

PENILAIAN KESTABILAN LERENG BATUGAMPING PADA KAMPUS LAPANGAN PPSDM GEOMINERBA

Slope Stability Assesment on Field Practice Facilities of PPSDM Geominerba

Meda Rusdiana Ipmawati

Pusat Pengembangan Sumber Daya Geologi, Mineral dan Batubara
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Jalan Jenderal Sudirman No. 623, Bandung 40211
Telp. (022) 6076756, Faks. (022) 6035506
E-mail: meda.rusdiana@gmail.com

ABSTRAK

Hadirnya struktur geologi yang berupa ketidakmenerusan/diskontinuitas pada massa batuan yang diakibatkan oleh gaya eksogen dan endogen di bumi, merupakan salah satu faktor pengurang dari kestabilan lereng. Perbedaan kekasaran permukaan bidang diskontinu (dalam penelitian ini adalah kekar) dan panjang kekar (persistensi) merupakan *properties* yang tidak dapat diabaikan dalam penilaian kestabilan lereng. Pada penelitian ini, persistensi dikelompokkan menjadi dua, yaitu persistensi lebih dari 3m (Medium-Panjang) dan persistensi kurang dari 3 m (Pendek-Medium). Hasil pengukuran diperoleh nilai *Joint Roughness Coefficient* (JRC) yang merupakan kuantifikasi dari kekasaran pada kekar Medium-Panjang (MP) berada pada nilai 4-6 (sebanyak 71,4% dari total kekar terukur) dan sisanya bernilai 0-2, 2-4, 8-10, dan 12-14 berdasarkan skala Barton-Bandhis (1977). Dalam proses analisis kestabilan lereng, kekasaran bidang diskontinu M-P merupakan hasil pengukuran aktual yang terekam pada sayatan. Adapun kekar Pendek-Medium (P-M) digambarkan sebagai *joint network* dengan nilai JRC kombinasi 4 dan 8. Hasilnya, kondisi lereng penelitian dinilai aman berdasarkan pada enam sayatan yang dianalisis. Nilai *Strength Reduction Factor* (SRF) yang merupakan nilai faktor keamanan (FK) paling kecil berada pada nilai 1,89 dan nilai probabilitas kelongsoran berada pada nilai 5,81%. Kedua nilai tersebut masih berada dalam *range* aman berdasarkan Kepmen ESDM No. 1827/2018.

Kata Kunci: kestabilan lereng, batuan terkekarkan, lereng batugamping, analisis finite element

ABSTRACT

The condition of rock mass in nature is influenced by exogenous and endogenous forces, one of the consequences is the existence of a structure of discontinuity in rock mass, which is a rock mass increment which in the concept of stability may be a factor to reduce stability. In more detail, differences in surface roughness of the discontinuous plane (in this study are joint) and joint length (persistence) are properties that cannot be ignored in the assessment of slope stability conditions. In this study, persistence was grouped into two, namely persistence of more than 3 m and persistence of less than 3 m. The measurement results obtained Joint Roughness Coefficient (JRC) which is a quantification of the roughness at the joint major (persistence more than 3 m) is at a value of 4-6 (as much as 71.4% of the total joints measured) and the rest is 0-2, 2-4, 8-10, and 12-14 based on the Barton-Bandhis scale (1977). In the stability analysis, the roughness of the major discontinuous

plane is depicted under the actual conditions recorded in the cross section, while the minor joint (persistence less than 3 m) is described as a joint network with JRC values of combinations 4 and 8. The result, the slope condition of the study is considered safe based on six cross section analyzed. The smallest Strength Reduction Factor (SRF) value is at 1.89 and the probability of failure is at 5.81%, both of which are still within the safe range based on ministerial decree of Ministry of Energy and Mineral Resources No. 1827/2018.

Key Word: slope stability, jointed rock, limestone, finite element analysis

PENDAHULUAN

Diskontinuitas pada massa batuan (bidang perlapisan, sesar, rekahan, kekar, dan kerusakan mekanik lainnya) yang dibentuk oleh proses geologi menunjukkan karakter kuat geser yang lemah, kuat tarik yang sangat kecil, dan kemampuan mengalirkan air lebih besar dibandingkan dengan batuan lain di sekitarnya. Karakteristik diskontinuitas mempunyai pengaruh yang sangat besar pada perancangan lereng yang stabil (Piteau, 1970 dan 1973), antara lain orientasi, ukuran, frekuensi, kondisi permukaan, jenis diskontinu, dan material pengisi.

