

Hubungan Klasifikasi *RMR* dan Faktor Keamanan Terhadap Penentuan Geometri Lereng Tambang Terbuka (Studi Kasus: Tambang Terbuka Batubara Desa Kebur, Kecamatan Merapi Barat, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan)

Rahmad Dwi Prasetyo¹, Fikri Faris², Ahmad Rifa'i³

^{1,2,3}Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
Email: rahmad.dwi.prasetyo@mail.ugm.ac.id

Diterima redaksi: 27 September 2022 | Selesai revisi: 31 Oktober 2022 | Diterbitkan *online*: 31 Oktober 2022

ABSTRAK

Klasifikasi *Rock Mass Rating* (*RMR*) merupakan salah satu klasifikasi yang digunakan dalam klasifikasi massa batuan. Geometri massa batuan di suatu lereng perlu diperhatikan dalam analisis kestabilan lereng. Rekomendasi geometri lereng diperlukan untuk mendapatkan faktor keamanan lereng yang aman dan stabil dalam kondisi statis, dinamis, maupun probabilitas sesuai *KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018*. Penelitian ini dilakukan di lokasi Izin Usaha Pertambangan (*IUP*) tambang terbuka batubara Desa Kebur, Kecamatan Merapi Barat, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan. Prosedur penelitian ini dilakukan dengan pengumpulan data sekunder sebagai data dasar untuk analisis klasifikasi *RMR* dan nilai faktor keamanan setiap area *PIT*. Analisis *RMR* menggunakan klasifikasi Bieniawski tahun 1989, sedangkan nilai faktor keamanan didapatkan dari analisis kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas *Spencer* dengan bantuan *software SLIDE*. Hasil analisis yang didapatkan adalah urutan kelas massa batuan berdasarkan klasifikasi *RMR* dari yang paling baik adalah *PIT-4*, *PIT-2*, *PIT-1*, *PIT-5*, dan *PIT-3*. Berdasarkan nilai faktor keamanan, *PIT-2* dan *PIT-4* tidak memerlukan adanya perubahan geometri lereng, sedangkan *PIT-1*, *PIT-5*, dan *PIT-3* memerlukan adanya perubahan geometri lereng. Semakin baik kelas massa batuan, maka nilai faktor keamanan semakin tinggi, sehingga geometri lereng tidak memerlukan perubahan. Rekomendasi geometri lereng yang digunakan adalah lereng asli untuk *PIT-2* dan *PIT-4*, lereng dengan kemiringan geometri 55° untuk *PIT-1*, dan lereng dengan kemiringan geometri 50° untuk *PIT-3* dan *PIT-5*.

Kata kunci: *Rock Mass Rating*, faktor keamanan, geometri lereng, tambang terbuka.

ABSTRACT

Rock Mass Rating (RMR) classification is one of the classifications used in rock mass classification. The geometry of the rock mass on a slope needs to be considered in the analysis of slope stability. Slope geometry recommendations are needed to obtain a safe and stable slope safety factor in static, dynamic, and probability conditions according to KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018. This research was conducted at the location of the open-pit coal mining Mining Business Permit (IUP) in Kebur Village, West Merapi District, Lahat Regency, South Sumatra Province. The procedure of this research was carried out by collecting secondary data as basic data for the analysis of the RMR classification and the value of the safety factor for each PIT area. The RMR analysis used the Bieniawski classification in 1989, while the value of the safety factor was obtained from the slope stability analysis using the Spencer limit equilibrium method with the help of SLIDE software. The results of the analysis obtained are the order of rock mass classes based on the RMR classification from the best to PIT-4, PIT-2, PIT-1, PIT-5, and PIT-3. Based on the value of the safety factor, PIT-2 and PIT-4 do not



require a change in slope geometry, while PIT-1, PIT-5, and PIT-3 require a change in slope geometry. The better the rock mass class, the higher the safety factor value, so that the slope geometry does not require changes. The recommended slope geometry used is the original slope for PIT-2 and PIT-4, a slope with a geometric slope of 55° for PIT-1, and a slope with a geometric slope of 50° for PIT-3 and PIT-5.

Keywords: Rock Mass Rating, safety factor, slope geometry, open pit mine.

1. Pendahuluan

Klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) merupakan salah satu klasifikasi massa batuan yang dipublikasikan oleh Bieniawski pada tahun 1989. Penilaian dari setiap parameter yang digunakan dalam klasifikasi ini dilakukan pembobotan sehingga diperoleh kelas massa batuan. Parameter yang digunakan adalah kuat tekan batuan, nilai *Rock Quality Designation* (RQD), kondisi bidang diskontinuitas, spasi bidang diskontinuitas, kondisi air tanah, dan orientasi bidang diskontinuitas [1]

Kestabilan lereng, baik alami, buatan, dan timbunan dipengaruhi oleh faktor gaya penggerak dan gaya penahan lereng. Dalam kondisi gaya penahan lebih besar daripada gaya penggerak, maka lereng akan berada dalam kondisi stabil atau aman. Lereng akan tidak stabil dan mengalami kelongsoran jika gaya penahan lebih kecil daripada gaya penggerak [2].

Geometri massa batuan yang berada di belakang permukaan lereng menjadi hal yang perlu diperhatikan dalam analisis kestabilan lereng. Pengaruh signifikan dalam kestabilan lereng adalah kuat geser batuan di permukaan bidang gelincir. Kuat geser batuan ini terdiri dari kohesi dan sudut gesek dalam [3].

Tambang terbuka batubara yang berada di Desa Kebur, Kecamatan Merapi Barat, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Barat memiliki sifat fisik dan mekanik yang beragam, karena tersusun atas beberapa material batuan sedimen. Kondisi muka air tanah yang relatif tinggi dan kegiatan pertambangan batubara yang berlangsung terus menerus akan memengaruhi kestabilan lereng tambang terbuka. Batubara sebagai komoditas tambang di lokasi ini memiliki sifat *brittle*, sehingga perlu mendapat perhatian lebih.

