



ANALISIS KESTABILAN LERENG BATUAN DENGAN MENGGUNAKAN STUDI PERBANDINGAN KLASIFIKASI MASSA BATUAN RMR DAN GSI PADA POTENSI LONGSORAN GULING DI TEBING BANCANA, DAERAH CIPATAT, KABUPATEN BANDUNG BARAT, JAWA BARAT

HASAN TRI ATMOJO^{1,2*}, IMAM ACHMAD SADISUN²

1. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Jl. SWK Jl. Ring Road Utara No.104, Condongcatur, Yogyakarta Email:
2. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung (ITB), Jl. Ganesha No.10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

*Email korespondensi: hasan.triatmojo@upnyk.ac.id

Sari - Pada analisis kestabilan lereng batuan diperlukan penentuan massa batuan dari sebuah lereng. Untuk mendapatkan nilai massa batuan tersebut diperlukan uji parameter yang menyangkut karakteristik dan kondisi diskontinuitasnya. Pada penelitian ini digunakan studi perbandingan klasifikasi massa batuan terhadap lereng batuan, yaitu klasifikasi *Geological Strength Index* (GSI) dan *Rock Mass Rating* (RMR) dengan objek penelitian pada lereng batuan yang berada di Tebing Bancana, Daerah Cipatat, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat. Lokasi tersebut berada pada morfologi bentuk lereng terjal dengan litologi dominan berupa batugamping yang memiliki potensi longsor guling. Tujuan dari studi perbandingan ini yaitu untuk menentukan dan mengevaluasi metode yang tepat untuk analisis kestabilan lereng berdasarkan nilai properti keteknikan beserta nilai faktor keamanan yang dihasilkan. Metode klasifikasi massa batuan tersebut dianalisis menggunakan metode kesetimbangan batas dari peranti lunak *Roctopple*. Hasil analisis dari batugamping kalkarenit yang berada di Tebing Bancana memiliki nilai properti keteknikan klasifikasi massa batuan RMR yang lebih besar meliputi kohesi, sudut geser dalam, dan modulus deformasi berdampak pada nilai faktor keamanan dari lereng cenderung lebih besar dari metode GSI. Berdasarkan hasil analisis kinematik, lereng batuan memiliki potensi longsor guling. Faktor keamanan yang diperoleh dengan menggunakan metode kesetimbangan batas menghasilkan nilai 0,95 dengan probabilitas longsor 59,7%. Uji sensitivitas yang dilakukan terhadap pengaruh longsor guling di sini didapatkan bahwa faktor yang paling berpengaruh pada longsor guling di antaranya kohesi (*toppling joints*), sudut geser dalam (*toppling joints*), kemiringan (*toppling joints*), tinggi lereng, dan sudut kemiringan lereng.

Kata kunci: Klasifikasi massa batuan, kestabilan lereng, longsor guling, metode kesetimbangan batas

Abstract – *In the stability analysis of rock slopes, it is necessary to determine the rock mass of a single slope. To obtain the value of the rock mass, it is necessary to test the parameters concerning the characteristics and conditions of the discontinuity. This research used comparative study of rock mass classification using Geological Strength Index (GSI) and Rock Mass Rating (RMR) classifications on rock slopes located in Tebing Bancana, Cipatat Region, West Bandung Regency, West Java Province. The location features a steep slope dominated by limestone and is prone to potential toppling landslides. The purpose of this comparative study is to determine and evaluate the appropriate method for slope stability analysis based on engineering property values and the resulting safety factor values. The rock mass classification method was analyzed using the limit equilibrium method using Roctopple software. The analysis results for the calcarenite limestone located in Tebing Bancana indicate a higher RMR rock mass classification for engineering properties, including cohesion, friction angle, and modulus of deformation, which have an impact on the slope's safety factor. This tends to be greater than the GSI method. Based on the results of the kinematic analysis, it is evident that the rock slopes have the potential for toppling landslides. The factor of safety obtained using the limit equilibrium method yields a value of 0.95 with a landslide probability of 59.7%. The sensitivity test carried out on the effect of toppling landslides shows that the most influential factors on toppling include cohesion (toppling joints), friction angle (toppling joints), slope (toppling joints), slope height, and slope angle.*

Key words: Rockmass classification, slope stability, toppling failure, limit equilibrium method

