuhnya blok batuan berukuran hingga 30 dm³.



Gambar 1. Lokasi penelitian investigasi longsoran guling.

Beberapa jenis longsoran seperti longsoran bidang, longsoran baji, dan longsoran guling terjadi akibat keberadaan diskontinuitas. Bidang lemah pada diskontinuitas bertindak sebagai bidang gelincir yang memungkinkan massa batuan bergerak di sepanjang bidang tersebut. Longsoran guling dapat terjadi pada blok tunggal seperti jatuhnya blok batuan pada lereng batugamping di Republik Ceko atau pada sekumpulan blok batuan pada lereng gneis di La Clapiere Prancis yang membentuk sistem *flexural toppling* ([Hungry dkk., 2014](#)). Investigasi longsoran guling pada batuan gneis teralterasi di Randa Swiss melibatkan sistem longsoran yang kompleks. Pada lereng dijumpai sistem *block toppling* yang memindahkan 8 juta m³ massa batuan dengan kecepatan 5 - 20 mm/tahun ([Gischig, 2011](#)).

Metode yang digunakan dalam investigasi jenis longsoran pada lereng sangat beragam. Beberapa metode yang cukup populer digunakan saat ini seperti metode kesetimbangan batas, analisis kinematika, klasifikasi massa batuan, dan penggunaan model fisik dan model numerik.

Salah satu metode empiris yang populer digunakan pada investigasi kestabilan lereng terhadap potensi longsoran adalah Slope Mass Rating SMR ([Romana, 1993, 1985](#)). SMR pada dasarnya adalah evaluasi faktor penyesuaian orientasi diskontinuitas pada klasifikasi Rock Mass Rating (RMR) yang diajukan oleh ([Bieniawski, 1989](#)). Perkembangan SMR selama 30 tahun telah dievaluasi oleh [Romana dkk., \(2015\)](#). Beberapa modifikasi SMR juga telah dilakukan oleh banyak peneliti ([Tomás dkk., 2012, 2007](#)). Namun demikian, SMR tidak dapat digunakan untuk menentukan kestabilan lereng pada tanah dan batuan lunak dengan diskontinuitas massif ([Romana dkk., 2003](#)). Selain itu, SMR juga memberikan penilaian yang cukup konservatif terhadap potensi longsoran dan dalam evaluasinya metode ini menghasilkan bias yang tinggi. Untuk itu [Tomás dkk., \(2007\)](#) mengusulkan fungsi kontinyu sebagai alternatif fungsi diskret [Romana \(1985\)](#) untuk mereduksi bias yang dihasilkan. Fungsi kontinyu ini juga sebelumnya telah digunakan oleh [Zen dan Sadaqah \(2003\)](#) pada klasifikasi RMR.

