

Pengembangan Metode SMR dengan Koreksi RMR₈₉: Peningkatan Akurasi Analisis Kestabilan Lereng Andesit di Ruas Jalan Goa Jepang, Jelapan, Bantul.

Arie Noor Rakhman ^{*1}, Fivry Wellda Maulana² dan Jarwanto³

1-3 Universitas AKPRIND Indonesia Yogyakarta

Jl. Kalisahak No. 28, Kompleks Balapan, Yogyakarta 55222

arie_rakhman@akprind.ac.id; fivry@akprind.ac.id; jarwanbjb@gmail.com

Abstrak

Stabilitas lereng merupakan aspek krusial dalam perencanaan infrastruktur, terutama di daerah dengan kondisi geologi kompleks. Penelitian ini berfokus pada analisis stabilitas lereng di Ruas Jalan Goa Jepang, Jelapan, Bantul, yang tersusun oleh batuan andesit dari Formasi Nglanggran dengan zona diskontinuitas geologi yang berpotensi menyebabkan ketidakstabilan lereng. Untuk mengevaluasi stabilitas lereng, digunakan metode Slope Mass Rating (SMR) yang dikembangkan dari Rock Mass Rating (RMR). Metode ini mempertimbangkan faktor koreksi orientasi diskontinuitas terhadap lereng guna memberikan hasil yang lebih representatif. Data diperoleh melalui survei geologi lapangan dan pengujian laboratorium, mencakup parameter geoteknik seperti kekuatan batuan, kondisi diskontinuitas, serta orientasi bidang lemah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai SMR berkisar antara 75,39 hingga 87,03, mengindikasikan kualitas massa batuan dalam kategori sedang hingga sangat baik. Korelasi antara RMR₇₉ dan SMR lebih tinggi ($R = 0,846$) dibandingkan dengan RMR₈₉ dan SMR ($R = 0,419$), menunjukkan bahwa SMR masih sangat bergantung pada RMR₇₉. Namun, RMR₈₉ dengan rentang nilai 25 hingga 30 terbukti lebih sensitif dalam mengidentifikasi potensi ketidakstabilan lereng dalam kategori buruk yang tidak terdeteksi oleh metode RMR₇₉ dengan rentang nilai 43 hingga 72. Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi RMR₈₉ dan SMR dapat menjadi pendekatan yang lebih akurat dalam mengevaluasi stabilitas lereng, terutama di daerah dengan geologi kompleks.

Kata Kunci ketidakstabilan, lereng, RMR, kinematika, RQD

Digital Object Identifier 10.36802/jnanaloka.2025.v6-no1-13-25

1 Pendahuluan

Stabilitas lereng merupakan faktor krusial dalam perencanaan dan pengelolaan infrastruktur, terutama di daerah dengan kondisi geologi yang kompleks. Ruas Jalan Goa Jepang di Jelapan, Bantul, memiliki tebing yang tersusun oleh batuan beku andesit bagian dari Formasi Nglanggran [1]. Batuan ini dengan zona diskontinuitas geologi yang berpotensi menyebabkan ketidakstabilan lereng [2]. Ketidakstabilan lereng dapat menyebabkan longsoran yang berisiko terhadap keselamatan pengguna jalan dan infrastruktur di sekitarnya [3]. Oleh karena itu, diperlukan metode yang akurat untuk mengevaluasi stabilitas lereng guna mengurangi risiko bencana geoteknik. *Slope Mass Rating* (SMR) merupakan metode yang dikembangkan

* Corresponding author.