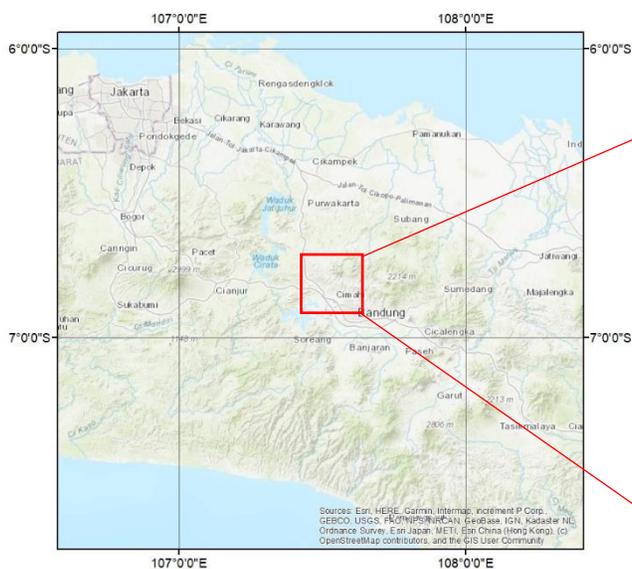
1. PENDAHULUAN

Secara administratif daerah Kecamatan Cipatat termasuk Kabupaten Bandung Barat yang letaknya sekitar 30 km dari pusat pemerintahan Kabupaten Bandung Barat. Kondisi geomorfologi daerah Cipatat memiliki morfologi perbukitan terjal. Formasi batuan yang berada di daerah Cipatat meliputi Formasi Rajamandala, Formasi Citarum, Formasi Cantayan, dan hasil Gunungapi Tua (Sudjatmiko, 1972). Secara umum berdasarkan Peta Geologi Lembar Cianjur, batuan yang dominan di daerah Cipatat berupa batugamping Formasi Rajamandala. Lokasi penelitian berada di Tebing Bancana yang merupakan area tambang batugamping (**Gambar 1**).

Kestabilan lereng massa batuan dipengaruhi oleh beragam faktor, antara lain sudut kemiringan lereng, parameter fisik dan mekanik batuan, serta diskontinuitas pada batuan. Intensitas dari diskontinuitas pada lereng massa batuan sangat mempengaruhi kestabilan suatu lereng seperti rekahan, kekar, bidang patahan, ataupun kekar gerus (*shear joint*) Palmstöröm and Stille (2015). Parameter tersebut dirangkum ke dalam klasifikasi massa batuan untuk menentukan kondisi massa batuan seperti metode GSI (*Geological Strength Index*) oleh Hoek dan Brown (2018), dan RMR (*Rock Mass Rating*) oleh Bienawski (1989).

Metode untuk menentukan properti keteknikan massa batuan dapat diperoleh dari klasifikasi massa batuan yang pada umumnya dikenal seperti GSI dan RMR. Tujuan dari studi perbandingan ini yaitu untuk menentukan dan mengevaluasi metode yang tepat untuk analisis kestabilan lereng berdasarkan nilai properti keteknikan beserta nilai faktor keamanan yang dihasilkan. Perlunya mengevaluasi hasil dari properti keteknikan massa batuan dari setiap metode terhadap faktor keamanan yang dihasilkan cukup penting dalam penentuan metode klasifikasi massa batuan yang tepat sesuai kondisi lapangan dan keperluan rekayasa yang diterapkan.

Pada umumnya kestabilan lereng batuan digunakan pada suatu ekskavasi untuk dibangun infrastruktur, tambang, ataupun mitigasi bencana longsor. Penerapan rekayasa geoteknik pada suatu jenis tujuan kegiatan yang berkaitan dengan lereng batuan akan berbeda sifatnya. Pada penelitian kali ini akan dilakukan analisis kestabilan lereng terhadap potensi longsor guling dengan metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) untuk mendapatkan kestabilan lereng yang optimum dan mendapatkan klasifikasi massa batuan yang sesuai untuk digunakan pada analisis tersebut.



Gambar 1 Lokasi penelitian (Google Earth, diakses Desember 2020)

2. DATA DAN METODOLOGI

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan massa batuan yang berada di lereng STA 01 berupa batugamping kalkarenit berdasarkan klasifikasi Grabau (1908, dalam Ettensohn, 2018). Pengujian kuat massa batuan digunakan dengan menggunakan uji *schmidt hammer* pada tubuh massa batuan. Hasil dari konversi *schmidt hammer rebound* ke dalam nilai UCS (*Uniaxial Compressive Strength*) menghasilkan nilai sebesar 53 MPa. Selain itu, dilakukan pengambilan sampel batuan yang masih segar di lokasi penelitian untuk dilakukan uji sifat fisik batuan.

Pada lokasi penelitian dilakukan *scanline* untuk mengidentifikasi karakteristik diskontinuitas massa batuan dengan menggunakan metode klasifikasi massa batuan GSI dan RMR. Hasil dari parameter yang telah didapatkan kemudian dilakukan analisis terhadap hasil dari klasifikasi massa batuan dari setiap metode.