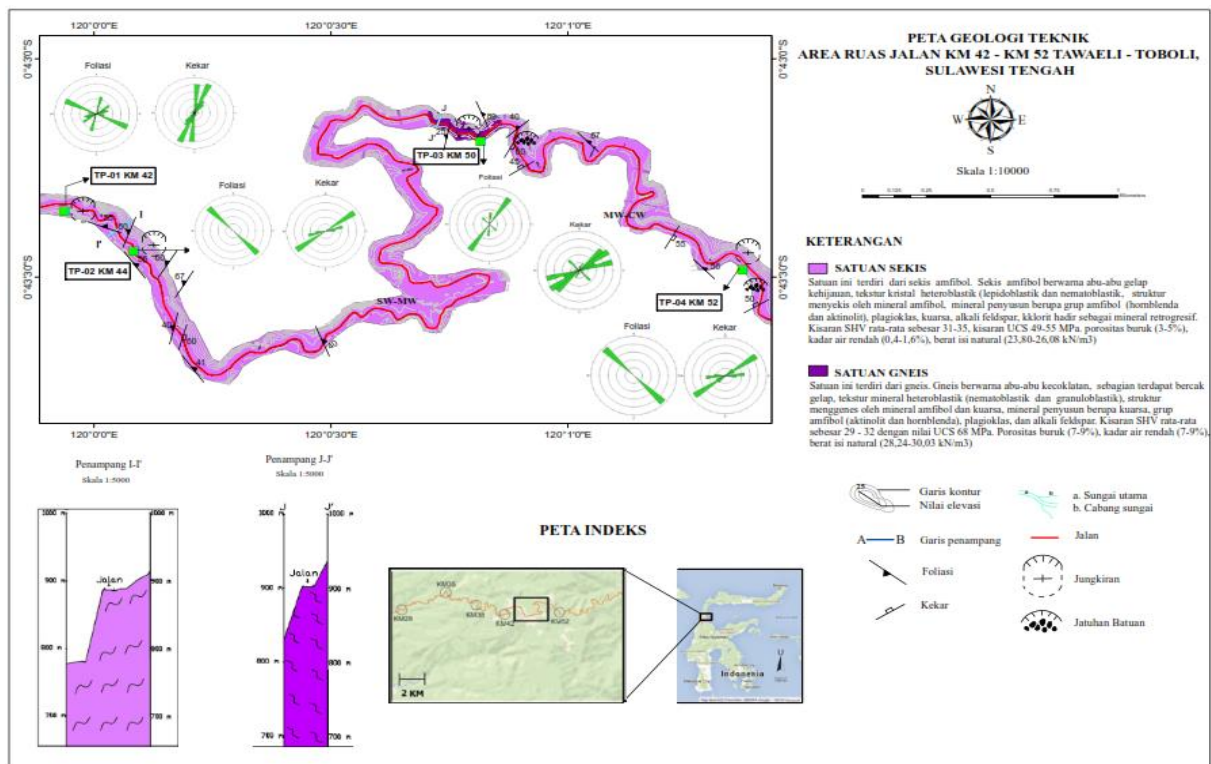
Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi longsoran guling pada lereng yang memiliki keterdapatan jatuhnya blok batuan. Identifikasi dilakukan dengan analisis kinematika dengan data keluaran berupa probabilitas kelongsoran kinematic dan potensi arah gerakan blok batuan. Kekuatan massa batuan terhadap potensi longsoran guling juga ditentukan dengan klasifikasi Continuous Slope Mass Rating (C-SMR) sekaligus mengevaluasi sistem penyangga dan perkuatan yang diperlukan.

2 Geologi

Lereng yang diinvestigasi berada pada Kompleks Metamorf Palu berumur Trias Akhir dengan morfografi berupa perbukitan tinggi berrelief sangat kasar yang terdiri dari perbukitan dan lembah. Berdasarkan aspek morfometri, lereng yang diinvestigasi memiliki kemiringan umum antara 45° - 80° yang tergolong ke dalam lereng curam hingga sangat curam.

Lereng tersusun atas sekis amfibol dan gneis kuarsa (**Gambar 2**). Sekis amfibol berwarna abu-abu gelap kehijauan, bertekstur heteroblastik dengan struktur sekistose. Mineral penyusun terdiri atas grup amfibol (hornblende dan aktinolit), kuarsa, plagioklas, dan alkali feldspar (ortoklas dan sanidin), klorit hadir sebagai mineral retrogresif, dan kuarsa hadir sebagai urat yang mengisi rekahan. Gneis kuarsa berwarna abu-abu kecoklatan dengan bercak gelap, bertekstur heteroblastik yang tersusun oleh kuarsa, plagioklas, alkali feldspar, dan sedikit amfibol.