Lokasi penelitian merupakan daerah pegunungan gamping dengan ketinggian sekitar 80 m. Topografi agak terjal hingga sangat terjal dengan kemiringan antara 30°-90°. Secara visual terdapat struktur kekar pada lereng sepanjang jalan menuju puncak pegunungan. Pada puncak pegunungan terdapat gedung Kampus Lapangan PPSDM Geominerba dan kompleks perumahan warga, sedangkan di salah satu sisi dasar pegunungan pun terdapat beberapa pabrik pengolahan batugamping. Pada beberapa titik sepanjang jalan menuju puncak ditemukan bongkahan batu sebagai hasil longsoran lereng. Kehadiran bongkahan batu ini menandakan ada bagian lereng yang tidak aman. Untuk itu, penilaian kestabilan sangat dibutuhkan sebagai dasar pengambilan keputusan terkait kestabilan lereng pada lokasi penelitian. Lokasi penelitian berada pada lereng dalam batasan koordinat (UTM) 769861.1048, 9243643.9188; 769987.1498, 9243668.1073; 769987.1490, 9243668.1073; dan 769861.1048, 9243643.9188

METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu:

a. Pengambilan data

Proses ini meliputi:

(1) Pengambilan data diskontinuitas

Hal pertama yang dilakukan adalah menentukan lintasan pada lereng untuk keperluan pengukuran *scanline*. Kemudian, dilakukan pengukuran diskontinuitas yang meliputi arah diskontinuitas, kemiringan diskontinuitas, *properties* diskontinuitas (kekasaran, bentuk bidang, material pengisi, bukaan, dan kemenerusan bidang diskontinu), arah lereng, dan geometri lereng.

(2) Pemetaan lokasi penelitian spesifik dilakukan dengan menggunakan *Total Station (TS)*. Hal ini dilakukan karena pemetaan sebelumnya tidak dilakukan secara detail, khususnya di lokasi penelitian.

- (3) Pengambilan contoh batuan untuk pengujian sifat fisik dan mekanik. Contoh batuan yang digunakan untuk keperluan pengujian berupa *intact rock* yang diambil berupa batuan *fresh* dalam bentuk bongkah yang nantinya akan dibuat menjadi bentuk *core*. Selanjutnya, dilakukan pengujian untuk mendapatkan parameter sifat fisik dan sifat mekanik yang akan dilakukan di Laboratorium Geomekanika.
- b. Pengolahan data
- Pada tahap ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:
- (1) Data diskontinuitas diolah untuk mendapatkan kelas massa batuan berdasarkan sistem *Rock Mass Rating (RMR)* (Bieniaswki: 1989). Kemudian, dilakukan *adjustment* untuk mendapatkan klasifikasi lereng berdasarkan *Slope Mass Rating (SMR)* yang diusulkan oleh Romana.
 - (2) Pengujian laboratorium dilakukan untuk menentukan sifat fisik dan sifat mekanik batuan utuh. Pengujian sifat fisik diolah sehingga mendapatkan nilai bobot isi, *specific gravity*, kadar air, derajat kejenuhan, porositas, dan angka pori. Pengujian sifat mekanik yang akan dilakukan adalah uji kuat tekan uniaksial dan uji kuat geser. Pengujian kuat tekan digunakan untuk mengetahui kuat tekan, *modulus young*, dan nisbah poisson. Uji kuat geser dilakukan untuk mengetahui nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).
 - (3) Setelah mendapatkan nilai sudut gesek dalam, bersama dengan data diskontinuitas kemudian dilakukan analisis stereografis untuk menentukan potensi longsoran.
 - (4) Data geometri lereng didapat dari hasil pemetaan topografi. Data ini dan data hasil uji laboratorium serta data *properties* diskontinu digunakan sebagai input dalam analisis kestabilan lereng menggunakan *Finite Element Method (FEM)* dengan bantuan perangkat lunak *Rocscience2d (Phase2)*. Dalam proses analisis, *properties* diskontinu berupa nilai JRC dan JCS dari bidang diskontinu M-P dan P-M merupakan hal yang tidak dapat diabaikan.

HASIL PENELITIAN

a. Analisis Stereografis

Data yang diperlukan untuk analisis ini didapatkan dari pengukuran diskontinu sepanjang lintasan *scanline*. Pemetaan diskontinuitas dilakukan pada kedua muka lereng, yaitu muka lereng bagian atas dan muka lereng bagian bawah dengan metode *scanline*. Panjang masing-masing lintasan *scanline* adalah 20 meter untuk lereng bawah dan 5 meter untuk lereng bagian atas. Hal ini disebabkan oleh aksesibilitas dan keamanan dalam melakukan pengukuran.