Properti keteknikan dari setiap klasifikasi massa batuan berupa nilai kohesi, sudut geser dalam, modulus deformasi, dan kuat tarik ditentukan dengan persamaan dari setiap metode klasifikasi massa batuan. Hasil dari properti mekanik tersebut kemudian dilakukan analisis menggunakan kesetimbangan batas untuk mendapatkan nilai faktor keamanan. Tahap akhir yaitu melakukan evaluasi hasil perbandingan klasifikasi massa batuan dari setiap metode dan parameter yang digunakan untuk kestabilan lereng pada potensi longsoran guling.

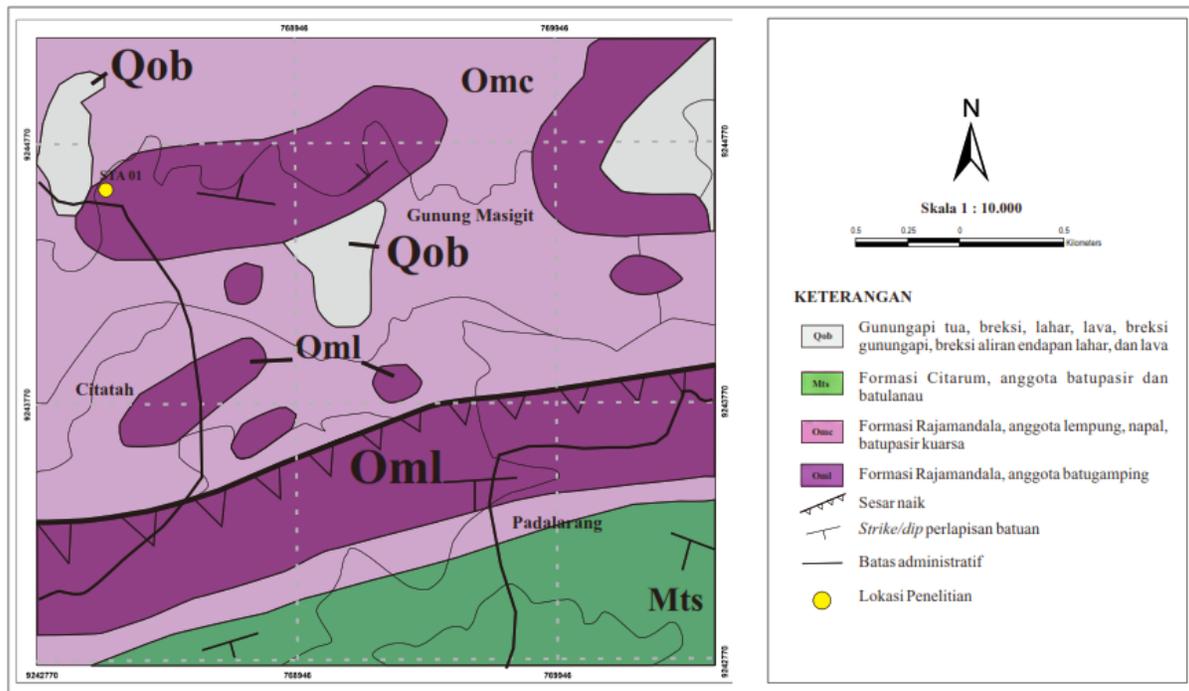
3. GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Cianjur, Jawa Barat (Sudjarmiko, 1972), daerah penelitian tersusun oleh satuan hasil gunungapi tua (Qob), Formasi Citarum anggota batupasir dan batulanau (Mts), Formasi Rajamandala anggota lempung, napal, batupasir kuarsa (Omc), dan Formasi Rajamandala anggota batugamping (Oml) (**Gambar 2**). Secara stratigrafi Formasi Rajamandala anggota batugamping (Oml) dengan Formasi Rajamandala anggota lempung, napal, dan

napal (Omc) merupakan satuan batuan yang berumur paling tua di sekitar lokasi penelitian yang memiliki kesamaan umur dengan kontak batuan menjemari. Kemudian di atasnya terendapkan satuan Formasi Citayam (Mts) dan Formasi Gunung api tua (Qob) di atasnya. Lokasi penelitian pada STA 01 di Tebing Bencana termasuk ke dalam Formasi Rajamandala anggota batugamping yang dicirikan dengan batugamping kalkarenit yang berlapis seperti pada **Gambar 3**.