Rekomendasi geometri lereng diperlukan untuk mendapatkan faktor keamanan lereng

yang aman dan stabil dalam kondisi statis, dinamis, maupun probabilitas sesuai KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018. Nilai sifat fisik dan mekanik sebagai parameter analisis kestabilan lereng dan kondisi bidang diskontinuitas sebagai parameter klasifikasi RMR memiliki nilai yang beragam karena lokasi tersusun atas beberapa material batuan sedimen sehingga memerlukan adanya penelitian mengenai hubungan klasifikasi RMR dan faktor keamanan dalam penentuan geometri lereng tambang terbuka batubara, khususnya di lokasi Desa Kebur, Kecamatan Merapi Barat, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Barat.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Rock Mass Rating (RMR)

Kekuatan material batuan utuh yang didapatkan baik dari inti batuan utuh maupun di lapangan secara langsung dapat diukur dengan dua metode, yaitu *compressive strength* dan *point load strength* [1]. Pembobotan setiap nilai kuat tekan batuan sesuai dalam Tabel 1.

Tabel 1. Pembobotan kekuatan material batuan

Deskripsi	Compressive Strength (MPa)	Point Load Strength (MPa)	Bobot
Kuat sekali	>250	8	15
Sangat kuat	100 – 250	4 – 8	12
Kuat	50 – 100	2 – 4	7
Menengah	25 – 50	1 – 2	4
Lemah	10 – 25	Lebih baik menggunakan compressive strength	2
Sangat lemah	2 – 10	Lebih baik menggunakan compressive strength	1
Lemah sekali	1 – 2	Lebih baik menggunakan compressive strength	0

Sumber: Bieniawski, 1989

Rock Quality Designation (RQD) adalah persentase dari bagian-bagian yang utuh dari inti batuan (*core*) yang memiliki ukuran 100 mm (4 inch) [4]. Pembobotan setiap kelas massa batuan sesuai dalam Tabel 2.

Tabel 2. Pembobotan nilai RQD

RQD (%)	Kualitas Massa Batuan	Bobot
90 – 100	Excellent	20
75 – 90	Good	17
50 – 75	Fair	13
25 – 50	Poor	8
0 – 25	Very Poor	3

Sumber: Bieniawski, 1989

Kondisi bidang diskontinuitas terdiri dari kemenerusan, kekasaran permukaan, pelapukan, bukaan dan isian [5]. Pembobotan setiap kondisi diskontinuitas sesuai dalam Tabel 3.

Tabel 3. Pembobotan kondisi diskontinuitas

Parameter	Kelas				
Kemenerusan (m)	<1	1 – 3	3 – 10	10 – 20	>20
Bobot	6	4	2	1	0
Bukaan (mm)	Tidak ada	<0,1	0,1 – 1	1 – 5	>5
Bobot	6	5	4	1	0
Kekasaran	Sangat kasar	Kasar	Sedikit kasar	Halus	Sangat halus
Bobot	6	5	3	1	0
Isian	Tidak ada	Isian keras <5 mm	Isian keras >5 mm	Isian lunak <5 mm	Isian lunak >5 mm
Bobot	6	4	2	2	0
Pelapukan	Tidak lapuk	Sedikit lapuk	Lapuk	Sangat lapuk	Hancur
Bobot	6	5	3	1	0

Sumber: Bieniawski, 1989

Spasi bidang diskontinuitas merupakan jarak linear dua bidang diskontinuitas yang berdekatan. Pengukuran spasi bidang diskontinuitas dilakukan pada semua set diskontinuitas [5]. Pembobotan setiap spasi diskontinuitas sesuai dalam Tabel 4.

Tabel 4. Pembobotan spasi diskontinuitas

Kedudukan Diskontinuitas	Spasi (m)	Bobot
Sangat lebar	>2	20
Lebar	0,6 – 2	15
Sedang	0,2 – 0,6	10
Rapat	0,06 – 0,2	8
Sangat rapat	<0,06	5

Sumber: Bieniawski, 1989

Pengukuran debit aliran air tanah secara teori dapat untuk menentukan kondisi air tanah [5]. Pembobotan setiap kondisi air tanah sesuai dalam Tabel 5.

Tabel 5. Pembobotan kondisi air tanah

Inflow/10 m panjang terowongan (lit/mnt)	Tidak ada	<10	10 – 25	25 – 125	>125
Tekanan air /tegangan utama dominan	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	>0,5
Kedudukan umum	Kering	Lembah	Barah	Meneter	Mengalir
Bobot	15	10	7	4	0

Sumber: Bieniawski, 1989

Orientasi diskontinuitas terdiri dari jurus dan kemiringan diskontinuitas. Jurus harus diukur dengan titik nol berada pada arah utara magnet, sedangkan dip adalah sudut yang terbentuk antara bidang horisontal dan bidang diskontinuitas [5]. Klasifikasi orientasi diskontinuitas mengacu pada Tabel 6.

Tabel 6. Klasifikasi orientasi diskontinuitas

Strike tegak lurus sumbu terowongan Searah dengan dip				Strike sejajar sumbu terowongan		Irrespective Strike
Berlawanan dengan dip						
Dip 45° – 90°	Dip 20° – 45°	Dip 45° – 90°	Dip 20° – 45°	Dip 20° – 45°	Dip 45° – 90°	Dip 0° – 20°
Sangat baik	Baik	Cukup baik	Tidak baik	Cukup	Sangat tidak baik	Cukup

Sumber: Bieniawski, 1989

Setelah dilakukan klasifikasi, kemudian pembobotan dilakukan sesuai dengan aplikasi di lapangan, yaitu untuk terowongan, fondasi, atau lereng sesuai dalam Tabel 7.

Tabel 7. Pembobotan orientasi diskontinuitas

Penilaian arah kekar	Sangat baik	Baik	Cukup	Tidak baik	Sangat tidak baik
Terowongan	0	-2	-5	-10	-12
Fondasi	0	-2	-7	-15	-25
Lereng	0	-2	-25	-50	-60

Sumber: Bieniawski, 1989

Pembobotan dari setiap parameter dilakukan penjumlahan sehingga didapatkan nilai Rock Mass Rating (RMR) untuk menentukan kelas massa batuan sesuai dalam Tabel 8.