dari *Rock Mass Rating* (RMR) dengan mempertimbangkan faktor koreksi orientasi diskontinuitas terhadap lereng [4–6]. RMR sendiri digunakan untuk mengevaluasi karakteristik massa batuan berdasarkan parameter geoteknik seperti kondisi kekar, tingkat pelapukan, dan kekuatan batuan [7]. Dengan menerapkan metode SMR yang berbasis RMR, analisis stabilitas lereng dapat dilakukan secara lebih akurat dengan mempertimbangkan kondisi geologi spesifik di lokasi penelitian. Kajian sebelumnya menunjukkan bahwa metode RMR telah banyak digunakan dalam menilai stabilitas massa batuan di berbagai lokasi [3] [8–10], namun dalam konteks zona diskontinuitas yang kompleks, metode ini memiliki keterbatasan dalam memperhitungkan efek orientasi bidang lemah terhadap stabilitas lereng. Oleh karena itu, metode SMR dikembangkan untuk memberikan evaluasi yang lebih holistik [11, 12]. Beberapa penelitian telah menerapkan metode ini di berbagai lokasi dengan kondisi geologi yang beragam [13–17], namun masih sedikit penelitian yang fokus pada penerapannya di daerah dengan karakteristik geologi seperti di Ruas Jalan Goa Jepang, Jelapan, Bantul. Analisis kesenjangan dalam penelitian ini terletak pada kurangnya studi yang secara spesifik menerapkan metode SMR dengan evaluasi RMR dalam menganalisis stabilitas lereng pada zona diskontinuitas geologi di daerah penelitian. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki kebaruan dalam pendekatannya dengan mengombinasikan analisis SMR dan RMR untuk menilai stabilitas lereng secara lebih komprehensif. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode SMR dengan evaluasi RMR dalam menganalisis stabilitas lereng di Ruas Jalan Goa Jepang, Jelapan, Bantul. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi yang lebih akurat mengenai tindakan mitigasi yang dapat diterapkan untuk meningkatkan stabilitas lereng dan keberlanjutan infrastruktur di daerah tersebut. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat berkontribusi dalam pengembangan metode analisis stabilitas lereng serta memberikan manfaat bagi perencanaan dan pengelolaan risiko geoteknik di daerah rawan longsor.

2 Metodologi

Penelitian ini dilaksanakan di Ruas Jalan Goa Jepang, Jelapan, Bantul, dengan mengacu pada titik lokasi berkode IM dalam penelitian sebelumnya [18]. Seiring dengan penambahan detail data, kode lokasi diperbarui menjadi GJ untuk memastikan sistem identifikasi yang lebih akurat. Lokasi penelitian berada di kawasan perbukitan yang berjarak sekitar 17 kilometer di sebelah selatan Kota Bantul, di mana ekspresi morfologi lereng batuan dapat dilihat pada Gambar 1.

Lokasi ini dipilih berdasarkan karakteristik geologi yang kompleks, terutama keberadaan zona diskontinuitas yang berpotensi memengaruhi stabilitas lereng. Penelitian ini mencakup tujuh titik pengamatan yang tersebar di area penelitian, dengan koordinat yang telah ditetapkan secara rinci. Titik GJ-1 terletak pada koordinat E 425270.19, N 9116888.08; GJ-2 pada E 425284.93, N 9116862.00; dan GJ-3 pada E 425277.92, N 9116842.02. Selanjutnya, GJ-4 berada pada E 425323.45, N 9116892.77; GJ-5 pada E 425367.89, N 9116860.60; GJ-6 pada E 425208.94, N 9116712.92; dan GJ-7 pada E 425247.16, N 9116744.93. Distribusi koordinat ini dirancang untuk mencakup zona diskontinuitas geologi yang signifikan, yang selanjutnya dianalisis menggunakan metode *Slope Mass Rating* (SMR) [20] dan *Rock Mass Rating* (RMR) [21] guna mengevaluasi stabilitas lereng. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui survei geologi lapangan, yang mencakup pengamatan morfologi, karakteristik fisik batuan, serta parameter geoteknik seperti kekuatan batuan, berat unit, dan kondisi struktur lereng, termasuk tinggi, kemiringan lereng, serta orientasi diskontinuitas seperti kekar dan sesar. Sementara itu, data



■ **Gambar 1** Morfologi perbukitan di bagian utara daerah penelitian [19].