Berdasarkan pemetaan bawah permukaan dan permukaan, tiga orientasi sesar utama digambarkan di Jawa Barat yaitu orientasi timur laut – barat daya sebagai pola Meratus, utara - selatan sebagai pola Sunda dan timur - barat sebagai pola termuda yang dikenal dengan pola Jawa (Martodjojo, 1984). Studi terbaru menunjukkan bahwa beberapa sesar berarah barat laut - tenggara yang dikenal sebagai pola Sumatera juga terlihat di Jawa Barat khususnya bagian barat laut (Sapiie dkk., 2010). Evolusi tektonik Jawa Barat sangat dipengaruhi oleh perkembangan tektonik Pulau Sumatera khususnya pada fase ekstensi pada waktu Oligosen. Secara umum, evolusi tektonik di Jawa bagian barat sangat erat kaitannya dengan perkembangan pinggirannya Paparan Sunda bagian barat yang dimulai pada Kapur Akhir.

Lereng STA 01 tersusun atas batugamping kalkarenit dengan geometri lereng yaitu tinggi sekitar 18 meter, panjang lereng sekitar 140 meter, orientasi muka lereng berarah N285°E, dan kemiringan lereng 78°. Bidang perlapisan memiliki orientasi arah kemiringan/kemiringan N41°E/67° dengan spasi rata-rata dari perlapisan ini yaitu 1,5 meter. Karakteristik massa batuan pada Formasi Rajamandala ini memiliki ciri batuan dengan pelapukan rendah hingga sedang dengan intensitas kekar yang terdistribusi di setiap singkapan cukup tinggi. Jarak spasi diskontinuitas di beberapa singkapan formasi tersebut berkisar dari 0,4 meter hingga 1,5 meter dengan dijumpai tiga hingga empat *joint set*.



Gambar 2 Peta geologi daerah Cipatat dan sekitarnya (dimodifikasi dari Sudjatkiko, 1972).



Gambar 3 STA 01 di Tebing Bancana

4. KLASIFIKASI MASSA BATUAN DAN NILAI PROPERTI KETEKNIKAN

Batuan di STA 01 ini merupakan batugamping kalkarenit dengan ukuran butir material 1/16 - 2 mm, masif, warna abu - abu cerah, lapuk sedang hingga tinggi dengan warna pelapukan coklat cerah, dijumpai foraminifera besar pada batuan, di bagian

tertentu mengalami pelarutan (**Gambar 4**). Secara keseluruhan batuan mengalami pelapukan sedang. Dari hasil metode *scanline* pada lokasi penelitian kemudian dilakukan pembobotan terhadap massa batuan berdasarkan metode klasifikasi massa batuan

GSI dan RMR. Pembobotan ini menggunakan parameter yang khas dari klasifikasi massa batuan di dalamnya



Gambar 4 Singkapan massa batuan di daerah penelitian.

Klasifikasi RMR menggunakan klasifikasi Bienawski (1989) dengan parameter yang diperoleh dari massa batuan yaitu nilai UCS 53 MPa, RQD (*Rock Quality Designation*) rata-rata 87-98%, spasi diskontinuitas 2-200 cm, panjang diskontinuitas (*persistence*) 1-20 meter, bukaan diskontinuitas (*aperture*) 0.1 mm hingga lebih dari 5 mm, kekasaran (*roughness*) tergolong *smooth*, isian (*nature filling*) pada umumnya tidak ada tetapi pada area yang mengalami pelarutan diskontinuitas terisi oleh mineral kalsit, pelapukan keseluruhan termasuk pelapukan sedang, orientasi diskontinuitas pada umumnya berarah N320°E/68°, kondisi airtanah yang relatif kering hanya terlihat bekas dari

adanya air di sekitar diskontinuitas. Bobot dari massa batuan ini pada UCS (7), RQD (19,54), spasi diskontinuitas (8), kondisi diskontinuitas (18,65), kondisi airtanah (12,09). Dari hasil perhitungan bobot massa batuan di lokasi ini termasuk ke dalam *good rock* dengan nilai 65 (**Tabel 1**).

Pada klasifikasi GSI dengan klasifikasi Hoek dan Brown (2019) massa batuan termasuk ke dalam kondisi *blocky (good)* dengan nilai 65 (**Tabel 1**) yang memiliki karakteristik *interlocked* pada massa batuan yang baik dan terdiri dari tiga *joint set* yang berpotongan, kondisi diskontinuitas kasar, dan lapuk rendah.

Tabel 1 Hasil Pembobotan Klasifikasi Massa Batuan.