Tabel 8. Kelas massa batuan klasifikasi RMR

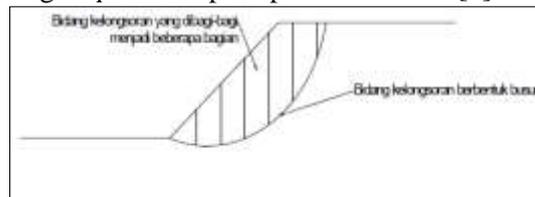
Parameter Massa Batuan	Rock Mass Rating				
Pembobotan	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21	0 – 20
Nomor Kelas	I	II	III	IV	V
Klasifikasi massa batuan	Sangat baik	Baik	Cukup	Buruk	Sangat buruk

Sumber: Bieniawski, 1989

2.2. Faktor Keamanan Lereng

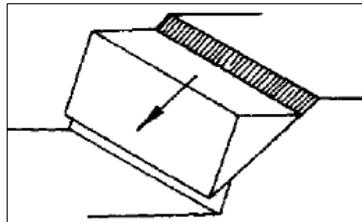
Pemotongan lereng massa batuan di lokasi penambangan merupakan salah satu usaha pengembangan infrastruktur untuk menunjang kegiatan penambangan. Pemotongan lereng massa batuan dapat mengakibatkan kestabilan massa batuan terganggu. Lokasi pemotongan massa batuan, terlebih di lokasi yang terdapat aktivitas manusia dan memiliki resiko tinggi dalam kegiatan penambangan memerlukan analisis kestabilan lereng [6].

Metode kesetimbangan batas merupakan salah satu metode yang digunakan untuk analisis kestabilan lereng. Ada dua asumsi bidang longsor dalam metode ini, yaitu bidang longsor circular seperti pada Gambar 1 dan bidang longsor non-circular, dapat berupa bidang longsor planar seperti pada Gambar 2 [7].



Gambar 1. Bidang longsor circular

Sumber: Liong, 2012



Gambar 2. Bidang longsoran planar
 Sumber: Hoek & Bray, 1989

Terzaghi mengembangkan metode yang mengabaikan penerapan kekuatan statis tambahan di atas lereng dan sifat siklik gempa, yaitu metode pseudostatis. Beban gempa disimulasikan berupa gaya horisontal dan vertikal, dengan arah vertikal $k_h = 0$. Berdasarkan analisis [8] dengan percepatan hasil k_h sama dengan 50% dari PGA, menunjukkan bahwa hasil perpindahan seismik akan kurang dari 1 m [9]. Berdasarkan hal tersebut, maka Departemen Pertambangan dan Geologi California (CDMG) menyatakan bahwa koefisien seismik k_h diperoleh dengan persamaan sebagai berikut [9].

$$k_h = 0.5 \frac{a_d}{g} \tag{1}$$

Dimana:

k_h = koefisien gempa arah horisontal

a_d = percepatan gempa permukaan terkoreksi (cm/det²)

g = gravitasi (cm/det²)

Tingkat kestabilan suatu lereng dinyatakan dengan istilah yang dikenal dengan faktor keamanan atau *safety factor*. Faktor keamanan merupakan nilai yang dapat digunakan untuk mengetahui kemantapan suatu lereng, sehingga kelongsoran yang sewaktu-waktu terjadi dapat dilakukan pencegahan yang tepat dan cepat (Irwandy, 2014).

KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018 membagi kriteria keparahan longsor dalam tiga kelas, yaitu rendah, menengah, dan tinggi. Ketiga kelas ini dibagi berdasarkan konsekuensi yang didapatkan apabila terjadi kelongsoran [10].

Batas minimal dan maksimal nilai faktor keamanan baik statis, dinamis, maupun probabilitas yang ditentukan dalam KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018 berdasarkan jenis lereng dan tingkat keparahan longsor, seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor lereng tambang

Jenis Lereng	Keparahan Longsor	Kriteria Dapat Diterima		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (Min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (Min)	Probabilitas Longsor (Maks)
Lereng Tunggal	Rendah s-d	1,1	Tidak ada	25 – 50%
	Tinggi	1,15 – 1,2	1,0	25%
Inter-ramp	Rendah	1,2 – 1,3	1,0	20%
	Menengah	1,2 – 1,3	1,1	10%
Lereng Kelembutan	Rendah	1,2 – 1,3	1,0	15 – 20%
	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3 – 1,5	1,1	5%

Sumber: Kementerian ESDM, 2018

3. Metodologi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kawasan Izin Usaha Pertambangan (IUP) tambang terbuka batubara Desa Kebur, Kecamatan Merapi Barat, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan. Penelitian ini menggunakan data sekunder yang didapatkan dari instansi-instansi terkait di lokasi penelitian. Secara rinci data yang digunakan dalam penelitian ini tercantum dalam Tabel 10 sebagai berikut.

Tabel 10. Daftar data penelitian

No	Data	Jenis	Sumber
1	Data geologi	Sekunder	LENUSA Consulting
2	Data hidrogeologi	Sekunder	LENUSA Consulting
3	Data pengeboran	Sekunder	LENUSA Consulting
4	Data pengujian laboratorium	Sekunder	LENUSA Consulting, PT. Rancaban Pejuru Mineral, PT. Quanus Consultants Indonesia
5	Data geologi regional	Sekunder	Peta Geologi Regional Lembang Lahat
6	Peta kondisi tambang	Sekunder	PT. Dizamatra Powerindo & ESDM OneMap

Sumber: Hasil analisis, 2022

Standar nilai faktor keamanan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018. Nilai faktor keamanan dihasilkan dari analisis kesetimbangan batas menggunakan bantuan *software SLIDE*.

