

Pengaruh Diskontinuitas Terhadap Kestabilan Lereng Batuan Terkekarkan

Studi Kasus Kuari Andesit PT Lola Laut Timur Kabupaten Bogor

(The Effect of Discontinuity on Stability of Displaced Rock Slope Case Study Andesite Quarry PT Lola Laut Timur Bogor Regency)

Andesta Granitio Irwan^{1*}, S. Koesnaryo², Barlian Dwinagara³, Singgih Saptono⁴
^{1,2,3,4} Magister Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

* Korespondensi E-mail: anddesta.granitio@gmail.com

Abstrak

Diskontinuitas pada suatu massa batuan memberikan pengaruh pada kestabilan suatu lereng batuan karena merupakan salah satu faktor pengendali dari keruntuhan lereng. Dalam penelitian ini dilakukan analisis terhadap peran diskontinuitas yaitu kekar dan lapisan *lithic tuff* terhadap kestabilan lereng serta pengaruh parameter persisten dan kekasaran kekar terhadap nilai faktor keamanan lereng. Analisis yang digunakan yaitu pengaruh perubahan ketebalan lapisan *lithic tuff*, persisten serta nilai kekasaran kekar terhadap nilai faktor keamanan lereng. Pengolahan data kestabilan lereng menggunakan Software Rocscience RS2 dengan pemodelan Metode Elemen Hingga dengan pemodelan massa batuan yang digunakan dalam analisis yaitu Model Kekar Veneziano. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan lapisan *lithic tuff* memberikan penurunan nilai faktor keamanan lereng hingga 1,37%. Pengaruh parameter persistensi terhadap faktor keamanan lereng diperoleh bahwa semakin meningkat nilai persistensi maka akan menurunkan nilai faktor keamanan lereng hingga 2,9% dan perubahan nilai JRC menurunkan nilai faktor keamanan hingga 1,7%.

Kata kunci: diskontinuitas, persisten, intrusi, kekasaran, faktor keamanan

Abstract

Discontinuity in a rock mass has an influence on the stability of a rock slope because it is one of the controlling factors of slope failure. In this study, an analysis was carried out on the role of discontinuities, namely joints and lithic tuff layers on slope stability and the effect of persistent parameters and joint roughness on the safety factor of safety factor. The analysis used is the effect of changes in the thickness of the lithic tuff, persistence and the value of joint roughness on the value of the safety factor. Processing of slope stability data using Rocscience RS2 Software with Finite Element Method modeling with rock mass modeling used in the analysis, namely the Veneziano Model. The results showed that an increase in the thickness of the lithic tuff layer resulted in a decrease in the safety factor of the slope up to 1.37%. The effect of the persistence parameter on the slope safety factor was found that the higher the persistence value, the lower the slope safety factor value up to 2.9% and changes in the JRC value decreased the safety factor value up to 1.7%.

Keywords: discontinuity, persistent, intrusion, roughness, safety factor

1. Pendahuluan

Pada umumnya massa batuan terdiri atas struktur geologi yang terbentuk secara alami atau biasa disebut diskontinuitas. Keberadaan diskontinuitas pada suatu massa batuan khususnya lereng batuan memberikan pengaruh pada kestabilan lereng karena merupakan faktor pengendali dari keruntuhan lereng (Wang *et.al.*, 2019). Diskontinuitas pada lereng berupa kekar yang saling berpotongan berpotensi membentuk blok batuan karena tidak adanya kuat tarik dari massa batuan serta parameter persistensi kekar menjadi faktor kritis dalam penyebab ketidakstabilan lereng (Hudson dan Harrison., 1997).

Kenampakan diskontinuitas seperti kekar yang dominan dan adanya diskontinuitas mayor berupa batuan jenis *lithic tuff* yang membentuk

lapisan memotong beberapa lereng dengan nilai kuat tekan lebih lemah dibandingkan tubuh batuanannya yaitu andesit serta memiliki dominasi mineral litik fragmen dan gelas vulkanik. Secara teoritis dapat mengganggu kestabilan lereng karena diasumsikan berasosiasi dengan bidang gelincir blok batuan oleh bidang diskontinuitas yang sudah ada.