Klasifikasi Massa Batuan	Nilai	Keterangan
GSI	65	Blocky – Good
RMR	64,99	Good Rock

Metode perhitungan properti keteknikan dari massa batuan yang digunakan yaitu dari klasifikasi massa batuan GSI dan RMR yang masing-masing memiliki nilai konstanta *mb*, *s*, dan *a* yang berbeda. Dari parameter tersebut akan diperoleh nilai-nilai properti keteknikan berdasarkan kedua klasifikasi massa batuan tersebut berupa modulus deformasi (*E_m*), kohesi (*c*), sudut geser dalam (ϕ), dan kuat tarik (σ) yang disajikan pada Tabel 2. Pada **Tabel 2**

menunjukkan bahwa pada umumnya nilai sifat mekanik klasifikasi RMR sedikit lebih tinggi dibandingkan nilai dari GSI, kecuali pada nilai Modulus Elastis yang nilainya sedikit lebih rendah. Hal ini dapat dikarenakan parameter yang dimasukkan dalam perhitungan empiris pada klasifikasi RMR lebih lengkap, sehingga akan menghasilkan pembobotan yang lebih sesuai dengan kondisi massa batuanya

Tabel 2 Nilai properti mekanik massa batuan berdasarkan setiap metode.

Klasifikasi Massa Batuan	Nilai	<i>E_m</i> (MPa)	<i>c</i> (MPa)	ϕ (°)	σ (MPa)
GSI	65	11.220	0,641	53,07	0,253
RMR	64,99	9.950	1,073	56,43	0,419

Kemudian beban selanjutnya dengan menggunakan analisis *pseudostatic* dengan menggunakan beban dari koefisien seismik yang terbagi menjadi koefisien seismik horisontal (*K_h*). Koefisien seismik pada lereng lokasi penelitian yaitu 0,258.

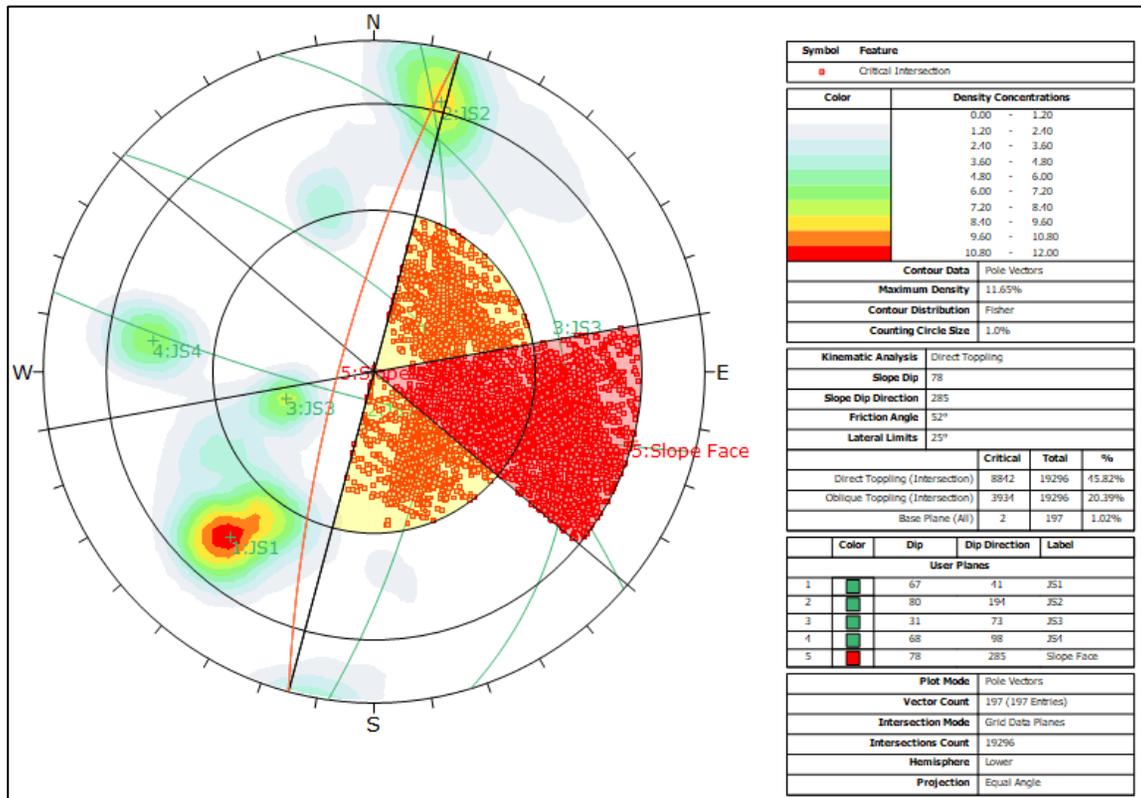
5. ANALISIS

Analisis kestabilan lereng menggunakan peranti lunak *Roctopple* metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*) terhadap longsoran guling (Goodman dan Bray, 1976). Hasil analisis faktor keamanan (*FK*) yang merupakan nilai keamanan lereng yang diperoleh dari komputasi peranti lunak dan nilai probabilitas (*PoF*) persentase kemungkinan longsoran pada suatu simulasi lereng akan dievaluasi berdasarkan nilai ambang batas yang ditentukan, yaitu untuk nilai faktor keamanan menggunakan SNI 8460 (BSN, 2017) sebesar *FK* = 1,1 dengan mempertimbangkan analisis *pseudostatic*, sedangkan probabilitas keruntuhan lereng sebesar 5% berdasarkan Willye dan Mah (2005). Analisis untuk menentukan tipe longsoran

dilakukan dengan menggunakan analisis kinematik dengan menggunakan peranti lunak *Dips (student license)*.