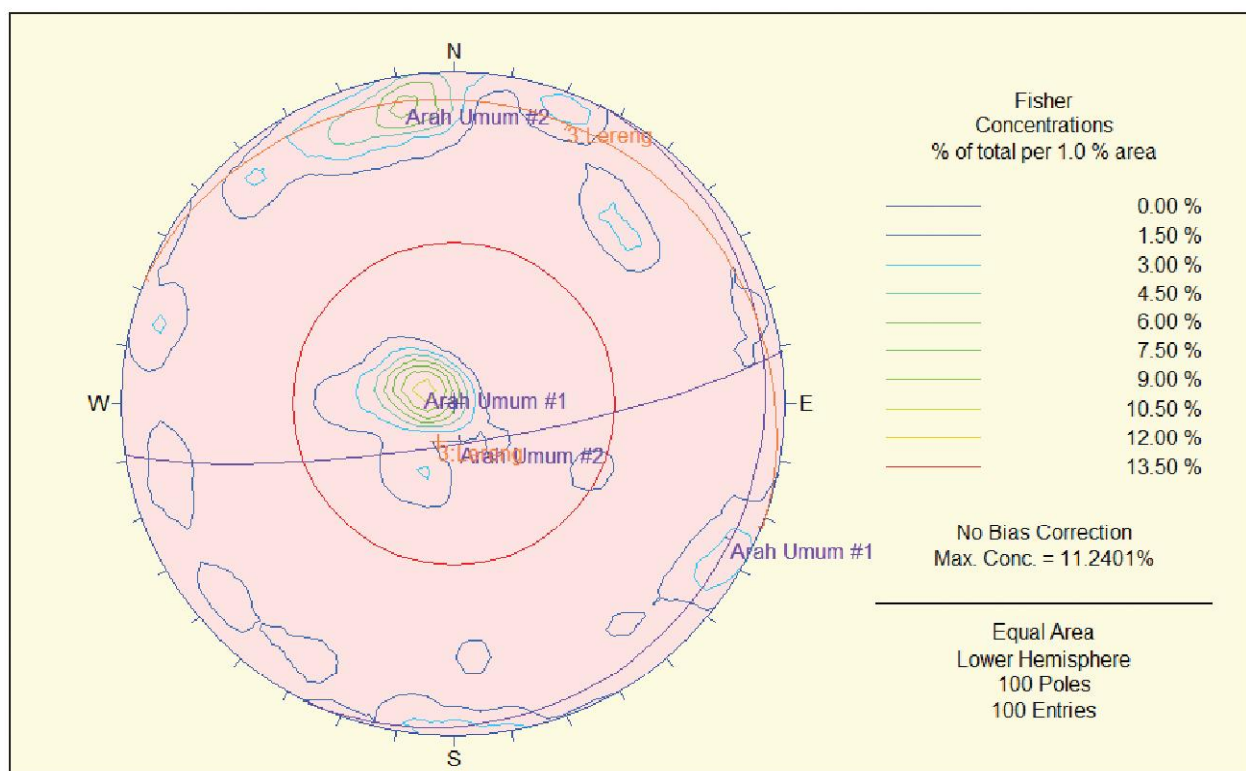
Dalam Irwandy (2016) disebutkan bahwa panjang *scanline* minimum untuk pengukuran adalah 50 kali jarak rata-rata diskontinuitas yang hendak diukur. Akan tetapi, dalam ISRM (1981) panjang *scanline* cukup 10 kali jarak rata-rata diskontinuitas yang hendak diukur. Spasi rata-rata bidang diskontinu hasil pengukuran adalah 49 cm dan lintasan *scanline* yang digunakan 2.500 cm yang berarti bahwa persyaratan yang ditetapkan terpenuhi. Selanjutnya, hasil pengukuran ini akan dilakukan penyesuaian seperti yang diusulkan oleh Hudson dan Priest (1979) sebelum digunakan untuk menghitung nilai RQD sesuai dengan Deere (1989).

Prinsip analisis stereografis adalah arah dan sudut diskontinuitas dan lereng (Duncan, 2018). Hasilnya didapatkan bahwa lereng penelitian berpotensi menghasilkan longsoran baji dengan ukuran baji yang kecil. Parameter dan nilai masukannya sebagai berikut.