Berdasarkan fakta lapangan yang sudah dijabarkan sebelumnya, perlunya dilakukan kajian lebih lanjut mengenai analisis kestabilan lereng meliputi potensi jenis longsor pada lereng penambangan dengan pemodelan lapisan *lithic tuff* dan pemodelan jejaring kekar (*joint network*) Model Veneziano sesuai yang digunakan dalam penelitian (Romer., 2016) sebagai pendekatan estimasi kekar acak yang

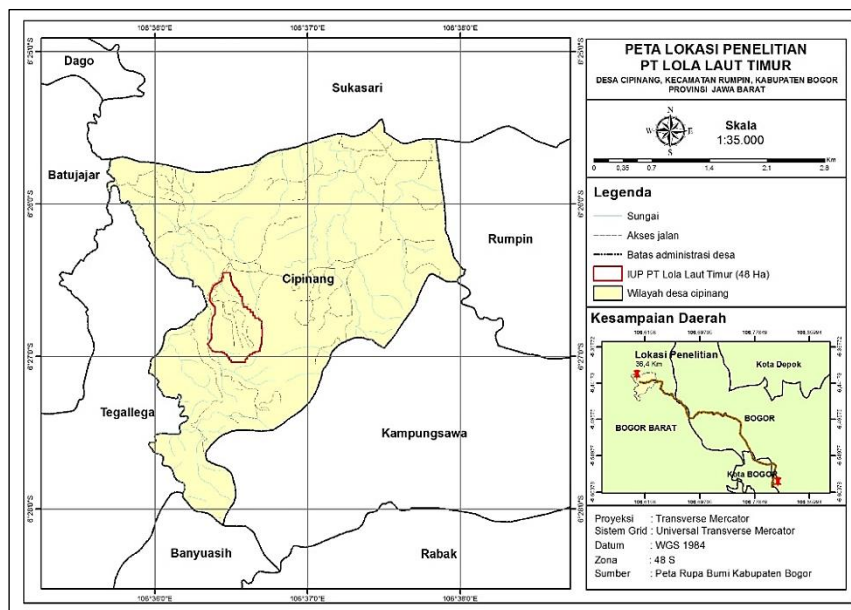
merepresentasikan kondisi kekar sebenarnya. Hal ini diharapkan dapat merepresentasikan kondisi diskontinuitas berupa kekar dengan simulasi perubahan parameter persistensi dan kekasaran kekar.

2. Metode

Lokasi penelitian dilakukan pada PT Lola Laut Timur yang terletak di Desa Cipinang, Kecamatan Rumpin, Kabupaten Bogor, Jawa Barat dengan jarak tempuh 36,4 Km dari pusat Kota Bogor (Gambar 1).

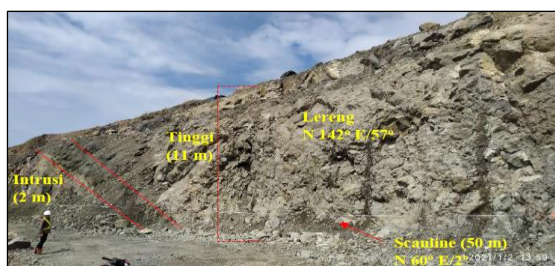
Setelah dilakukan pemetaan lereng, dilakukan pengambilan sampel batuan untuk dilakukan pengujian laboratorium. Pengujian yang digunakan yaitu pengujian sifat fisik batuan, pengujian kuat tekan uniaksial, dan kuat geser langsung. Hasil pengujian laboratorium kemudian diolah secara statistik dengan hasil seperti pada Tabel 1.

Dari data hasil pemetaan diskontinuitas dianalisis menggunakan analisis kinematik untuk mengetahui potensi longsoran pada tiap lereng penelitian. Kemudian dilakukan analisis



Gambar 1. Lokasi penelitian

Metode penelitian dilakukan orientasi dan observasi lapangan dalam penentuan lokasi lereng yang akan dilakukan penelitian, kemudian dilakukan pengukuran geometri lereng, pengukuran diskontinuitas menggunakan metode *scanline* Saptono dkk (2012) dengan panjang 50 m. Parameter diskontinuitas yang dilakukan pengukuran meliputi orientasi kekar, spasi kekar, persisten, kekasaran, *aperture*, *infilling*, kondisi air pada lereng dan pelapukan serta pemetaan lokasi lapisan *lithic tuff*. Pemetaan diskontinuitas dilakukan pada masing-masing lereng jenjang dengan total delapan lereng penelitian.