sekunder berupa peta geologi dan laporan teknis digunakan sebagai referensi tambahan untuk memperkuat dan memperkaya analisis. Teknik pengumpulan data meliputi pengamatan lapangan, pengukuran geometri lereng, dan pengujian laboratorium. Pengamatan lapangan dilakukan untuk mengidentifikasi litologi, struktur geologi, serta karakteristik diskontinuitas yang memengaruhi stabilitas lereng. Pengukuran geometri lereng mencakup penentuan kemiringan lereng, orientasi bidang diskontinuitas, serta tingkat pelapukan batuan. Pengujian laboratorium dilakukan untuk menganalisis sifat fisik dan mekanik batuan, sehingga parameter geoteknik yang diperlukan dalam analisis RMR versi 1979, RMR versi 1989 dan SMR dapat diperoleh secara akurat. Analisis data dalam penelitian ini mencakup tiga tahapan utama, yaitu penilaian RMR versi 1979 (RMR_{79}) dan RMR versi 1989 (RMR_{89}), perhitungan SMR, dan evaluasi stabilitas lereng. Penilaian RMR dilakukan untuk menilai kualitas massa batuan berdasarkan parameter geoteknik yang diperoleh dari pengukuran lapangan dan pengujian laboratorium. RMR_{89} merupakan penjumlahan nilai RMR_{79} dan nilai rating R_6 , $RMR_{79} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$ sehingga RMR_{89} dapat dihitung dengan rumus: $RMR_{89} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6$ di mana R_1 adalah kekuatan batuan; R_2 adalah *Rock Quality Designation* (RQD); R_3 adalah jarak diskontinuitas; R_4 adalah kondisi diskontinuitas; R_5 adalah kondisi airtanah; dan R_6 adalah orientasi diskontinuitas [21, 22]. Parameter dan penilaian untuk RMR_{79} dan parameter ke-6 disajikan pada Tabel 1 hingga 3. Dalam penelitian ini, penilaian R_6 didukung oleh analisis kinematika lereng batuan [18].

■ **Tabel 1** Parameter dan penilaiannya untuk RMR_{79} [21].

Parameter			Selang nilai			
1	Kekuatan batuan utuh	Indek kekuatan Point Load (MPa)	> 10	4 – 10	2 – 4	1–2
		Kuat tekan uniaksial (MPa)	> 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25
						Untuk nilai yang kecil dipakai UCS

Selanjutnya, perhitungan SMR dilakukan berdasarkan nilai RMR versi 1979 (RMR_{79}) dengan mempertimbangkan faktor orientasi diskontinuitas serta sudut kemiringan lereng, sehingga menghasilkan nilai akhir yang lebih representatif terhadap kondisi aktual lereng. Penilaian SMR melibatkan analisis kedudukan (orientasi) kekar dan lereng, termasuk evaluasi parameter geometri seperti *strike* dan *dip* bidang diskontinuitas (kekar) relatif terhadap

■ **Tabel 2** Parameter ke-6 (R_6) dan penilaiannya [21]

Orientasi jurus dan kemiringan	Sangat menguntungkan	Menguntungkan	Sedang	Tidak menguntungkan	Sangat tidak menguntungkan
Terowongan	0	-2	-5	-10	-12
Pembobotan Pondasi	0	-2	-7	-15	-25
Lereng	0	-2	-25	-50	-60

■ **Tabel 3** Penilaian massa batuan dari bobot total nilai RMR [21]

Pembobotan	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	> 21
Nomor kelas	I	II	III	IV	V
Pemerian	Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat buruk

kemiringan dan arah lereng, untuk menentukan tingkat stabilitas lereng melalui interaksi antara struktur geologi dan morfologi lereng. Penilaian SMR dilakukan dengan rumus persamaan sebagai berikut: $SMR = RMR_{79} + (F_1 x F_2 x |F_3|) + F_4$ di mana F_1 merupakan parameter yang mengevaluasi selisih antara strike permukaan lereng dengan bidang diskontinuitas, dengan nilai berkisar 1,00 hingga 0,15 dan dihitung menggunakan persamaan $F_1 = [1 - \sin(\alpha s - \alpha j)]^2$, di mana αs dan αj masing-masing merupakan strike muka lereng dan bidang diskontinuitas, mencerminkan paralelisme antara arah kekar dan kemiringan muka lereng. F_2 menilai sudut dip bidang diskontinuitas pada keruntuhan bidang (*plane failure*), dengan nilai $F_2 = tg^2 \beta j$ yang bervariasi antara 1,00 hingga 0,15, sedangkan pada keruntuhan jungkiran (*toppling failure*), F_2 bernilai 1,00. F_3 mengevaluasi selisih sudut *dip* bidang diskontinuitas dengan permukaan lereng ($F_3 = \beta j - \beta s$), yang dapat bernilai negatif menurut Bieniawski (1976), menggambarkan hubungan antara kemiringan kekar dan lereng. Sementara itu, F_4 merupakan parameter empiris yang menilai pengaruh metode penggalian, seperti lereng alamiah, penggalian mekanis, atau peledakan, terhadap stabilitas lereng. Dalam penilaian SMR, orientasi kekar dan lereng disajikan pada Tabel 4, sementara deskripsi sistem klasifikasi SMR dijelaskan pada Tabel 5, dan klasifikasi nilai SMR beserta interpretasinya ditampilkan pada Tabel 6.