Tabel 1. Parameter dan Nilai Masukan dalam Penilaian Potensi Longsoran Baji

Hasil Pengolahan Data Diskontinuitas	Analisis Potensi Longsor Baji	Potensi	Kesimpulan
1. Jumlah Arah Umum : 2 2. Direction Diskontinuitas I : 296° 3. Direction Diskontinuitas II : 351° 4. <i>Dip</i> Diskontinuitas I : 82° 5. <i>Dip</i> Diskontinuitas II : 10° 6. Kemiringan Bidang Potong : $75,49^\circ$ 7. Arah Bidang Potong : $104,51^\circ$ 8. Arah Lereng : 202° 9. Sudut Lereng : 80° 10. Sudut Gesek Dalam : $36,8^\circ$	a. Membaji terhadap lereng	Ya	Berpotensi terjadi longsoran baji
	b. Terdapat dua atau lebih bidang lemah yang berpotongan dan membentuk baji terhadap lereng	Ya	
	c. Sudut yang dibentuk garis potong kedua bidang lemah terhadap horizontal lebih kecil dari sudut lerengnya	Ya	
	d. Sudut garis potong kedua bidang tersebut lebih besar dari sudut gesek dalam (ϕ).	Ya	

Hasil setelah dilakukan analisis menggunakan program DIPS sebagai berikut.



Gambar 1. Hasil Penggambaran Stereografis pada Program Dips

b. Kelas Massa Batuan

Proses klasifikasi *Rock Mass Rating (RMR)* dilakukan pada setiap meter sepanjang lintasan *scanline*. Hasilnya, batuan pada lereng penelitian bagian bawah berada pada kelas II (37.5%) dan III (62.5%), sedangkan pada lereng bagian atas semuanya berada pada kelas III berdasarkan Bieniawski (1989). Secara umum, hasil penilaian RMR didapatkan nilai paling besar 79 dan nilai paling kecil 44.

Kelas massa batuan berdasarkan nilai *Slope Mass Rating (SMR)* akan memberikan gambaran tentang perkiraan jenis longsor dan probabilitas kelongsoran (Hoek, 2006). Klasifikasi ini dapat dilakukan jika terdapat data potensi longsor (dari analisis stereografis) dan nilai klasifikasi RMR. Berdasarkan hasil analisis stereografis, lereng penelitian memiliki potensi longsor baji (*wedge*) dengan nilai RMR antara 44 sampai 79. Perhitungan untuk klasifikasi SMR (Romana, 2015) sebagai berikut.

Tabel 2. Parameter Koreksi untuk klasifikasi SMR

Nilai Parameter Penyesuaian		Notasi Penyesuaian	Hasil Perhitungan Parameter	Bobot	Hasil Klasifikasi SMR
α_i	194,49	F1	97,51	0,15	Antara 52-87
α_s	292	F2	>45	1	
β_i	75,49	F3	-4,51	-50	
β_s	80	F4	Alami	15	

Berdasarkan klasifikasi SMR pada tabel 2, rentang nilai SMR 52-87 dapat diinterpretasikan mempunyai potensi longsor berupa beberapa baji dan/atau beberapa blok. Perkiraan nilai probabilitas kelongsoran antara 20%-40%.

c. Pengukuran Kekasaran Bidang Diskontinu

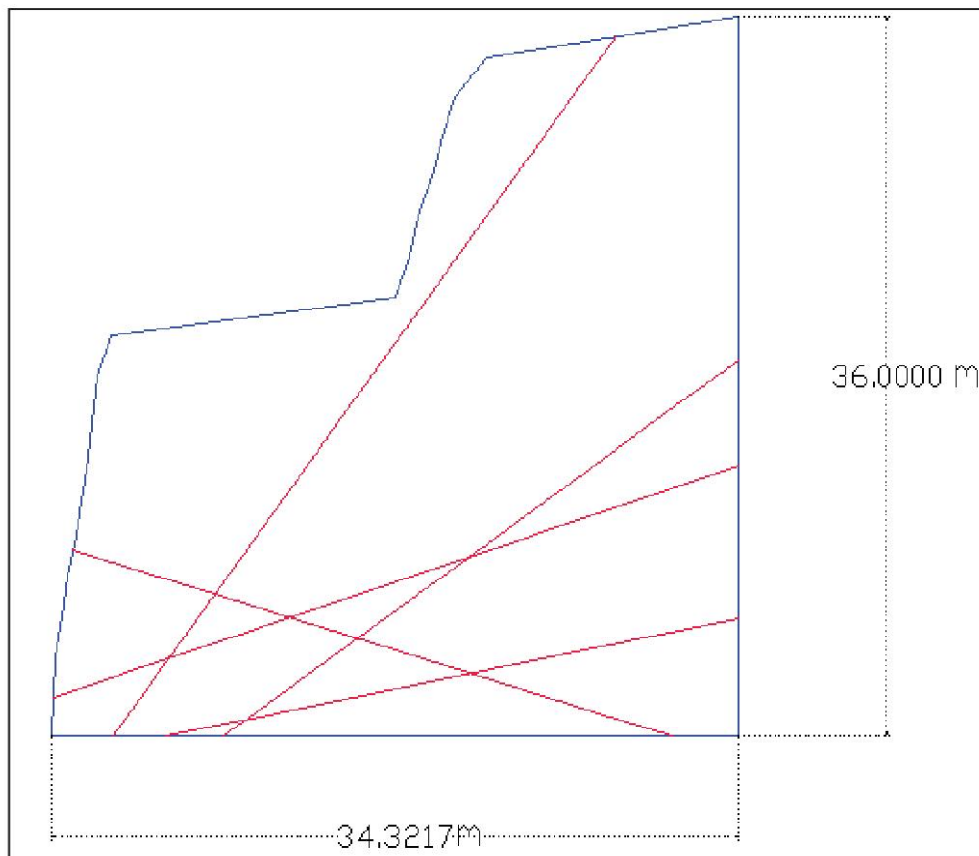
Bidang diskontinu dalam penelitian ini hanya berupa kekar (*joint*) karena tidak ditemukan lapisan batugamping yang berbeda. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan skala standar yang diusulkan oleh Barton (1977). Pengukuran profil kekasaran bidang diskontinu pada berbagai persistensi dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Nilai JRC pada Berbagai Persistensi Kekar