Gambar 2. Pemetaan lereng penelitian

klasifikasi massa batuan menggunakan *Rock Mass Rating* (RMR) oleh Bieniawski (1989) dan *Slope Mass Rating* (SMR) oleh Romana (1985).

Pemodelan lereng penelitian didasarkan pada geometri dari pengukuran menggunakan Total Station. Pemodelan lapisan *lithic tuff* pada lereng diterapkan pada kondisi lereng keseluruhan (*overall slope*). Kemudian klasterisasi data hasil pengukuran menggunakan perangkat lunak AutoCad 2010 untuk mendapatkan bidang perpotongan dari kekar. Perpotongan bidang kekar ini kemudian dijadikan bidang perpotongan yang diasumsikan memotong lereng sepenuhnya dan diterapkan nilai kekasaran menggunakan kuat geser diskontinuitas Barton Bandis.

Pemodelan jejaring kekar pada model geometri lereng mengikuti data statistik hasil pemetaan diskontinuitas di lapangan. Jejaring kekar yang digunakan yaitu Model Kekar Veneziano yang diadopsi dari penelitian Romer (2016) seperti Gambar 3.

Analisis perubahan pengaruh parameter persistensi kekar dan kekasaran kekar dilakukan pada jejaring kekar dan bidang perpotongan. Untuk parameter persistensi kekar, analisis

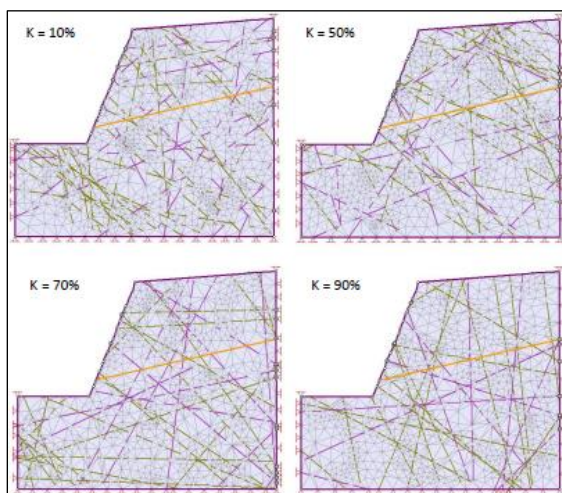
dilakukan dengan perubahan nilai persistensi kekar 10% – 90%. Kemudian analisis perubahan

kekasaran kekar (JRC) mengikuti profil kekar yang diusulkan oleh arton dan Choubey (1977).

Tabel 1. Statistik pengujian laboratorium

Statistik	σ_c (MPa)	E (MPa)	ν	C_r (MPa)	ϕ_r (°)	γ_s (gr/cm ³)
Min	12,21	419,17	0,07	0,06	8,53	2,29
Max	53,67	9184,70	0,46	0,62	44,87	2,63
Mean	23,27	3880,55	0,22	0,23	16,80	2,48
StDev	13,37	1973,30	0,11	0,18	11,23	0,10

Keterangan: σ_c = kuat tekan uniaksial, E = modulus young, ν = poisson rasion, C_r = kohesi residu, ϕ_r = sudut geser dalam residu, γ_s = bobot isi jenuh.



Gambar 3. Model kekar veneziano

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian meliputi jenis longsor dari analisis kinematik, kelas massa batuan lereng penelitian, pengaruh lapisan *lithic tuff* terhadap faktor keamanan lereng, pengaruh persistensi dan kekasaran terhadap faktor keamanan lereng serta terhadap kekuatan massa batuan.

Analisis Kinematik

Hasil analisis kinematik tiap jenjang lereng penelitian ditunjukkan oleh Tabel 2 berikut.