Sementara itu, diskontinuitas yang teramati pada lereng berupa bidang foliasi, bidang rekahan gerus, kekar, dan fissure. Bidang foliasi umumnya berarah NE - NW dengan kemiringan rata-rata 53° - 60° . Orientasi foliasi menunjukkan fase deformasi pada Kompleks Metamorf Palu paling tidak terdiri dari tiga fase deformasi (Kadarusman, 1995, dalam [van Leeuwen dkk., 2016](#)). Bidang rekahan gerus diidentifikasi berdasarkan pergeseran kecil yang memotong bidang foliasi. Rekahan gerus umumnya berpasangan dengan orientasi umum berarah NE - SW dengan kemiringan 50° - 70° , sedangkan bidang kekar searah bidang foliasi dengan orientasi umum berarah NW dengan kemiringan rata-rata sebesar 60° . Bidang fissure menunjukkan pola retak rambut yang hadir sebagai diskontinuitas minor.



Gambar 2 Peta geologi teknik KM 42-52 ruas jalan Tawaeli-Toboli.

3 Data dan Metodologi

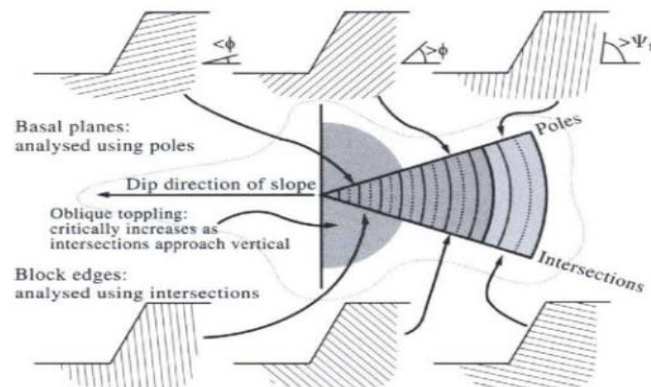
3.1 Data

Data yang digunakan pada penelitian berupa data primer dan data sekunder. Data primer adalah deskripsi detail kondisi diskontinuitas dan massa batuan lereng berdasarkan survei *scanline*, sedangkan data sekunder berupa peta topografi, peta kelas kemiringan lereng, dan peta geomorfologi. Selain itu, uji kuat geser langsung juga dilakukan untuk memperoleh nilai kuat geser diskontinuitas.

3.2 Metodologi

3.2.1 Analisis kinematika

Analisis kinematika memerlukan orientasi diskontinuitas, orientasi muka lereng, dan sudut geser dalam diskontinuitas untuk mengidentifikasi sistem longsoran guling. Sistem yang perlu diidentifikasi adalah komponen set diskontinuitas yang membentuk *block toppling* dan set diskontinuitas yang membentuk *base joint* (Goodman dan Bray, 1976; Hudson dan Harrison, 2000; Tatone dan Grasselli, 2010). Kemiringan diskontinuitas harus memenuhi syarat $\psi_d \geq (90 - \psi_f) + \phi$ dan batas lateral maksimum sebesar 30° (Gambar 3). Perbandingan jumlah diskontinuitas yang memenuhi geometri longsoran guling terhadap total diskontinuitas didefinisikan sebagai probabilitas kelongsoran secara kinematika (*probability of occurrence*).



Gambar 3 Proyeksi stereografi longsoran guling tipe *block toppling* (Hudson dan Harrison, 2000).

3.2.2 Klasifikasi massa batuan

Pada klasifikasi RMR, massa batuan dikelompokkan berdasarkan regional struktur pada massa batuan, kemudian diklasifikasikan terpisah. Batas regional struktur umumnya adalah struktur utama seperti bidang sesar atau perubahan litologi batuan. Penilaian berdasarkan akumulasi nilai bobot enam parameter (Bieniawski, 1989) berupa: nilai kuat tekan batuan utuh (UCS), Rock Quality Designation (RQD), spasi diskontinuitas, kondisi diskontinuitas, kondisi rembesan, dan orientasi diskontinuitas. Faktor penyesuaian orientasi diskontinuitas pada RMR dikoreksi dengan klasifikasi SMR. Pada penelitian ini digunakan modifikasi SMR oleh Tomás dkk. (2007). Penilaian SMR berdasarkan Pers. 1 berikut (Romana, 1985):

$$\text{SMR} = \text{RMR}_{\text{basic}} + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4 \quad (1)$$