No.	Nilai JRC	Persentase JRC pada persistensi lebih dari 3 meter	Persentase JRC pada persistensi kurang dari 3m
1.	0-2	7.1%	4%
2.	2-4	7.1%	2%
3.	4-6	71.4%	13%
4.	6-8	0.0%	6%
5.	8-10	7.1%	13%
6..	10-12	0.0%	4%
8.	12-14	7.1%	0%

d. Analisis Kestabilan

Analisis kestabilan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Rocscience2d* berdasarkan prinsip Finite Element Method (FEM) seperti yang telah dilakukan oleh Hammah dan Yacoub (2007 dan 2008) pada lereng dengan kondisi terkekarkan. Gambaran dimensi lereng penelitian dengan beberapa *joint* pada salah satu sayatan sebagai berikut.



Gambar 2. Gambaran Geometri Lereng Penelitian

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral melalui Kepmen ESDM No 1827/2018 telah mengeluarkan peraturan terkait standar keamanan lereng yang dikuantifikasi pada nomenklatur nilai Faktor Keamanan (FK) dan Probabilitas Longsor.

Tabel 4. Standar Kestabilan Lereng Berdasarkan Kepmen ESDM 1827/2018

Jenis Lereng	Keparahan Longsor	Kriteria yang dapat diterima		
		FK Statis	FK Dinamis	Probabilitas Longsor
Lereng Tunggal	R rendah s.d. tinggi	1,1	-	25-50%
Inter-ramp	Rendah	1,15 – 1,2	1,0	25%
	Menengah	1,2 – 1,3	1,0	20%
	Tinggi	1,2 – 1,3	1,1	10%
Lereng Keseluruhan	Rendah	1,2 – 1,3	1,0	15-20%
	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3 – 1,5	1,1	5%

Lereng penelitian merupakan lereng *interramp* dan keparahan yang diakibatkan oleh longsoran berada pada kelas tinggi. Hal itu dikarenakan di sekitar lereng penelitian terdapat pemukiman penduduk serta pabrik pengolahan batugamping. Berdasarkan tabel di atas, nilai Faktor Keamanan yang diakomodir oleh FK bernilai minimal 1,3 dan nilai probabilitas longsor maksimal 10%. Parameter masukan yang digunakan untuk analisis kestabilan lerengnya sebagai berikut.