Data-data yang tersedia dilakukan analisis dengan prosedur sebagai berikut:

1. Analisis *Rock Mass Rating* (RMR) dengan pembobotan menggunakan data inti batuan yang berjumlah 10 titik pengeboran yang tersebar dalam 5 PIT.
2. Mengolah nilai dan kelas massa batuan RMR setiap titik pengeboran menjadi persentase kelas massa batuan setiap PIT.
3. Analisis kestabilan lereng di setiap area PIT menggunakan metode kesetimbangan batas *Spencer*, dengan kondisi bidang gelincir dalam analisis menggunakan tipe bidang gelincir *non-circular*, dengan *surface search* berupa *auto-refine search* menggunakan bantuan *software SLIDE*
4. Analisis kondisi dinamis menggunakan beban gempa sebesar 0.1355g, merupakan 50% dari nilai *Peak Ground*

Acceleration (PGA) yang didapatkan dari Desain Spektra Indonesia yang dibuat oleh PUSKIM Kementerian PUPR.

5. Membuat grafik hubungan antara kelas massa batuan hasil dari klasifikasi *RMR* dan faktor keamanan hasil dari analisis kestabilan lereng di setiap area *PIT*.
6. Membuat rekomendasi geometri lereng untuk setiap area, agar aman sesuai batas KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018.

4. Analisis dan Pembahasan

Area Izin Usaha Pertambangan (IUP) di lokasi penelitian dibagi menjadi lima area bukaan tambang, yaitu *PIT-1*, *PIT-2*, *PIT-3*, *PIT-4*, dan *PIT-5* yang berurutan dari timur ke barat. Setiap *PIT* memiliki karakteristik geologi, hidrogeologi, dan geoteknik yang beragam. Pengeboran yang menyebar di setiap *PIT* dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik setiap *PIT*. Total 10 titik pengeboran dilakukan di lokasi penelitian. Lokasi titik pengeboran, batas – batas *PIT*, dan batas IUP di lokasi penelitian dapat dilihat dalam Gambar 3.



Gambar 3. Kondisi lokasi penelitian

Sumber: Hasil analisis, 2022

4.1. Klasifikasi Rock Mass Rating (RMR)

Analisis *RMR* menggunakan data inti batuan hasil dari setiap titik pengeboran yang tersebar di semua area *PIT*. Hasil klasifikasi massa batuan yang didapatkan adalah persentase kelas massa batuan, dari *very good*, *good*, *fair*, *poor*, dan *very poor*.

Area *PIT-4* merupakan area yang memiliki persentase nilai *RMR* yang paling baik, dengan kelas massa batuan *good* sebesar 4%, *fair* sebesar 90%, dan *poor* sebesar 6%. Urutan selanjutnya adalah area *PIT-2* dengan persentase kelas massa batuan *fair* sebesar 73%

dan *poor* sebesar 27%. Area *PIT-1* berada di urutan ketiga dengan persentase *fair* sebesar 71% dan *poor* sebesar 29%. Persentase kelas massa batuan *poor* semakin besar dimiliki oleh *PIT-5* sebesar 31%, diikuti *fair* sebesar 68% dan *good* sebesar 1%. Area *PIT-3* merupakan area dengan kelas massa batuan paling buruk, dengan persentase kelas *fair* sebesar 47% dan *good* sebesar 53%. Secara lengkap, urutan kelas massa batuan dari yang paling baik hingga yang paling buruk secara berurutan adalah *PIT-4*, *PIT-2*, *PIT-1*, *PIT-5*, dan *PIT-3* sesuai dalam Tabel 11.

Tabel 11. Kelas massa batuan berdasarkan klasifikasi RMR

Klasifikasi	PIT-1	PIT-2	PIT-3	PIT-4	PIT-5
Very Good	0%	0%	0%	0%	0%
Good	0%	0%	0%	4%	1%
Fair	71%	73%	53%	90%	68%
Poor	29%	27%	47%	6%	31%
Very Poor	0%	0%	0%	0%	0%
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Urutan kelas	3	2	5	1	4

Sumber: Hasil analisis, 2022

4.2. Faktor Keamanan Lereng Asli

Faktor keamanan lereng asli didapatkan dari hasil analisis kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas *Spencer* dengan bantuan *software SLIDE*. Geometri yang digunakan untuk menghitung nilai faktor keamanan ini adalah geometri asli dari desain lereng *final*. Sayatan A-A' mewakili area PIT-1, sayatan B-B' mewakili area PIT-2, sayatan C-C' mewakili area PIT-3, sayatan D-D'

mewakili area PIT-4, dan sayatan E-E' mewakili area PIT-5. Berdasarkan KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018, hanya area PIT-1 dan PIT-4 yang tidak memerlukan adanya perubahan geometri lereng. Area PIT-1, PIT-3, dan PIT-5 memerlukan adanya perubahan geometri lereng. Secara lengkap, nilai faktor keamanan dari setiap area PIT dapat dilihat dalam Tabel 12.

Tabel 12. Rekapitulasi nilai faktor keamanan lereng asli

Area	Sayatan	Geometri	Metode Kesetimbangan Batas			Metode Elemen Hingga	Keterangan
			Statis	Dinamis	Probabilitas		
PIT-1	A-A'	Asli	1.372	1.079	0	1.28	Tidak Aman
PIT-2	B-B'	Asli	1.527	1.245	0	1.6	Aman
PIT-3	C-C'	Asli	1.469	1.041	0	1.34	Tidak Aman
PIT-4	D-D'	Asli	1.548	1.227	0	1.6	Aman
PIT-5	E-E'	Asli	1.189	0.955	0	1.14	Tidak Aman

Sumber: Hasil analisis, 2022

4.3. Faktor Keamanan Rekomendasi Geometri Lereng 55°

Area PIT-1, PIT-3, dan PIT-5 yang masih belum aman sesuai KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018 memerlukan perubahan geometri menjadi lebih landai. Kemiringan lereng tunggal menjadi 55° dilakukan di ketiga area tersebut. Hasil nilai faktor keamanan yang

didapatkan menggunakan geometri yang memiliki kemiringan lereng sebesar 55° adalah aman untuk area PIT-1, tetapi untuk area PIT-3, dan PIT-5 masih belum aman. Secara lengkap, hasil nilai faktor keamanan dengan geometri kemiringan lereng sebesar 55° seperti dalam Tabel 13.