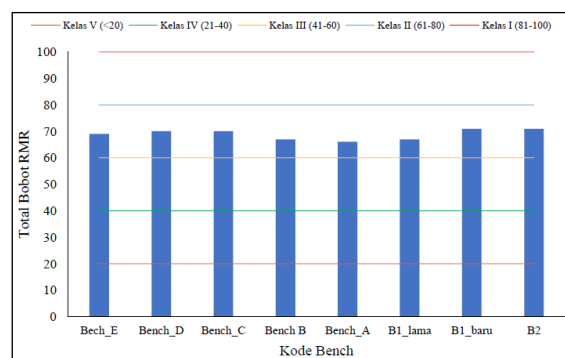
Tabel 2. Hasil analisis kinematik

Jenjang	Potensi Longsor	Perpotongan Set Kekar
E	Baji	B & C
D	Baji	A & C, C & D
C	Baji	A & C
B	Baji	A & C, B & D
A	Baji	A & B
1Lama	Baji	A & D
1Baru	Baji	A & C, A & D
2	Baji	B & C, A & D

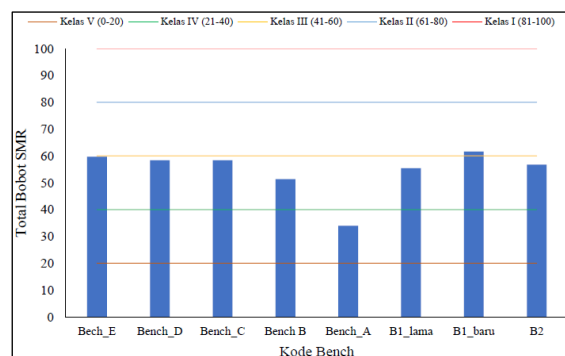
Dari Tabel 2 terkonfirmasi dimana syarat terbentuknya longsor baji yaitu kemiringan muka lereng (ψ_f) > kemiringan bidang perpotongan (ψ_i) > sudut geser dalam (ϕ) terpenuhi pada masing-masing lereng. Probabilitas potensi longsor baji yang terbentuk berdasarkan analisis kinematik yaitu 17,40 - 53,51%.

Analisis Klasifikasi Massa Batuan

Analisis klasifikasi massa batuan berdasarkan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) untuk masing-masing jenjang lereng penelitian ditunjukkan pada Gambar 4 dan *Slope Mass Rating* (SMR) ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Grafik klasifikasi RMR



Gambar 5. Grafik klasifikasi SMR

Dari Gambar 4 menunjukkan bahwa bobot RMR berada pada rentang nilai 69 - 71 yaitu

lereng masuk ke dalam kelas II yang berarti kondisi massa batuan dalam keadaan baik, sedangkan Gambar 5 menunjukkan bahwa bobot SMR untuk tiap jenjang lereng 75% lereng berada pada rentang nilai 41-60 (kelas III) dengan probabilitas kelongsoran 40%, sedangkan 12,5% lereng berada pada rentang nilai 60 - 80 (kelas II) dengan probabilitas kelongsoran 20% serta 12,5% lereng berada pada rentang nilai 21 - 40 (kelas IV) dengan probabilitas kelongsoran 60%.

Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng difokuskan pada lereng jenjang tunggal dan lereng keseluruhan dengan acuan nilai faktor keamanan oleh KEPMEN ESDM 1827 Tahun 2018. Perangkat lunak yang digunakan yaitu *Rocscience RS2* dengan lisensi milik Universitas Gajah Mada (UGM).

Prinsip analisis perangkat lunak *Rockscience RS2* menggunakan Metode Elemen Hingga atau *Finite Element Method (FEM)* dengan faktor keamanan dihitung dengan *Strength Reduction Factor (SRF)* yang mengurangi kekuatan massa batuan hingga mencapai batas kritisnya. Hasil analisis kestabilan lereng penelitian ditunjukkan oleh Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Faktor Keamanan Lereng Penelitian

Kode Lereng	SRF	PF (%)	Keterangan
E	6,17	4,39	Aman
D	6,55	5,67	Aman
C	7,76	5,62	Aman
B	4,55	4,82	Aman
A	6,87	5,07	Aman
1Lama	4,34	4,53	Aman
1Baru	8,22	3,73	Aman
2	6,47	8,54	Aman
Overall Slope	2,89	1,82	Aman