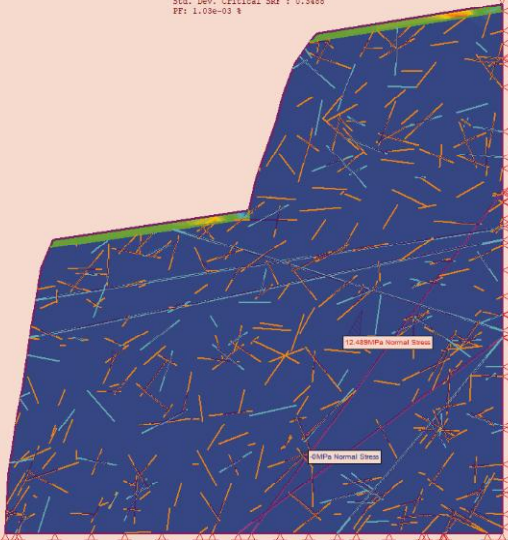
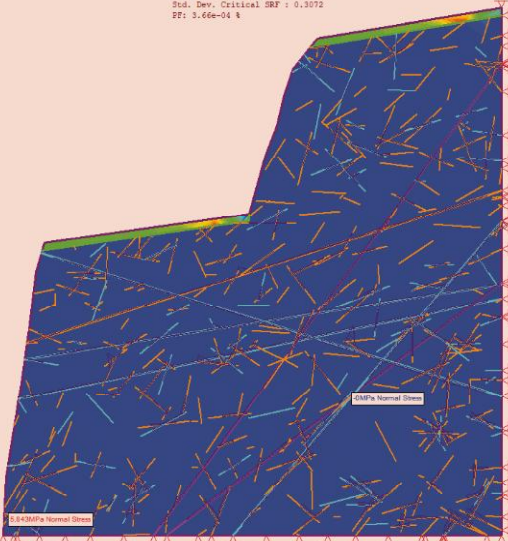
Tabel 5. Nilai dan Parameter Masukan dalam Analisis Kestabilan Menggunakan Rocscience2d

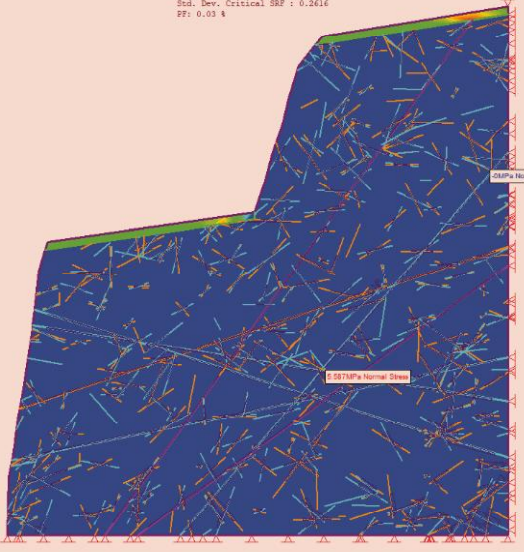
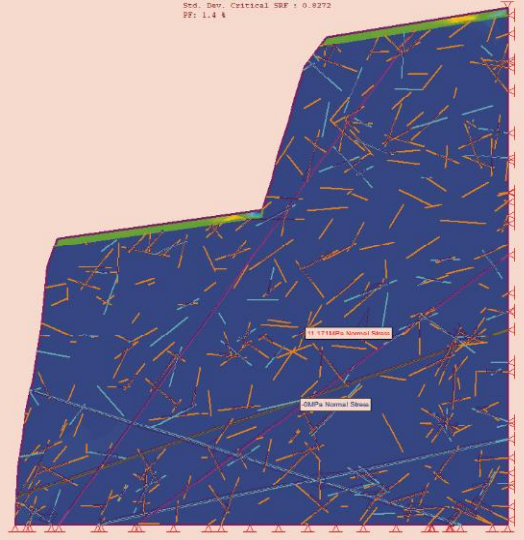
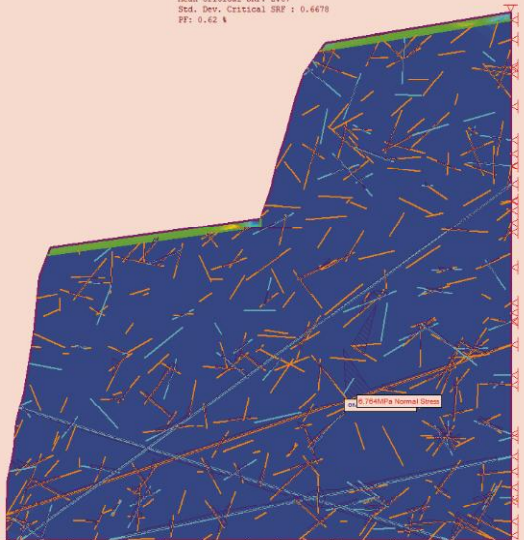
No	Deskripsi dan Parameter		Nilai	Keterangan
1.	Parameter Material			
	a. Soil	Kriteria Keruntuhan	Mohr-Coulomb	
		Unit Weight	0,02 MN/m ³	
		Modulus Young	76,68	
		Poisson's Ratio	0,3	
		Tipe Material	Plastis	
		Sudut Gesek dalam	11,62°	sisapuncak
		Kohesi	0,05 Mpa	sisapuncak
		Air tanah	tidak ada	
	b. Batugamping	Kriteria Keruntuhan	Generalized Hoek-brown	
		Unit Weight	0,025 MN/m ³	
		Modulus Young	10858	
		Poisson's Ratio	0,32	
		Tipe Material	Plastis	
		UCS	35,71	
		Mb	0,123874	sisapuncak
		S	4,54E+05	sisapuncak
		A	0,511365	sisapuncak
		D	1	
2.	Parameter Joint			
	Kekar M-P (>3m)	Kriteria Keruntuhan	Barton-Bandis	
		JRC untuk Kekar M-P	0-2	Aktual berdasarkan pengukuran
			2-4	
			4-6	
			8-10	
			12-14	
			14-16	
		JRC untuk Kekar P-M	0-2	Aktual berdasarkan pengukuran
			2-4	
			4-6	
			6-8	
			8-10	
			10-12	
		JCS	22,5 Mpa	Asumsi: tidak ada pelapukan
		Sudut gesek dalam sisa	22°-24°	Filleddiscontinuities