Menurut (Romana, 1993) F_1, F_2 , dan F_3 adalah faktor penyesuaian yang bergantung pada hubungan antara orientasi lereng (jurus dan kemiringan) terhadap orientasi diskontinuitas pada beberapa tipe longsoran, sedangkan F_4 adalah faktor penyesuaian berdasarkan tipe penggalan pada lereng. Faktor F_1 merujuk pada kesejajaran jurus diskontinuitas (α_j) dan jurus muka lereng (α_s), faktor F_2 merujuk pada kemiringan diskontinuitas (β_j) terhadap tipe longsoran planar (pada longsoran guling $F_2 = 1$), dan faktor F_3 menyatakan hubungan antara kemiringan muka lereng (β_s) dan kemiringan diskontinuitas (β_j). Faktor (F_1, F_2, F_3) penyesuaian (Tomás dkk., 2007) dihitung berdasarkan Pers. 2, Pers. 3, dan Pers.4 dengan definisi parameter A, B, dan C tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1 Definisi parameter A, B, dan C {Formatting Citation}.

Parameter	Persamaan	Tipe Longsoran
A	$ \alpha_j - \alpha_s - 180 $	Guling
	$ \alpha_j - \alpha_s $	Planar
	$ \alpha_i - \alpha_s $	Baji
B	β_j	Planar, Guling
	β_i	Baji
C	$\beta_j - \beta_s$	Planar
	$\beta_i - \beta_s$	Baji
	$\beta_j + \beta_s$	Guling

$$F_1 = \frac{16}{25} - \frac{3}{500} \arctan \left(\frac{1}{10} (|A| - 17) \right) \quad (2)$$

$$F_2 = \begin{cases} \frac{9}{16} - \frac{1}{195} \arctan \left(\frac{17}{100} B - 5 \right), & \text{planar/wedge} \\ 1, & \text{toppling} \end{cases} \quad (3)$$

$$F_3 = \begin{cases} -30 + \frac{1}{3} \arctan C, & \text{planar/wedge} \\ -13 - \frac{1}{7} \arctan (C - 120), & \text{toppling} \end{cases} \quad (4)$$

4 Hasil dan Diskusi

Set diskontinuitas survei *scanline* pada lereng yang diamati cukup bervariasi. Diskontinuitas yang memenuhi geometri longsoran guling didominasi oleh bidang foliasi dan bidang rekahan gerus. Secara umum bidang foliasi bertindak sebagai *base joint*, sedangkan perpotongan antar bidang rekahan gerus bertindak sebagai *block toppling* (**Gambar 4**). Analisis kinematika juga menunjukkan arah gerakan blok batuan secara umum berarah SW, kecuali lereng TP-01 menunjukkan gerakan *block toppling* pada arah NW. Probabilitas kelongsoran terbesar dijumpai pada TP-02, TP-03, dan TP-04 sebesar 33,3% dengan nilai terkecil dijumpai pada TP-01 sebesar 18,7%. Perlu diperhatikan bahwa meskipun persentase blok terguling yang dihasilkan bisa disebut sebagai probabilitas kelongsoran, namun persentase probabilitas yang dihasilkan berdasarkan perbandingan antara diskontinuitas yang dapat memicu longsoran dan total diskontinuitas dengan mengabaikan kondisi diskontinuitas, gaya gaya yang bekerja pada lereng, maupun fungsi tegangan regangan pada batuan.