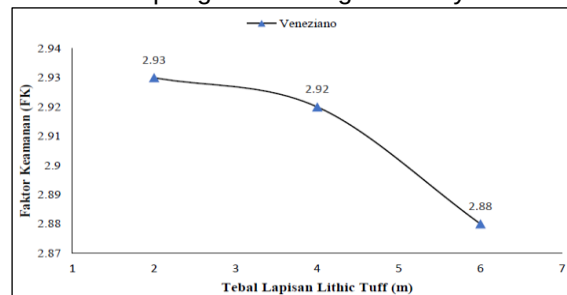
Dari hasil analisis numerik ini (Tabel 3) dapat disimpulkan bahwa stabilitas lereng pada lokasi penelitian memiliki kategori aman.

Pengaruh Ketebalan Lapisan *Lithic Tuff*

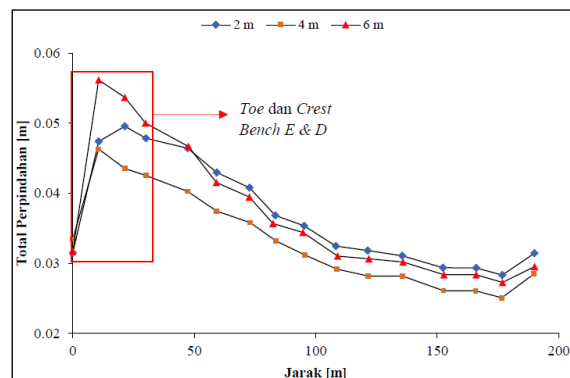
Pada kondisi aktual, ketebalan lapisan yaitu 2 meter dengan perubahan variasi ketebalan yaitu 4 meter dan 6 meter (Gambar 6). Dari grafik pada Gambar 6 diketahui bahwa seiring meningkatnya ketebalan lapisan *lithic tuff* maka faktor keamanan mengalami penurunan. Penurunan faktor keamanan cenderung meningkat pada ketebalan 4 m dengan penurunan sebesar 0,34% dan pada ketebalan 6 m sebesar 1,37%.

Peningkatan penurunan faktor keamanan ini disebabkan karena semakin luasnya bidang lemah pada lereng keseluruhan sehingga

mempengaruhi lereng di atasnya.



Gambar 6. Pengaruh perubahan ketebalan lithic tuff pada faktor keamanan lereng



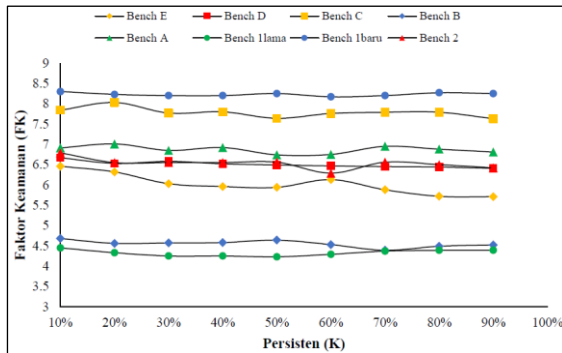
Gambar 7. Total perpindahan pengaruh ketebalan lithic tuff pada lereng

Grafik diatas menunjukkan bahwa total perpindahan terbesar terjadi pada lereng dengan keberadaan lapisan *lithic tuff (Bench E)* dan lereng jenjang diatasnya (*Bench D*). Perpindahan khususnya pada bagian atas lereng (*crest Bench E*) dengan lokasi tersingkapnya lapisan di permukaan, hal ini menunjukkan bahwa kondisi lapisan di permukaan memberikan pengaruh yang dapat menyebabkan ketidakstabilan lereng seperti lepasnya blok batuan antar kontak lapisan *lithic tuff* dan massa batuan andesit.