Tabel 13. Rekapitulasi nilai faktor keamanan rekomendasi geometri lereng 55°

Area	Sayatan	Geometri	Metode Kesetimbangan Batas			Metode Elemen Hingga	Keterangan
			Statis	Dinamis	Probabilitas		
PIT-1	A-A'	55°	1.575	1.206	0	1.14	Aman
PIT-3	C-C'	55°	1.47	1.043	0	1	Tidak Aman
PIT-5	F-F'	55°	1.439	1.196	0,1	0,97	Tidak Aman

Sumber: Hasil analisis, 2022

4.4. Faktor Keamanan Rekomendasi Geometri Lereng 50°

Perubahan geometri lereng menjadi 50° diperlukan di area PIT-3 dan PIT-5 yang masih belum aman menggunakan geometri lereng sebesar 55°. Hasil analisis dari kedua area ini

aman sesuai dengan KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018 menggunakan geometri kemiringan lereng 50°. Secara lengkap, hasil nilai faktor keamanan kedua area dapat dilihat dalam Tabel 14.

Tabel 14. Rekapitulasi nilai faktor keamanan rekomendasi geometri lereng 50°

Area	Sayatan	Geometri	Metode Kesetimbangan Batas			Metode Elemen Hingga	Keterangan
			Statis	Dinamis	Probabilitas		
PIT-3	C-C'	50°	1.733	1.291	0	1.13	Aman
PIT-5	F-F'	50°	1.513	1.225	0	1.18	Aman

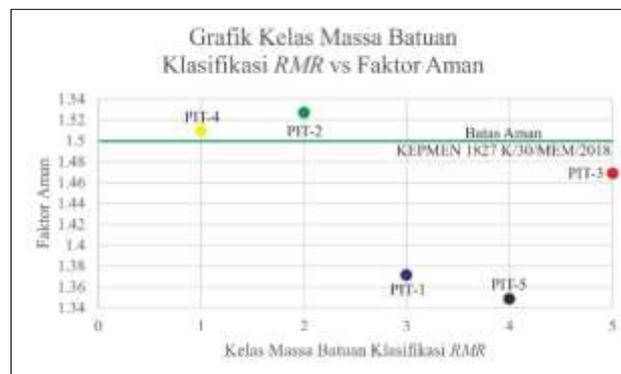
Sumber: Hasil analisis, 2022

4.3. Hubungan Klasifikasi RMR dan Faktor Keamanan

Kondisi lokasi penelitian tidak didominasi dengan adanya struktur geologi yang kompleks, dibuktikan dengan tidak adanya

struktur geologi sekunder berupa kekar, sesar, maupun lipatan. Bidang diskontinuitas yang ditemukan di lokasi penelitian berupa perlapisan batuan. Faktor aman yang diperoleh dari analisis kestabilan lereng di setiap area hanya dipengaruhi oleh kelas massa batuan di setiap area. Oleh karena itu, kelas massa batuan yang didapatkan dari klasifikasi *RMR* memiliki hubungan dengan faktor aman lereng yang dihasilkan. Hubungan klasifikasi *RMR* dan faktor keamanan seperti ditampilkan dalam Gambar 4, menunjukkan bahwa area *PIT-4* dan *PIT-2* yang merupakan area dengan urutan

kelas massa batuan pertama dan kedua memiliki faktor keamanan yang tinggi dan berada di atas batas aman menurut KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018. Kedua area ini tentunya tidak memerlukan adanya perubahan geometri lereng. Tiga area yang berada di urutan kelas massa batuan ketiga hingga kelima, yaitu area *PIT-1*, *PIT-3*, dan *PIT-5* memiliki nilai faktor keamanan yang relatif rendah dan berada di bawah batas aman KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018. Ketiga area ini memerlukan adanya perubahan geometri lereng.



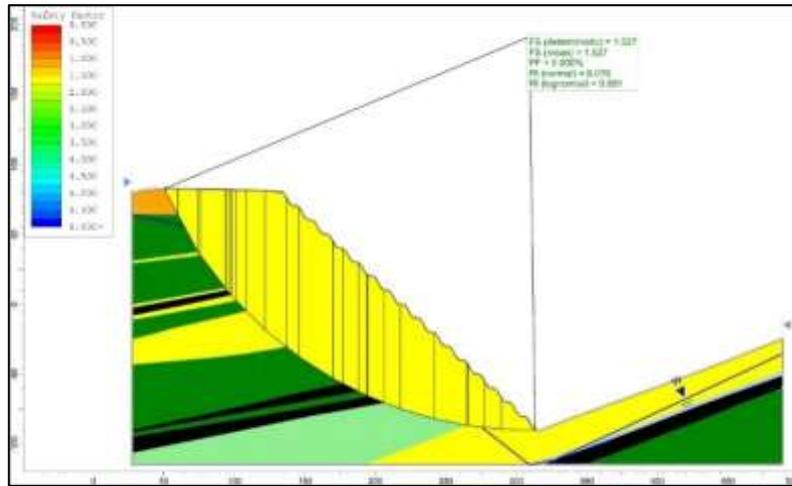
Gambar 4. Grafik hubungan kelas massa batuan klasifikasi *RMR* dan faktor keamanan
Sumber: Hasil analisis, 2022

Oleh karena itu, dapat diperoleh hubungan antara klasifikasi *RMR* dan faktor keamanan lereng terhadap penentuan geometri lereng tambang terbuka sebagai berikut:

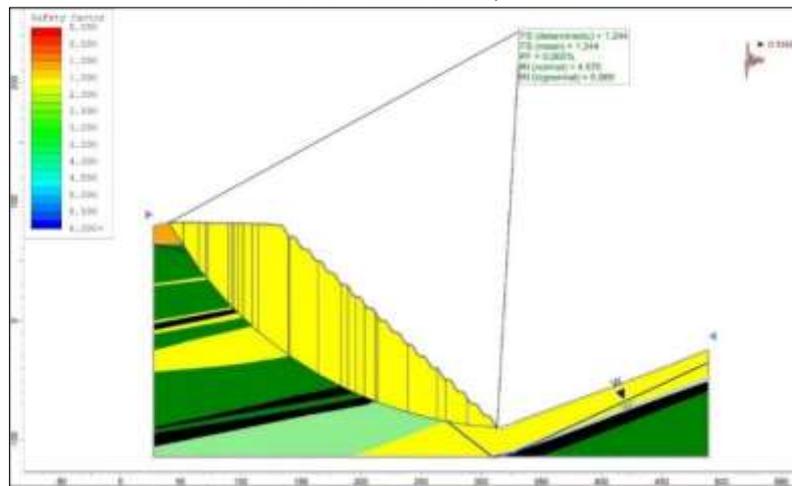
1. Semakin baik kelas massa batuan yang dihasilkan dari klasifikasi *RMR*, semakin tinggi nilai faktor keamanan lereng, dan sebaliknya.
2. Kelas massa batuan yang baik dan nilai faktor keamanan lereng yang tinggi membuat geometri lereng aman menurut KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018 dan tidak memerlukan perubahan geometri.
3. Kelas massa batuan yang buruk dan nilai faktor keamanan lereng yang rendah membuat geometri lereng tidak aman menurut KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018 dan memerlukan perubahan geometri.

4.4. Rekomendasi Geometri Lereng Aman

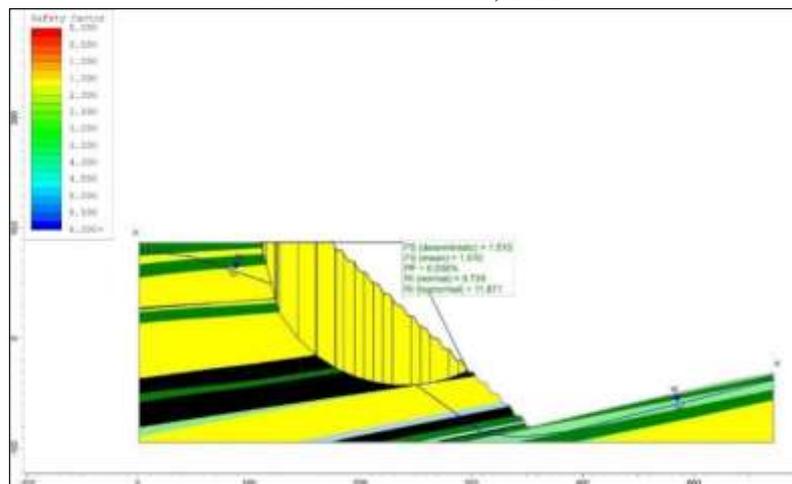
Geometri yang digunakan dan nilai faktor keamanan untuk setiap area *PIT* berbeda-beda, yaitu *PIT-2* sesuai dalam Gambar 5 dan 6 serta *PIT-4* seperti dalam Gambar 7 dan 8 menggunakan geometri lereng asli desain lereng *final*, *PIT-1* sesuai pada Gambar 9 dan 10 menggunakan geometri lereng 55°, *PIT-3* sesuai pada Gambar 11 dan 12 serta *PIT-5* seperti pada Gambar 13 dan 145 menggunakan geometri lereng 50°. Geometri lereng berdasarkan hasil klasifikasi *RMR* dan nilai faktor keamanan di setiap area *PIT* sesuai dalam Tabel 15.



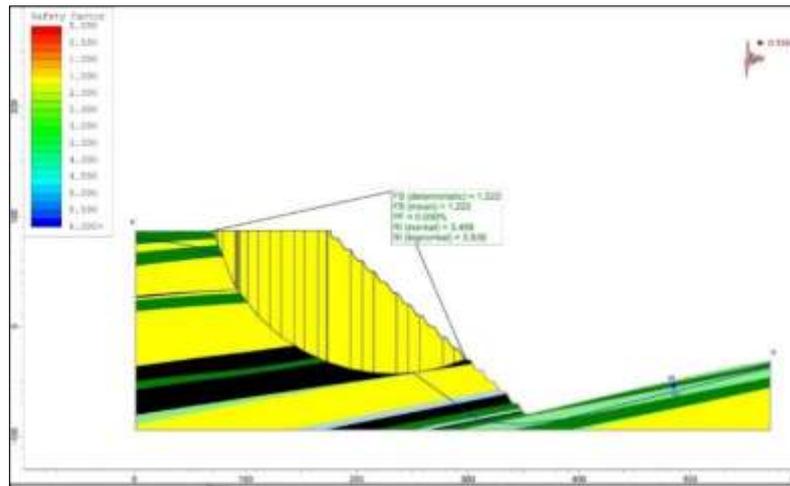
Gambar 5. Hasil nilai faktor keamanan dan rekomendasi geometri lereng asli area PIT-2 kondisi statis
 Sumber: Hasil analisis, 2022



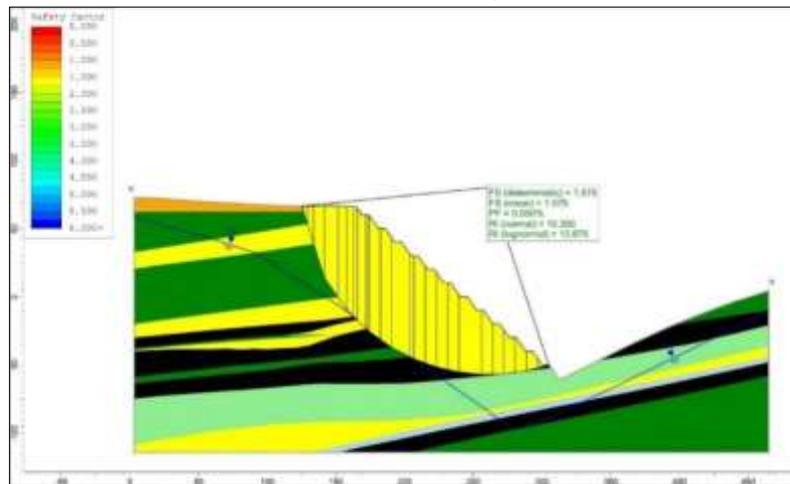
Gambar 6. Hasil nilai faktor keamanan dan rekomendasi geometri lereng asli area PIT-2 kondisi dinamis
 Sumber: Hasil analisis, 2022