Nilai SMR yang dihasilkan dalam penelitian ini telah dikoreksi menggunakan RMR versi 1989, sehingga hasilnya lebih sesuai dengan parameter geoteknik terkini serta kondisi massa batuan di lokasi penelitian. Hasil SMR yang telah dikoreksi kemudian digunakan dalam evaluasi stabilitas lereng untuk mengklasifikasikan tingkat kestabilannya serta mengidentifikasi potensi gerakan massa yang dapat terjadi di area penelitian. Bagan alir penelitian disajikan pada Gambar 2.

Pengujian akurasi hasil dilakukan melalui validasi dengan membandingkan nilai RMR dan SMR yang diperoleh dengan kondisi aktual di lapangan. Perbandingan ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian hasil analisis terhadap kondisi geologi serta karakteristik diskontinuitas di lokasi penelitian. Selain itu, hasil penelitian ini juga dibandingkan dengan studi sebelumnya guna memastikan keakuratan metode yang digunakan serta mengonfirmasi keandalan pendekatan yang diterapkan dalam analisis stabilitas lereng.

■ **Tabel 4** Penilaian SMR untuk parameter kedudukan kekar dan lereng [23]

		αj = Arah kemiringan bidang diskontinuitas βj = Kemiringan bidang diskontinuitas αs = Arah kemiringan lereng αj = Kemiringan lereng				
Faktor penyesuaian untuk diskontinuitas (F_1, F_2, F_3)		Sangat Menguntungkan	Menguntungkan	Sedang	Tidak Menguntungkan	Sangat Tidak Menguntungkan
Keruntuhan Bidang	$ \alpha j - \alpha s = \text{Keruntuhan Jungkiran}$	$> 30^0$	$30^0 - 20^0$	$20^0 - 10^0$	$10^0 - 5^0$	$< 5^0$
	$\alpha j - \alpha s - 180^0 =$					
	Nilai F_1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
Paralelisme antara arah kekar dan lereng		$F_1 = (1 - \sin \alpha j - \alpha s)^2$				
	$ \beta j =$	$< 20^0$	$20^0 - 30^0$	$30^0 - 35^0$	$35^0 - 45^0$	$> 45^0$
Nilai F_2	Keruntuhan Bidang	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
	Keruntuhan Jungkiran			1,00		
	Hubungan	$F_2 = tg^2 bj$				
Keruntuhan Bidang	$\beta j - \beta s =$	$> 10^0$	$10^0 - 0^0$	0	$10^0 - (-10)^0$	$(-10)^0$
Keruntuhan Jungkiran	$\beta j + \beta s =$	$< 110^0$	$110^0 - 120^0$	$> 120^0$	-	-
	Nilai F_3	0	-6	-25	-50	-60
	Hubungan	F_3 (Penilaian penyesuaian Bieniawski untuk orientasi diskontinuitas, 1976)				
		F_4 (=Nilai empiris untuk metode penggalian)				
Faktor penyesuaian F_4 untuk metode penggalian	Lereng alami	Pra-pembelahan	Peledakan Halus	Peledakan atau Mekanis	Peledakan Tidak Optimal	
	Nilai F_4	15	10	8	0	-8

■ **Tabel 5** Deskripsi sistem klasifikasi SMR [23]

Kelas	Vb	Va	IVb	IVa	IIIb	IIIa	IIb	IIa	Ib	Ia
Deskripsi	Sangat buruk		Buruk		Sedang		Baik		Sangat baik	
Stabilitas	Sangat tidak stabil		Tidak stabil		Sebagian stabil		Stabil		Sepenuhnya stabil	
Keruntuhan	Bidang gelincir besar atau menyerupai tanah		Bidang gelincir atau baji besar		Beberapa kekar atau banyak baji		Beberapa blok		Tidak ada	
Dukungan	Penggalian ulang		Urgen / Korektif		Sistematis		Sesekali		Tidak ada	