Perpindahan cenderung menurun dan stabil rata-rata setelah 50 m dari titik singkapan lapisan *lithic tuff* yaitu *Bench E*, hal ini berlaku pada tiap ketebalan lapisan. Dapat disimpulkan bahwa, keberadaan lapisan *lithic tuff* pada lereng dengan sudut aktual yaitu 40o memberikan pengaruh pada nilai perpindahan yang terjadi namun tidak berdampak besar pada lereng keseluruhan.

Pengaruh Perubahan Persistensi Kekar

Analisis persistensi bidang diskontinu didasarkan pada simulasi nilai persistensi massa batuan dengan menggunakan jejaring kekar Model Veneziano memberikan nilai persistensi 10-90%. Hasil yang didapat dari analisis persistensi terhadap faktor keamanan lereng ditunjukkan oleh Gambar 8.



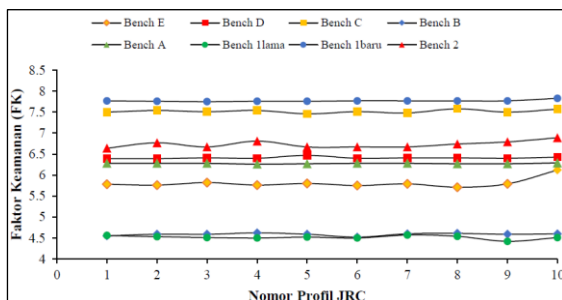
Gambar 8. Grafik pengaruh persistensi Model Kekar Veneziano

Berdasarkan analisis seperti yang ditunjukkan pada kedua grafik diatas maka diperoleh hasil yaitu kenaikan nilai persistensi pada massa batuan memberikan nilai penurunan kestabilan lereng atau faktor keamanan lereng dimana hal ini sesuai dengan penelitian oleh Zhang *et al* (2015).

Secara umum, kenaikan 10% persistensi pada massa batuan memberikan pengaruh terhadap faktor keamanan lereng hingga 2,9% dimana semakin besar nilai persistensi kekar akan mereduksi nilai faktor keamanan lereng karena semakin panjang persisten suatu kekar maka akan menyebabkan massa batuan penyusun lereng terdeformasi sepanjang bidang kekar, atau dengan kata lain semakin tinggi persisten pada lereng akan menyebabkan bidang lemah yang semakin besar dimana keberadaan bidang lemah ini dapat menginisiasi kelongsoran suatu lereng.

Pengaruh Perubahan Kekasaran Kekar

Analisis kekasaran kekar didasarkan pada bidang kekar hasil perpotongan potensi longsoron baji dimana kriteria kuat geser Barton-Bandis diterapkan. Pengaruh nilai kekasaran kekar berdasarkan profil Barton dan Choubey (1977) dengan simulasi nilai JRC profil 1 hingga 20 terhadap nilai faktor keamanan yang ditunjukkan oleh Faktor Kemanan (FK). Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 9 sebagai berikut.



Gambar 9. Grafik pengaruh kekasaran Model Kekar Veneziano

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 5.11 diperoleh bahwa kenaikan nilai kekasaran kekar (JRC) cenderung memiliki penurunan nilai faktor keamanan sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Kim *et.al* (2013) meskipun penurunan nilai faktor keamanan cenderung rendah. Penurunan yang cenderung rendah ini disebabkan oleh penerapan kriteria Barton-Bandis pada bidang diskontinuitas perpotongan bidang baji, sedangkan tidak diterapkan pada jejaring kekar yang membentuk massa batuan.

Kecenderungan peningkatan faktor keamanan berdasarkan kenaikan kekasaran kekar (JRC) disebabkan karena permukaan kekar yang semakin kasar akan meningkatkan gaya gesek penyusun massa batuan sehingga menyebabkan antar batuan saling menahan atau mengunci (*interlock*), berbeda dengan permukaan kekar yang halus akan menyebabkan gaya gesekan mengecil sehingga massa batuan penyusun lereng akan lebih mudah lepas dan menyebabkan kelongsoran.