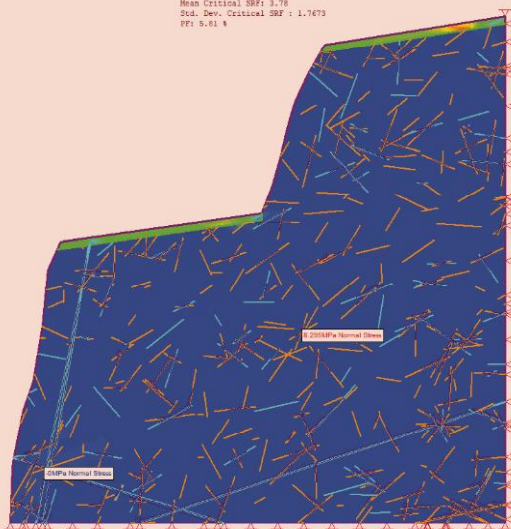
No	Deskripsi dan Parameter		Nilai	Keterangan
3.	Parameter <i>Joint Network</i>			
	Kekar P-M (<3m)	<i>Model</i>	Baecher	
		<i>Orientation Method</i>	Dip/Dip Direction	
		<i>Trace Plane</i>	80°/292°	
		<i>Dip (mean)</i>	53°	
		Standar Deviasi	29,77	
		<i>Dip Direction (mean)</i>	203°	
		Standar Deviasi	108	
		P1	0,32	

Analisis dilakukan pada enam sayatan sepanjang lereng penelitian dengan parameter dan nilai masukan seperti pada tabel di atas. Hasilnya sebagai berikut.

Tabel 6. Hasil Analisis Kestabilan Lereng pada Masing-Masing Sayatan

No	Sayatan	FK	PL (%)
1		2,49	0,00103
2		2,38	0,00036

No	Sayatan	FK	PL (%)
3	Mean Critical SRF: 1.89 Std. Dev. Critical SRF : 0.2616 FF: 0.03 % 	1,89	0,03
4	Mean Critical SRF: 2.82 Std. Dev. Critical SRF : 0.8272 FF: 1.4 % 	2,82	1,4
5	Mean Critical SRF: 2.67 Std. Dev. Critical SRF : 0.6678 FF: 0.62 % 	2,67	0,62

No	Sayatan	FK	PL (%)
6		3,78	5,81

PEMBAHASAN

a. Pembahasan Hasil Analisis Stereografis dengan Klasifikasi SMR

Pada hasil analisis stereografis, didapatkan bahwa potensi longsorannya berupa baji dengan ukuran kecil. Hal ini terkonfirmasi saat dilakukan analisis SMR berdasarkan kelas massa lereng yang akan menghasilkan jenis longsor berupa beberapa blok dan/atau beberapa baji. Pengamatan di lapangan ditemukan adanya beberapa “bongkah” batuan jatuhan dari lereng sebagai berikut.



Gambar 3. Gambaran Batuan Jatuhan pada Lokasi Penelitian

Kekar pada lokasi penelitian didominasi oleh isian berupa kalsit yang merupakan mineral pembentuk susunan massa batugamping itu sendiri. Material pengisi mempunyai daya ikat (kohesi) yang dapat memperkuat massa batuan. Jika material pengisi (kalsit) ini larut, akan menghasilkan kekar yang terbuka dan tanpa pengisi. Akibatnya, tidak ada ikatan antar-permukaan diskontinu. Ada kemungkinan bagian massa batuan yang terlepas dari batuan asalnya.

b. Pengaruh Keberadaan Diskontinu terhadap Kestabilan Lereng

Pada kondisi aktual, massa batuan terdiri dari banyak bidang diskontinu. Akan tetapi, dalam analisis kestabilan pada beberapa keadaan digunakan asumsi massa batuan yang seharusnya berada pada kondisi diskontinu dianggap sebagai massa batuan yang kontinu. Berikut perbandingan hasil analisis antara yang menggunakan asumsi dan yang tidak menggunakan asumsi.