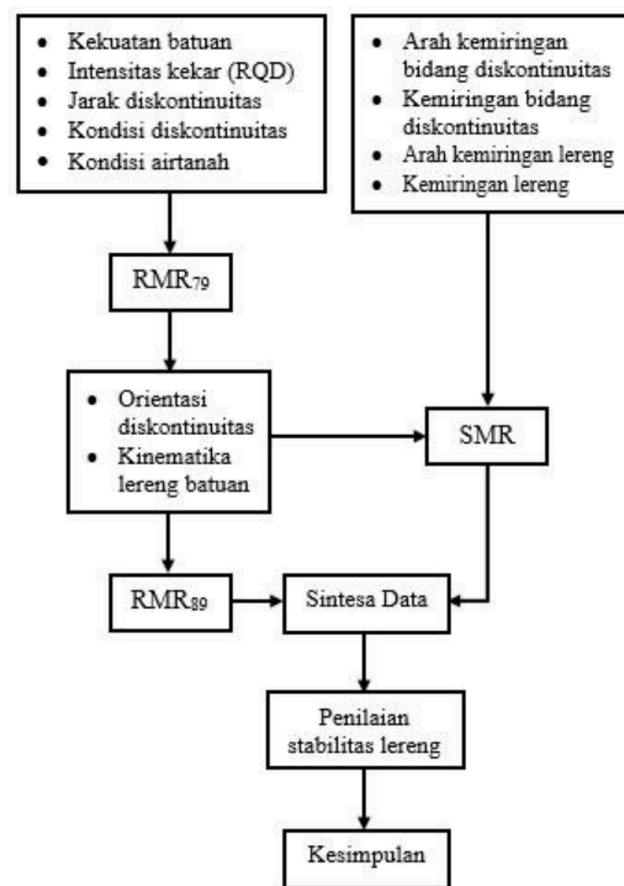
3 Hasil dan pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai RMR₇₉ di lokasi penelitian berkisar antara 18,71 hingga 61,69, yang mengindikasikan kualitas massa batuan dalam kategori sedang hingga buruk (Tabel 7). Penilaian menggunakan SMR juga menunjukkan rentang nilai yang serupa, yaitu 18,71 hingga 61,69, sehingga mencerminkan kondisi massa batuan dalam kategori yang sama (Tabel 8).

Hasil analisis regresi mengindikasikan bahwa RMR₇₉ berpengaruh secara positif dan signifikan terhadap SMR, dengan nilai $P - Value$ sebesar 0,0163. Kekuatan hubungan

■ **Tabel 6** Ikhtisar pengelompokan kelas SMR [23]

SMR	Kelas	Deskripsi	Stability	Keruntuhan	Support
81 - 100	I	Sangat baik	Sepenuhnya stabil	Tidak ada	Tidak ada
61 - 80	II	Baik	Stabil	Beberapa blok	Sesekali
41 - 60	III	Sedang	Sebagian stabil	Beberapa kekar atau banyak baji	Sistematis
21 - 40	IV	Buruk	Tidak stabil	Bidang gelincir atau baji besar	Urgen / Korekti
0 - 20	V	Sangat buruk	Sangat tidak stabil	Baji besar atau keruntuhan melingkar	Penggalian ulang



■ **Gambar 2** Bagan alir penelitian penilaian stabilitas lereng.

antara kedua RMR₇₉ dan SMR tergolong tinggi, sebagaimana tercermin dari nilai R^2 sebesar 71,64% dan R sebesar 0,846 (dapat dilihat pada Gambar 3), yang menunjukkan bahwa 71,64% variasi dalam SMR dapat dijelaskan oleh variabel RMR₇₉. Lebih lanjut, model regresi yang digunakan terbukti signifikan secara statistik (F -statistic = 12.63, *Significance F* = 0.0163), sehingga dapat disimpulkan bahwa RMR₇₉ memainkan peran penting dalam menentukan nilai SMR.