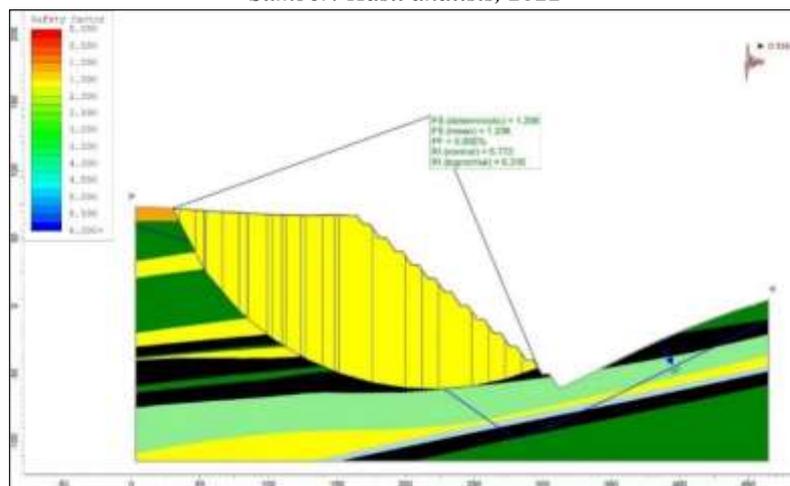
Gambar 7. Hasil nilai faktor keamanan dan rekomendasi geometri lereng asli area PIT-4 kondisi statis
 Sumber: Hasil analisis, 2022



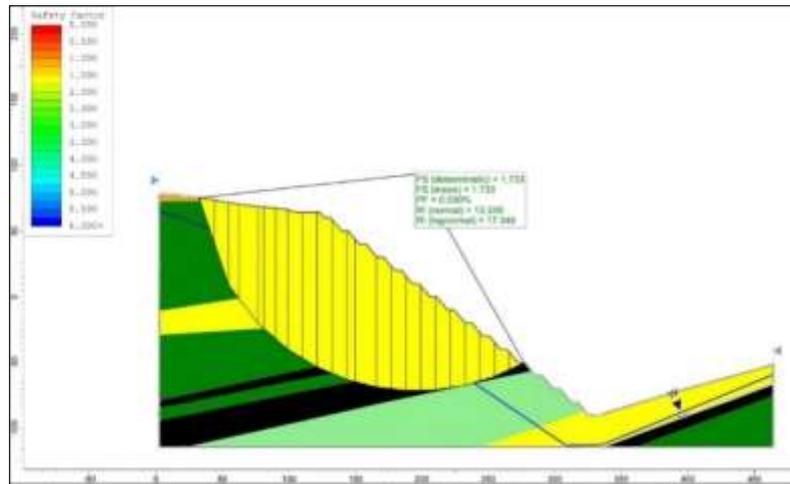
Gambar 8. Hasil nilai faktor keamanan dan rekomendasi geometri lereng asli area PIT-4 kondisi dinamis
 Sumber: Hasil analisis, 2022



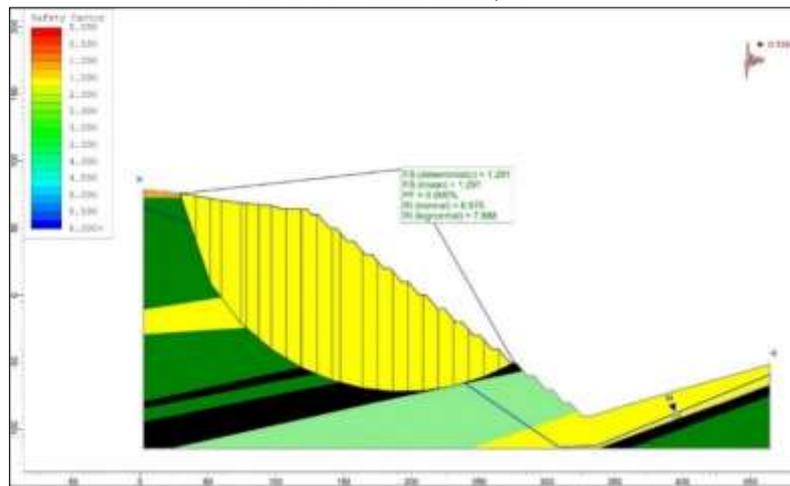
Gambar 9. Hasil nilai faktor keamanan dan rekomendasi geometri lereng 55° area PIT-1 kondisi statis
 Sumber: Hasil analisis, 2022



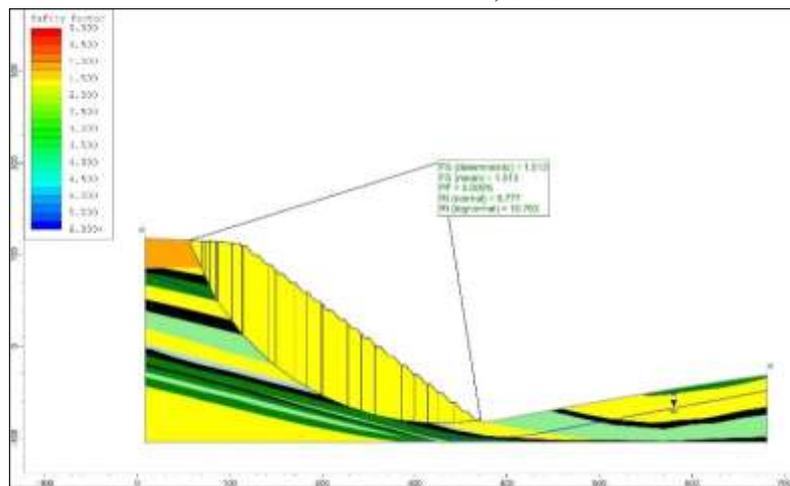
Gambar 10. Hasil nilai faktor keamanan dan rekomendasi geometri lereng 55° area PIT-1 kondisi dinamis
 Sumber: Hasil analisis, 2022