Tabel 7. Perubahan Nilai FK dan Probabilitas Longsor pada lereng dengan kekar dan lereng tanpa kekar

Sayatan	Deskripsi Nilai	Desain lereng tanpa kekar	Desain lereng dengan kekasaran kekar M-P aktual	Perubahan nilai FK dan PL
Sayatan 1	SRF (PL)	3,21 (0,02)	1,74 (0,000186)	-1,47 (-0,019814)
Sayatan 2	SRF (PL)	5,75 (3,2)	1,45 (0,43)	-4,3 (-2,77)
Sayatan 3	SRF (PL)	3,27 (0,12)	1,25 (22,84)	-2,02 (22,72)
Sayatan 4	SRF (PL)	3,17 (0,00878)	1,41 (1,42)	-1,76 (1,41122)
Sayatan 5	SRF (PL)	3,2 (0,02)	1,26 (23,5)	-1,94 (23,48)
Sayatan 7	SRF (PL)	5,96 (9,6)	4,09 (3,49)	-1,87 (-6,11)

*Tanda minus menggambarkan penurunan nilai

Dari tabel di atas, semua sayatan menunjukkan kecenderungan mengalami penurunan FK dan penurunan probabilitas kelongsoran (PL) yang signifikan. Dengan demikian, dalam proses analisis kestabilan, keberadaan kekar tidak dapat diabaikan.

Pada analisis stereografis, *properties* yang diperhitungkan hanya arah dan kemiringan bidang diskontinu, sedangkan kekasaran dan keberadaan material pengisi tidak dipertimbangkan dalam menentukan potensi longsor. Sementara itu, pada analisis menggunakan *Rocscience2d* nilai kekasaran bidang gelincir dan jenis material pengisinya merupakan dua faktor yang diperhitungkan dalam menilai kekuatan geser massa batuan terkekarkan. Kedua faktor ini dapat saja menjadi factor untuk memperkuat ataupun untuk melemahkan kondisi lereng.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan program *Rocscience2d* pada lereng penelitian, didapatkan hasil *Strength Reduction Factor (SRF)* yang merupakan nilai Faktor Keamanan (FK) paling kecil berada pada nilai 1,89 dan nilai probabilitas kelongsoran berada pada nilai 5,81%. Hal ini mengindikasikan bahwa lereng penelitian pada analisis semua sayatan berada dalam kondisi aman

saat dilakukan penelitian. Perlu dilakukan penelitian lanjutan pada lereng lain yang dianggap perlu. Perlu juga dilakukan penelitian lebih lanjut tentang kekuatan jangka panjang pada lokasi Kampus Lapangan PPSDM Geominerba.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, Irwandy. 2016. *Geoteknik Tambang, Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Bieniawski, Z.T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications; A Complete Manual for Engineer and geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering*. Wiley. USA
- Barton, N.R and Choubey, V. 1977. *The Shear Strength of Rock Joint in Theory and Practice*. Rock Mech.
- Deere, Don U., 1989. *Rock Quality Designation (RQD) After Twenty Years*. U.S. Department Of Commerce National Technical Information Service. United State of America.
- Hammah, R.E., Yacoub, T. 2008. *The Practical Modelling of Discontinuous Rock Masses with Finite Element*. Corkum Rocscience Inc., Toronto, Canada.
- Hammah, R.E. 2007. *Analysis of Blocky Rock Slopes with Finite Element Shear Strength Reduction*. Corkum Rocscience Inc., Toronto, Canada.
- Hoek, E. 2006. *Practical Rock Engineering*. Canada
- Hudson A., Priest D., 1979. *Discontinuities and Rock Mass Geometry. Int. d. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 16, pp. 339 to 362*. Pergamon Press Ltd. Great Britain.
- Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 1827K/30/MEM/2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik.
- Romana, M. 2015. *Slope Mass Rating (SMR) Geomechanics Classification: Thirty Years Review. ISRM Congress 2015 Proceedings - Int'l Symposium on Rock Mechanics*. Quebec, Canada.
- Wyllie, Duncan., 2018. *Rock Slope Engineering Civil Applications Fifth Edition*. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC. United States.