5.1 Analisis Kinematik

Identifikasi lereng yang memenuhi kriteria longsoran guling secara kinematik dapat dilakukan dengan pengamatan langsung atau analisis kinematik. Untuk dapat lebih akuratnya lebih baik dilakukan analisis kinematik. Lereng STA 01 memiliki dimensi ketinggian lereng 18 meter, kemiringan lereng 78°, dan panjang lereng sekitar 150 meter. Pada analisis kinematik lereng STA 01 menunjukkan potensi longsoran guling (**Gambar 5**). Probabilitas longsoran guling dibentuk oleh *discontinuity set J1* dengan arah 67°/N41°E terhadap arah lereng yang berarah N285°E. Komponen *discontinuity set J1* didominasi oleh kekar gerus dan perlapisan batuan. Berdasarkan analisis kinematik tersebut, arah longsoran guling relatif berarah N225°E



Gambar 5 Analisis kinematik pada lereng STA 01.

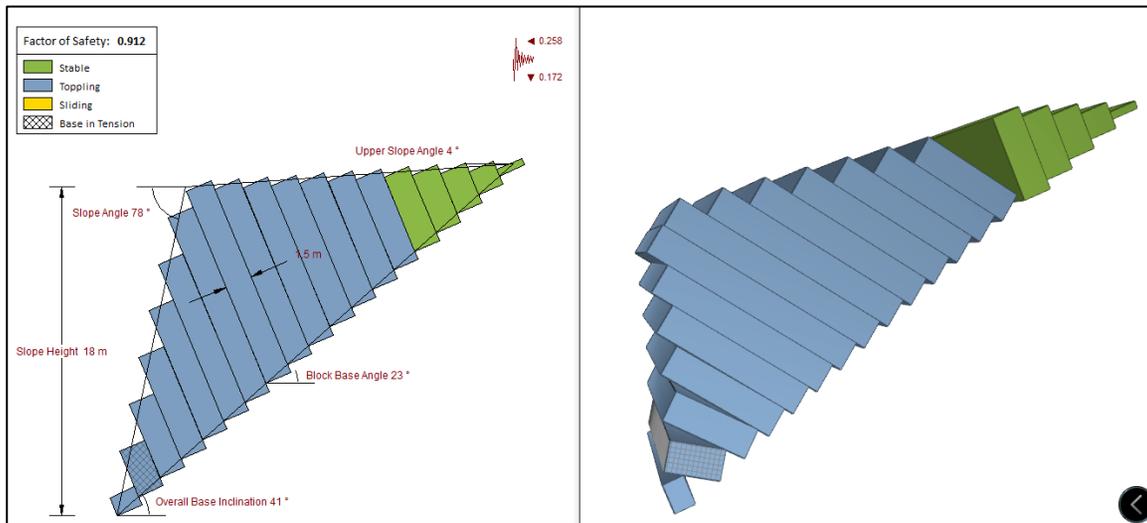
5.3 Analisis Kesetimbangan Batas

Analisis kesetimbangan batas menggunakan peranti lunak RocTopple dengan melibatkan parameter properti keteknikan dari diskontinuitas. Parameter properti keteknikan tambahan yang dimasukkan berupa JCS (*Joint Compressive Strength*) dengan nilai 53 MPa, JRC (*Joint Roughness Coefficient*) dengan nilai 6,3, kohesi sebesar 0,028 MPa, dan sudut geser dalam sebesar 30,71°. Selain itu dilakukan juga analisis probabilitas dengan menggunakan metode Monte Carlo dengan menggunakan asumsi 5000 sampel secara acak. Dari hasil analisis didapatkan nilai faktor keamanan dari metode kesetimbangan batas yaitu 0,912 dengan probabilitas longsoran sebesar 59,7% (**Gambar 6**).