Rata-rata perubahan nilai faktor keamanan lereng oleh perubahan nilai kekasaran kekar (JRC) yaitu 0,3 – 1,7%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa untuk kedua model jejaring kekar memberikan perubahan yang relatif kecil dan cenderung sama untuk perubahan maksimal, hal ini mengkonfirmasi bahwa penerapan kriteria kuat geser Barton Bandis pada bidang diskontinuitas memberikan pengaruh kecil pada faktor keamanan lereng.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dihasilkan dari pembahasan yaitu:

1. Hasil analisis RMR lereng penelitian masuk pada kategori kelas III dengan penilaian baik dan kriteria SMR lereng masuk pada kelas II, III dan IV dengan probabilitas kelongsoran 20 - 60%. Lereng pada lokasi penelitian dikategorikan aman dengan nilai faktor keamanan lereng tunggal yaitu 4,55 – 8,22 dengan probabilitas kelongsoran <25% dan faktor keamanan lereng keseluruhan 2,89 dengan probabilitas kelongsoran <5% untuk lereng keseluruhan.
2. Pengaruh perubahan ketebalan lapisan *lithic tuff* pada lereng tidak signifikan (1,37%) dimana perpindahan lereng menunjukkan ketebalan lapisan *lithic tuff* berpengaruh pada jenjang diatasnya karena adanya perluasan bidang lemah yang berpotensi menimbulkan ketidakstabilan lereng.
3. Peningkatan nilai persistensi kekar akan menurunkan nilai faktor keamanan lereng

hingga 2,9% dimana penurunan ini dikarenakan semakin tinggi persisten yang memotong lereng akan memberikan bidang lemah yang semakin besar untuk menginisiasi kelongsoran suatu lereng. Sedangkan peningkatan nilai kekasaran kekar (JRC) cenderung akan meningkatkan faktor keamanan lereng hingga 1,7% karena permukaan kekar yang semakin kasar akan meningkatkan gaya gesek penyusun massa batuan sehingga menyebabkan antar batuan saling menahan atau mengunci (*interlock*).

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada PT Lola Laut Timur atas bantuan dalam pemberian izin tempat penelitian dan Ka. Laboratorium Asia Rock Test Bapak Titan Era Yudha., S.T., M.Sc atas bantuan pengujian sampel batuan.

Daftar Pustaka

Barton, N dan Choubey, V., 1977. The Shear Strength of Rock Joints in Theory and Practice. *Rock Mechanics* 10:1-54.
 Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering rock mass classifications*. Wiley, New York.
 Hudson, J.A dan Harrison, J.P., 1997. *Engineering rock mechanics: an introduction to the principles*. Elsevier Science Ltd. United Kingdom.
 Kim, H.D., Gratchev, I dan Balasubramaniam, A., 2013. Determination of joint roughness coefficient (JRC) for slope stability analysis: a

case study from the gold coast area, australia. *Journal Landslides*, Vol. 10, pp 657-664.
 Romana M., 1985. New adjustment ratings for application of bieniawski classification to slopes. *Proceedings of the International Symposium on the Role of Rock Mechanics in Excavations for Mining and Civil Works*. International Society of Rock Mechanics, Zacatecas.
 Romer, C., 2016. Slope stability analyses of rock slopes and a comparison of limit equilibrium and continuum numerical methods. Thesis, University of KwaZulu-Natal, Durban, South African.
 Saptono, S., Kramadibrata, S., Sulistianto, B., dan Irsyam, M., 2012. Studi Jarak Kekar Berdasarkan Pengukuran Singkapan Massa Batuan Sedimen di Lokasi Tambang Batubara. *Prosiding Simposium Dan Seminar Geomekanika ke-1*, pp 18–28.
 Saptono, S., Wiyono, B dan Dewi, A., 2014. The effect of filled discontinuity to shear strength parameter of tuff. *8th Asian Rock Mechanics Symposium*. Sapporo, Japan.
 Wang, L., Chen, W., Tan, Xu., Yuan, J dan Liu, Q., 2019. Evaluation of mountain slope stability considering the impact of geological interfaces using discrete fractures model. *Journal of Mountain Science*, Vol. 16, pp 2148-2202.
 Zhang, K., Cao, P., Ma, G., Ren, F dan Li, K., 2015. Stability analysis of rock slope controlled by major geological discontinuities based on the extended kinematical element method. *Rock Mechanic and Rock Engineering*. Springer Verlag Wien.