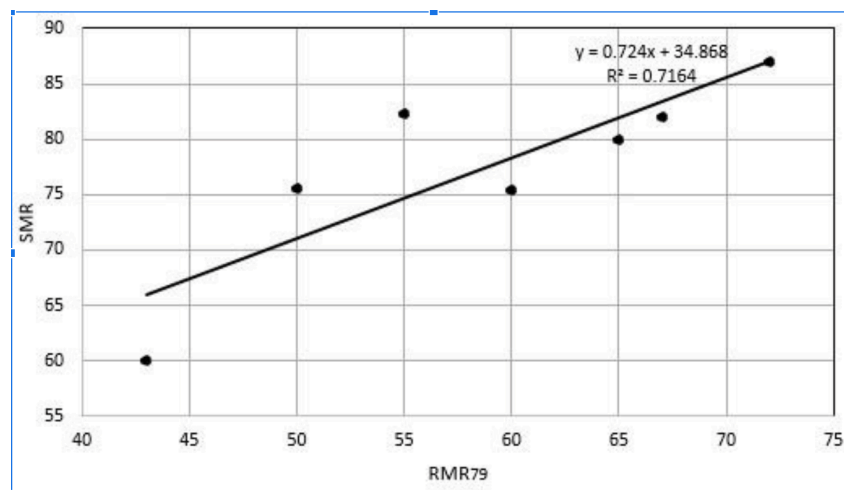
■ **Tabel 7** Hasil penilaian kualitas massa batuan untuk sistem RMR₇₉

Parameter	GJ-1	GJ-2	GJ-3	GJ-4	GJ-5	GJ-6	GJ-7
R ₁ , kekuatan batuan (MPa)	18,71(2)	56,89(7)	36,28(4)	29,43(4)	31,39(4)	35,32(4)	61,69(7)
R ₂ , RQD (%)	55,78(13)	84,42(17)	43,37(8)	52,49(13)	55,78(13)	59,18(13)	87,81(17)
R ₃ , jarak spasi kekar (cm)	6 13(8)	6 -16(8)	4 13(8)	6 13(8)	7 14(8)	7 12(8)	9 18(8)
R ₄ , kondisi diskontinuitas (kemenerusan kekasaran / pelapukan permukaan dinding diskontinuitas / lebar bukaan diskontinuitas / material isian bukaan diskontinuitas)	Permukaan bidang kekar halus, kekar menerus, renggang 1 - 5 mm, lapuk(10)	Permukaan bidang kekar sedikit kasar, renggang kurang dari 1 mm, sedikit lapuk(25)	Permukaan bidang kekar sedikit kasar, renggang kurang dari 1 mm, lapuk(20)	Permukaan bidang kekar sedikit kasar, renggang kurang dari 1 mm, lapuk(20)	Permukaan bidang kekar sedikit kasar, renggang kurang dari 1 mm, lapuk(20)	Permukaan bidang kekar sedikit kasar, renggang kurang dari 1 mm, sedikit lapuk(25)	Permukaan bidang kekar sedikit kasar, renggang kurang dari 1 mm, sedikit lapuk(25)
R ₅ , kondisi airtanah /aliran alir	Lembab(10)	Lembab(10)	Lembab(10)	Lembab(10)	Kering(15)	Kering(15)	Kering(15)
RMR ₇₉	43	67	50	55	60	65	72
Kelas Deskripsi	III Sedang	II Baik	III Sedang	III Sedang	III Sedang	II Baik	II Baik

■ **Tabel 8** Penilaian parameter untuk sistem SMR

Parameter	GJ-1	GJ-2	GJ-3	GJ-4	GJ-5	GJ-6	GJ-7
RMR _{dasar}	43	67	50	55	60	65	72
α_s	212	212	210	228	281	160	158
β_s	78	74	76	78	78	74	78
α_j	182	136	202	232	230	238	230
β_j	20	24	26	26	20	24	26
F ₁	0,2500	0,009	0,7410	0,8654	0,0497	0,005	0,0024
F ₂	0,13	0,20	0,24	0,24	0,13	0,20	0,24
F ₃	60	60	60	60	60	60	60
F ₄	15	15	15	15	15	15	15
SMR	59,99	82,01	75,58	82,35	75,39	80,01	87,03
Kelas Deskripsi	III Sedang	I Sangat baik	II Baik	I Sangat baik	II Baik	I Sangat baik	I Sangat baik

Ketujuh lokasi lereng batuan dalam penelitian ini terdiri dari batuan andesit yang diciptakan oleh struktur primer berupa kekar tipe platy joint serta struktur sekunder yang menyertainya. Metode SMR, yang dikembangkan oleh Romana (1985), memperkenalkan faktor koreksi (F_1, F_2, F_3 , dan F_4) untuk menyesuaikan nilai RMR₇₉ dengan geometri lereng dan orientasi kekar. Meskipun koreksi ini bertujuan meningkatkan akurasi klasifikasi stabilitas