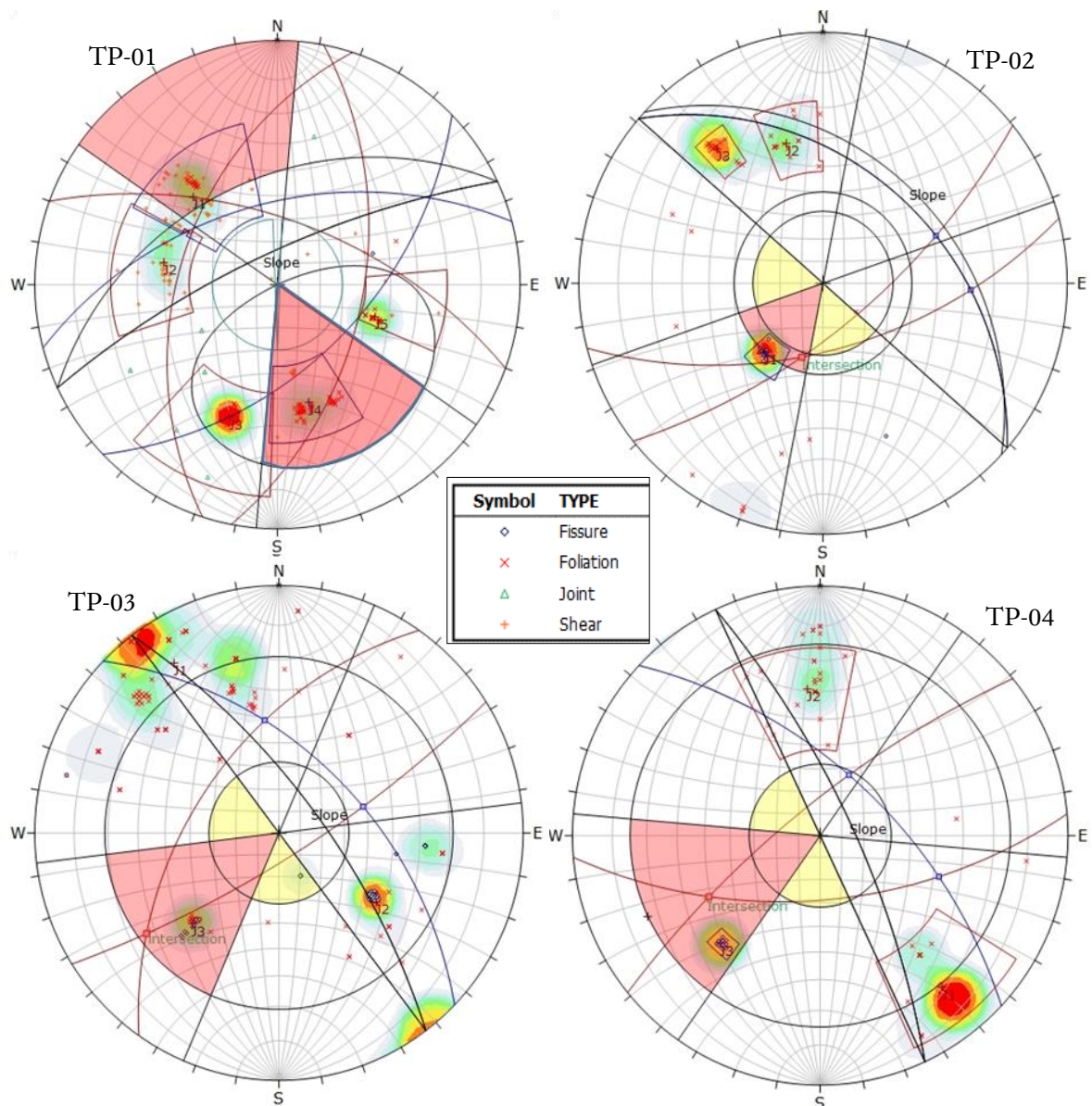
Berdasarkan klasifikasi RMR, kelas massa batuan pada keempat lereng berada pada kisaran normal hingga baik (**Tabel 2**). Batuan gneis relatif lebih masif dibanding batuan sekis, namun rendahnya nilai RMR pada TP-03 lebih disebabkan karena tingginya tingkat pelapukan pada lereng. Selain itu, juga dijumpai korelasi antara nilai RMR terhadap kuat geser massa batuan, namun dinilai kurang representatif jika digunakan sebagai parameter masukan dalam metode analitik maupun metode numerik. Nilai *cut-off slope* juga dapat digunakan sebagai acuan dalam melakukan pemotongan atau penjenjangan lereng. Lereng dinilai stabil jika kemiringan lereng tidak melebihi batas *cut-off slope* yang dihasilkan.