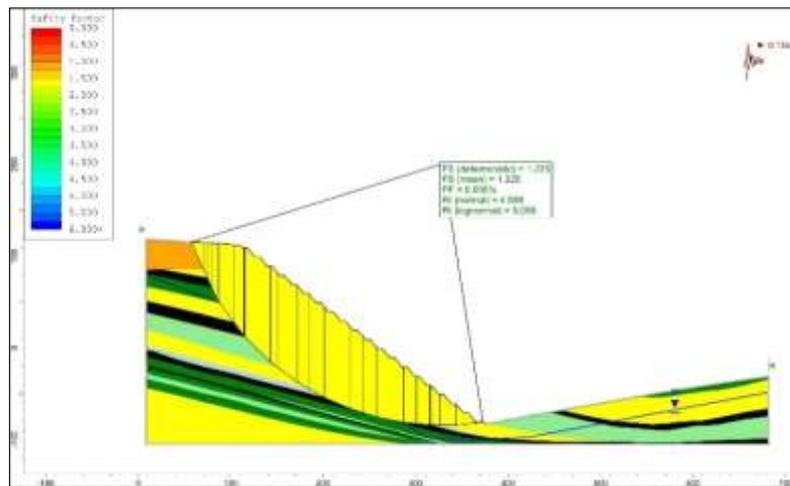
Gambar 11. Hasil nilai faktor keamanan dan rekomendasi geometri lereng 50° area PIT-3 kondisi statis
Sumber: Hasil analisis, 2022



Gambar 12. Hasil nilai faktor keamanan dan rekomendasi geometri lereng 50° area PIT-3 kondisi dinamis
Sumber: Hasil analisis, 2022



Gambar 13. Hasil nilai faktor keamanan dan rekomendasi geometri lereng 50° area PIT-5 kondisi statis
Sumber: Hasil analisis, 2022



Gambar 14. Hasil nilai faktor keamanan dan rekomendasi geometri lereng 50° area PIT-5 kondisi dinamis
 Sumber: Hasil analisis, 2022

Tabel 15. Rekapitulasi nilai faktor keamanan rekomendasi geometri lereng aman

Area	Sayatan	Geometri	Metode Kesetimbangan Batas			Metode Elemen Hingga	Keterangan
			Statis	Dinamis	Probabilitas		
PIT-1	A-A'	55°	1.575	1.206	0	1.14	Aman
PIT-2	B-B'	Asli	1.527	1.245	0	1.6	Aman
PIT-3	C-C'	50°	1.733	1.291	0	1.13	Aman
PIT-4	D-D'	Asli	1.548	1.227	0	1.6	Aman
PIT-5	F-F'	50°	1.513	1.225	0	1.18	Aman

Sumber: Hasil analisis, 2022

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Urutan kelas massa batuan berdasarkan analisis klasifikasi RMR dari yang paling baik adalah PIT-4, PIT-2, PIT-1, PIT-5, dan PIT-3.
2. Area PIT-2 dan PIT-4 tidak memerlukan adanya perubahan geometri lereng berdasarkan nilai faktor keamanan.
3. Area PIT-1, PIT-5, dan PIT-3 memerlukan adanya perubahan geometri lereng berdasarkan nilai faktor keamanan.
4. Semakin baik kelas massa batuan, maka nilai faktor keamanan semakin tinggi, dan sebaliknya.
5. Semakin baik kelas massa batuan dan semakin tinggi nilai faktor keamanan, geometri lereng tidak memerlukan perubahan, dan sebaliknya.
6. Rekomendasi geometri lereng yang digunakan adalah lereng asli untuk PIT-2 dan PIT-4, lereng dengan kemiringan geometri 55° untuk PIT-1, dan lereng dengan kemiringan geometri 50° untuk PIT-3 dan PIT-5.

5.2. Saran

Geometri lereng yang direkomendasikan hanya membuat lereng aman sesuai dengan ketentuan KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018, belum memperhatikan tingkat keefektifan dan keekonomisan kegiatan pertambangan. Perlu adanya kajian lagi yang menggabungkan hasil desain lereng aman sesuai ketentuan KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018 dan kegiatan pertambangan.

6. Daftar Pustaka

- [1] Z. T. Bieniawski, *Engineering Rock Mass Classifications*. 1989.
- [2] A. Irwandy, *Geoteknik Tambang*. 2014.
- [3] D. CWyllie and C. WMah, "Rock Slope Engineering: Civil and Mining, 4th Edition," 2004.
- [4] D. U. Deere and D. W. Deere, "Rock Quality Designation (RQD) After Twenty Years," 1989.
- [5] J. (John A.) Hudson and J. P. Harrison, *Engineering rock mechanics : an introduction to the principles*. Pergamon, 1997.

- [6] W. Satrio, M. Rinaldi, M. Ammar Azzam, Z. Zakaria, and I. Sophian, "Kajian Kestabilan Lereng Batuan Menggunakan Klasifikasi Massa Batuan, Metode Elemen Hingga, dan Analisis Batuan Jatuh," 2018.
- [7] I. Gouw, T. Liong, M. Eng, D. Juven, and G. Herman, "Analisa Stabilitas Lereng Limit Equilibrium vs Finite Element Method," 2012.
- [8] E. Hoek and J. W. Bray, "Rock Slopes: Design, Excavation, Stabilization," 1989.
- [9] A. Fakhruddin Shobari, I. J. Mufti, N. Khoirullah, Z. Zakaria, R. I. Sophian, and A. Mulyo, "Hubungan Nilai Koefisien Gempa Horizontal (K_h) dengan Nilai Safety Factor (FS) Daerah Cilengkrang, Jawa Barat," 2019.
- [10] Kementrian ESDM, "Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K 30 MEM 2018," 2018.