■ **Gambar 3** Grafik hubungan antara SMR dan RMR₇₉ dengan nilai kekuatan korelasi 0,846.

lereng, hasil perhitungan tetap bergantung pada nilai dasar RMR₇₉. Hal ini dapat menjadi keterbatasan dalam menganalisis lereng dengan struktur geologi yang sangat heterogen dan kompleks [7, 24, 25], di mana pendekatan tambahan mungkin diperlukan untuk memperoleh hasil yang lebih representatif. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, nilai RMR₈₉ digunakan sebagai koreksi terhadap hasil penilaian SMR guna meningkatkan akurasi analisis stabilitas lereng. Nilai-nilai RMR₈₉ yang diperoleh disajikan secara rinci pada Tabel 9.

■ **Tabel 9** Karakteristik parameter dalam sistem RMR versi 1989

Parameter	GJ-1	GJ-2	GJ-3	GJ-4	GJ-5	GJ-6	GJ-7
R ₆ , orientasi kekar	Menguntungkan (-2)	Sangat menguntungkan (0)	Sedang (-25)	Sedang (-25)	Menguntungkan (-2)	Sangat menguntungkan (0)	Sangat menguntungkan (0)
RMR ₈₉	41	67	25	30	58	65	72
Kelas Deskripsi	III Sedang	II Baik	IV Buruk	IV Buruk	III Sedang	II Baik	II Baik

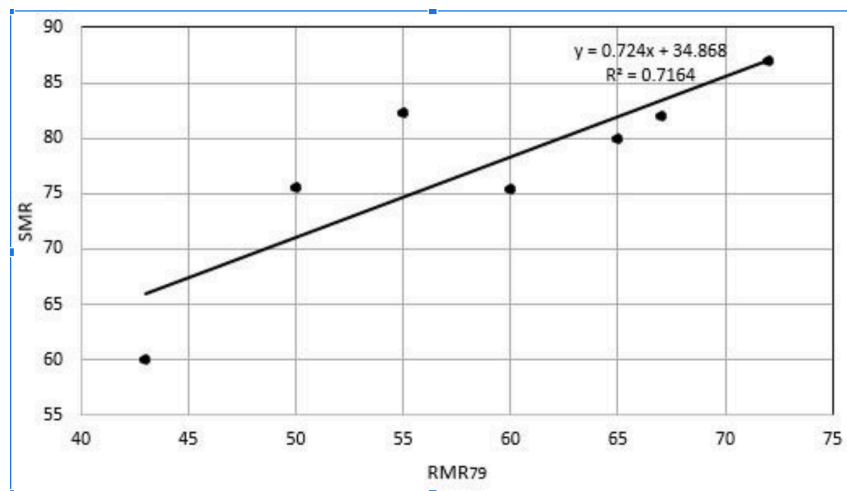
Hasil evaluasi menggunakan RMR₈₉ menunjukkan bahwa beberapa lereng, khususnya GJ-3 dan GJ-4, memiliki tingkat stabilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan hasil penilaian menggunakan RMR₇₉ maupun SMR. Perbandingan nilai stabilitas antara ketiga metode tersebut dapat dilihat secara rinci pada Tabel 10. Temuan ini mengindikasikan bahwa RMR₈₉ lebih sensitif dalam mengidentifikasi potensi kerentanan lereng yang mungkin tidak terdeteksi oleh metode sebelumnya, sehingga memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai kondisi stabilitas lereng [21, 26].

Hasil analisis menunjukkan bahwa hubungan antara SMR dan RMR₇₉ memiliki korelasi yang lebih tinggi ($R = 0,846$) dibandingkan dengan hubungan antara SMR dan RMR₈₉ ($R = 0,419$), sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3 dan 4. SMR merupakan pengembangan dari RMR₇₉ dengan mempertimbangkan orientasi diskontinuitas terhadap kemiringan lereng, namun tetap bergantung pada nilai dasar RMR₇₉, yang dalam beberapa kondisi dapat kurang representatif [27]. Meskipun RMR₈₉ memiliki korelasi yang lebih rendah terhadap SMR, metode ini tetap efektif dalam mengidentifikasi potensi ketidakstabilan lereng,