Tabel 2 Evaluasi nilai RMR pada tiap lereng.

Lereng	Litologi	RMR	Kelas massa batuan	Cut-off slope
TP-01	Sekis amfibol	60,2	Sedang/Normal	55°
TP-02	Sekis amfibol	67,5	Baik	65°
TP-03	Gneis	58,6	Sedang/Normal	55°
TP-04	Sekis amfibol	64,4	Baik	65°

Pada klasifikasi C-SMR, kelas massa batuan pada keempat lereng juga berada pada kisaran normal hingga baik (**Tabel 3**). Reduksi nilai RMR oleh faktor penyesuaian orientasi dipengaruhi oleh parameter F_1 dan F_2 . Secara umum C-SMR tidak mereduksi nilai RMR dengan signifikan.

Reduksi yang cukup signifikan mengubah kelas massa batuan dijumpai pada TP-01 akibat tingginya nilai F_3 . Tingkat kestabilan lereng TP-01 dan TP-02 harus menjadi fokus perhatian karena tergolong dalam kategori sebagian stabil. Probabilitas kelongsoran yang dihasilkan sebagai fungsi kualitas massa batuan berkisar pada 20% hingga 40% yang cukup representatif menunjukkan tingkat kestabilan lereng karena didukung oleh nilai yang hampir serupa dengan analisis kinematika.



Gambar 4 Analisis kinematika empat lereng yang diinvestigasi.

Untuk meningkatkan kestabilan lereng terhadap potensi longsor guling dapat dilakukan dengan menambahkan sistem penyangga dan perkuatan pada lereng. Evaluasi sistem kestabilan lereng diperoleh berdasarkan kualitas massa batuan berdasarkan klasifikasi C-SMR. Jenis kebutuhan penyangga yang dapat digunakan secara umum berupa penggunaan beton (*shotcrete*), pemasangan perkuatan (baut dan jangkar batuan), dan proteksi lereng berupa pemasangan pagar dan jala kawat atau pembuatan paritan di kaki lereng (Tabel 4).

Tabel 3 Evaluasi nilai CSMR pada tiap lereng.

Lereng	C-SMR	Kelas	Stabilitas	Probabilitas Kelongsoran
TP-01	46	Normal	Sebagian stabil	40%
TP-02	67,3	Baik	Stabil	20%
TP-03	58,1	Normal	Sebagian Stabil	40%
TP-04	63,4	Baik	Stabil	20%

Tabel 4 Jenis penyangga dan perkuatan yang digunakan pada lereng berdasarkan klasifikasi C-SMR.

Lereng	Concrete	Perkuatan	Proteksi
TP-01	Beton tembak sistematis, dinding penahan di kaki lereng dan/atau tambalan beton pada beberapa titik	Baut batuan atau jangkar batuan dipasang sistematis	Paritan di kaki lereng dikombinasikan dengan jala kawat
TP-02	Tidak diperlukan	Baut batuan dipasang setempatan atau tersistematis	Paritan di kaki lereng atau pagar pengaman
TP-03	Beton tembak setempatan	Baut batuan dipasang setempatan atau tersistematis	Paritan di kaki lereng dikombinasikan dengan jala kawat
TP-04	Tidak diperlukan	Baut batuan setempatan atau tersistematis	Paritan di kaki lereng atau pagar pengaman