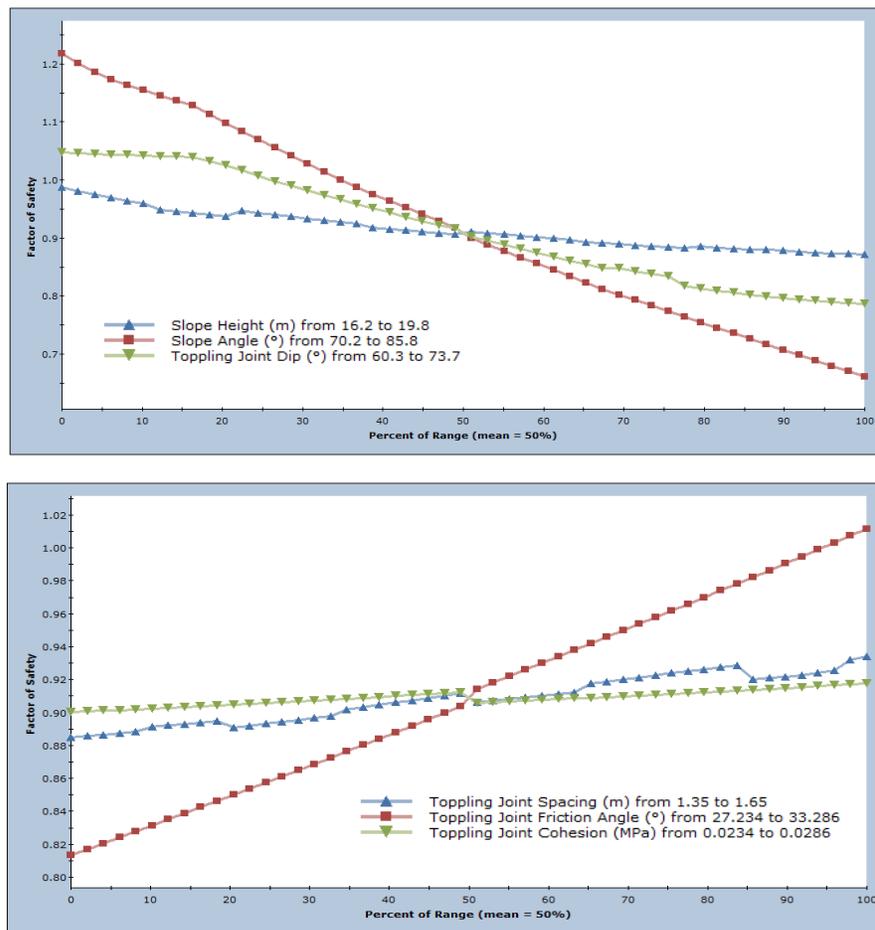
Selanjutnya dilakukan analisis sensitivitas data terhadap faktor keamanan, yang pertama yaitu sensitivitas data dari tinggi lereng, kemiringan lereng, dan *toppling joint dip* (**Gambar 7**). Analisis

sensitivitas data yang kedua yaitu *toppling joint spacing*, kohesi *toppling joint*, dan sudut geser dalam *toppling joint* (**Gambar 7**). Hasil dari analisis sensitivitas tersebut menunjukkan bahwa tinggi lereng, *toppling joint dip*, dan sudut geser dalam *toppling joint* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap potensi terjadinya longsoran guling di lokasi penelitian.

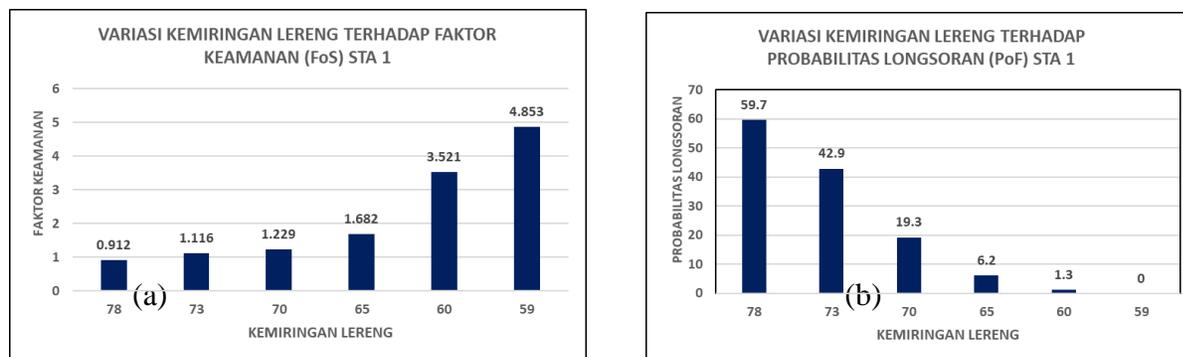
Pada longsoran guling, kemiringan lereng merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat kestabilan lereng. Semakin landai lereng, maka lereng tersebut relatif menjadi lebih stabil yang ditunjukkan pada **Gambar 8**. Selanjutnya dilakukan analisis untuk mendapatkan nilai *cut-off slope* pada lereng secara *trial* dan *error* hingga diperoleh nilai FK melebihi nilai ambang dan PoF bernilai 0% (**Gambar 8**).