5 Kesimpulan

Pada lereng terjal yang diinvestigasi, tipe potensi longsor diidentifikasi dengan baik menggunakan analisis kinematika. Analisis menunjukkan potensi longsor guling tipe *direct toppling* dengan mengidentifikasi *block toppling* yang dibentuk oleh perpotongan rekahan gerus dan *base joint* yang dibentuk oleh bidang foliasi. Kualitas massa batuan berdasarkan klasifikasi RMR dan C-SMR juga tergolong dalam interval normal hingga baik dengan tingkat kestabilan sebagian stabil hingga stabil. *Cut-off slope* berkisar pada 55° hingga 65° . Probabilitas kelongsoran yang ditentukan melalui analisis kinematika maupun klasifikasi C-SMR juga menunjukkan interval yang sama dengan kisaran 20% hingga 40%. Untuk meningkatkan kestabilan lereng terhadap potensi longsor guling dapat dilakukan dengan penambahan sistem penyangga dan perkuatan berupa penggunaan beton tembak, pemasangan baut/jangkar batuan dan penggunaan sistem proteksi lereng terhadap ancaman jatuhnya blok batuan.

Referensi

- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley & Sons, Kanada.
- Gischig, V.S., 2011. Kinematics and Failure Mechanisms of the Randa Rock Slope Instability (Switzerland). Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- Goodman, R.E., Bray, J.W., 1976. Toppling of Rock Slopes, in: Geotechnical Engineering Division of ASCE (Ed.), The proceedings of the Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and slopes. ASCE Press, Boulder, Colorado, hal. 201–234.
- Hudson, J.A., Harrison, J.P., 2000. Engineering Rock Mechanics: An Introduction to Principles, 2 ed. Pergamon, London. <https://doi.org/10.1016/B978-008043864-1/50021-5>
- Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L., 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. Landslides 11, 167–194. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y>
- Romana, M., 1993. A Geomechanical Classification for Slope: Slope Mass Rating, in: Hudson, J.A. (Ed.), Comprehensive Rock Engineering Principles, Practice, and Projects. Pergamon Press, Oxford, hal. 575–598. [https://doi.org/10.1016/S0146-6453\(12\)00004-8](https://doi.org/10.1016/S0146-6453(12)00004-8)
- Romana, M., 1985. New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes, in: Proceedings of International Symposium on the Role of Rock Mechanics. International Society for Rock Mechanics, Salzburg, hal. 49–53.
- Romana, M., Serón, J.B., Montalar, E., 2003. SMR Geomechanics classification : Application , experience and validation, in: International Society for Rock Mechanics (Ed.), 10th ISRM Congress–Technology roadmap for rock mechanics. International Society for Rock Mechanics, Sandton, South Africa, hal. 981–984.
- Romana, M., Tomás, R., Serón, J.B., 2015. Slope Mass Rating (SMR) Geomechanics Classification: Thirty Years Review, in: ISRM Congress 2015 Proceedings - International Symposium on Rock Mechanics. International Society of Rock Mechanics, Canada, hal. 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sukanto, R., Sumadirdja, H., Suptandar, T., Hardjoprawiro, R., Sudana, D., 1973. Peta Geologi Tinjau Lembar Palu, Sulawesi, Skala 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Tatone, B.S.A., Grasselli, G., 2010. ROCKTOPPLE: A spreadsheet-based program for probabilistic block-toppling analysis. Comput. Geosci. 36, 98–114. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2009.04.014>
- Tomás, R., Cuenca, A., Cano, M., García-Barba, J., 2012. A graphical approach for slope mass rating (SMR). Eng. Geol. 124, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.10.004>
- Tomás, R., Delgado, J., Serón, J.B., 2007. Modification of slope mass rating (SMR) by continuous functions. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 44, 1062–1069. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2007.02.004>
- van Leeuwen, T.M., Allen, C.M., Elburg, M., Massonne, H.-J., Palin, J.M., Hennig, J., 2016. The Palu Metamorphic Complex, {NW} Sulawesi, Indonesia: Origin and evolution of a young metamorphic terrane with links to Gondwana and Sundaland. J. Asian Earth Sci. 115, 133–152. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.09.025>
- Zen, Z., Sadaqah, B.H., 2003. Modified rock mass classification system by continuous rating. Eng. Geol. 67, 269–280. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(02\)00185-0](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(02)00185-0)