Gambar 6 Analisis faktor keamanan menggunakan *Rocktopple*.



Gambar 7 Analisis sensitivitas lereng STA 01 terhadap tinggi lereng, kemiringan lereng, dan *toppling joint* (kiri), sensitivitas lereng terhadap *toppling joint spacing*, sudut geser dalam *toppling joint*, kohesi *toppling joint* (kanan).



Gambar 8 Diagram variasi kemiringan lereng (satu dalam derajat) terhadap faktor keamanan (a) dan probabilitas longsoran (b).

6. DISKUSI

Berdasarkan nilai ambang batas Wyllie dan Mah (2005) yang menetapkan ambang batas untuk probabilitas longsoran 5% dan faktor keamanan sebesar 1,1 sesuai SNI 8460 (BSN, 2017), maka pada analisis kesetimbangan batas diperoleh nilai faktor keamanan lereng STA 01 sebesar 0,91 dan probabilitas longsoran sebesar 59,7% yang menunjukkan bahwa lereng tersebut tidak aman karena di bawah ambang batas. Hal tersebut menjadikan rekomendasi untuk analisis kestabilan lereng potensi longsoran guling sebaiknya digunakan klasifikasi massa batuan RMR dan GSI baik untuk dipadukan agar memperoleh hasil yang signifikan sesuai dengan analisis kesetimbangan batas menggunakan peranti lunak *Roctopple*.

Untuk dapat melakukan stabilisasi lereng digunakan analisis analitik dengan nilai *cut-off slope* dari kemiringan lereng melalui *trial* dan *error* dihasilkan nilai *cut-off slope* untuk lereng STA 01 yaitu dengan kemiringan lereng 59° agar aman dan stabil. Pada kemiringan lereng 59° tersebut didapatkan nilai faktor keamanan lereng STA 01 4,853 dengan nilai probabilitas longsoran yaitu 0%.

7. KESIMPULAN

Faktor yang paling berpengaruh pada longsoran guling adalah kohesi (*toppling joints*), sudut geser dalam (*toppling joints*), kemiringan (*toppling joints dip*), tinggi lereng, dan sudut kemiringan lereng. Untuk menjaga agar lereng tetap stabil yaitu dengan membuat *cut-off slope* agar lereng stabil dengan sudut kemiringan lereng 59°.

Klasifikasi massa batuan RMR cocok digunakan untuk analisis pada potensi longsoran guling karena parameter yang digunakan cukup melengkapi beberapa parameter diskontinuitas untuk dapat dilakukan *input* di peranti lunak *Roctopple*.

DAFTAR PUSTAKA

- Barton, Nick dan Choubey, V (1977): The Shear Strength of Rock Joints in Theory and Practice, *Rock Mechanics* 10, 1-54.
- Bienawski, Z, T. (1989): *Engineering Rock Mass Classifications*, John Wiley and Sons, Kanada.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2017): SNI 8460:2017, *Persyaratan perancangan geoteknik*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Ettensohn, Frank, R. (2018): *Notes for A Carbonate Core-Logging Workshop*, University of Kentucky, USA.
- Goodman, R.E. dan Bray, J.W. (1976): Toppling of Rock Slopes. Proc. Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and Slopes. Boulder, Colorado, ASCE, pp. 201-234.
- Hoek, E. and Brown, E.T., (2019):. The Hoek–Brown failure criterion and GSI–2018 edition. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11(3), pp.445-463.
- Hudson, J. A dan Harrison, J. P. (1997): *Engineering Rock Mechanics - An Introduction to The Principles*, Elsevier, United Kingdom.

- Martodjojo, S., (1984): *Evolution of Bogor Basin, West Java*. Doctorate Thesis, Institut Teknologi Bandung.
- Palmström, A. dan Stille, H. (2015): *Rock engineering – second edition*, ICE Publishing, Padstow, England, 121 – 148.
- Sapiie, B., Noeradi, D., Suryanugraha, A. M., Kurniawan, W., Simo, T., dan Nugroho, D. (2010): 3D palinspatic reconstructions of Rajamandala carbonate complex as implication of paleogeography in the Western Java, Indonesia. *Proceedings Indonesian Petroleum Association, Indonesia*, **35**, 1 – 12.
- Sudjarmiko (1972): Peta Geologi Lembar Cianjur, Jawa, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Wyllie, D. C. dan Mah, C. W. (2005): *Rock Slope Engineering, Civil and Mining 4th edition I*, Taylor and Francis Group, USA, Kanada.