■ **Tabel 10** Sebaran nilai sistem penilaian stabilitas lereng

Parameter	GJ-1	GJ-2	GJ-3	GJ-4	GJ-5	GJ-6	GJ-7
RMR ₇₉	43 (Sedang)	67 (Baik)	50 (Sedang)	55 (Sedang)	60 (Sedang)	65 (Baik)	72 (Baik)
SMR	59,99 (Sedang)	82,01 (Sangat baik)	75,58 (Baik)	82,35 (Sangat baik)	75,39 (Baik)	80,01 (Sangat baik)	87,03 (Sangat baik)
RMR ₈₉	41 (Sedang)	67 (Baik)	25 (Buruk)	30 (Buruk)	58 (Sedang)	65 (Baik)	72 (Baik)

terutama pada daerah dengan kondisi geologi yang kompleks [28, 29]. Perbedaan korelasi tersebut menunjukkan bahwa RMR₈₉ dapat mengidentifikasi kerentanan lereng yang tidak terdeteksi oleh RMR₇₉ maupun SMR, sehingga menjadi alternatif yang lebih akurat dalam menganalisis stabilitas lereng, terutama di daerah dengan diskontinuitas geologi yang kompleks dan heterogen.



■ **Gambar 4** Grafik hubungan antara SMR dan RMR₈₉ bernilai korelasi sebesar 0,419.

Hasil uji *t - test* menunjukkan perbedaan signifikan antara nilai SMR dan RMR₈₉ ($P - Value < 0,05$), dengan korelasi sebesar 0,419 yang mengindikasikan hubungan lemah namun tetap relevan. Menurut Bieniawski (1989), RMR₈₉ lebih komprehensif dibandingkan RMR₇₉ karena mempertimbangkan faktor tambahan dalam evaluasi kestabilan lereng. Sementara itu, SMR lebih sensitif terhadap geometri lereng dan orientasi diskontinuitas [21,30]. Perbedaan hasil antara SMR dan RMR₈₉ dapat disebabkan oleh pendekatan penilaian yang berbeda. Dalam penelitian ini, RMR₈₉, yang mengintegrasikan analisis orientasi kekar dengan kinematika lereng batuan, terbukti lebih akurat dalam menilai stabilitas lereng [31,32], terutama pada GJ-3 dan GJ-4, yang memiliki tingkat kerentanan gerakan massa lebih tinggi.

Berdasarkan hasil penelitian, kondisi geologi di Ruas Jalan Goa Jepang, Jelapan, Bantul, menunjukkan adanya potensi gerakan massa batuan jenis membaji (*wedging*) akibat orientasi bidang diskontinuitas (kekar) yang tidak menguntungkan terhadap kemiringan lereng. Analisis SMR yang dikoreksi dengan RMR mengidentifikasi titik-titik rawan, seperti GJ-3 dan GJ-4, yang memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap gerakan massa. Hal ini disebabkan oleh nilai RMR yang rendah serta kondisi massa batuan yang tergolong buruk

hingga sedang, sehingga diperlukan upaya mitigasi yang sistematis [33,34].

Gerakan massa wedging terjadi akibat perpotongan dua bidang diskontinuitas yang membentuk baji, dengan mekanisme yang dipengaruhi oleh orientasi kekar, kemiringan lereng, dan kondisi air tanah [32]. Untuk mengurangi risiko ini, diperlukan penelitian lebih lanjut guna memastikan efektivitas langkah mitigasi. Salah satu pendekatan yang direkomendasikan adalah pemasangan jaring pengaman (*rockfall net*) atau penahan batuan (*rock barrier*) di area rawan, khususnya di titik GJ-3 dan GJ-4 [35–37]. Selain itu, perlu dilakukan penyelidikan terkait penerapan terasering dengan penentuan sudut kemiringan lereng yang optimal [38,39]. Beberapa langkah mitigasi sederhana yang dapat dilakukan masyarakat dan pemerintah setempat meliputi penanaman vegetasi berakar dalam, seperti akasia atau bambu, di sepanjang lereng rawan untuk menstabilkan tanah dan batuan secara alami [40,41], pemeliharaan saluran drainase alami dengan memastikan aliran air tetap lancar dan tidak ada genangan yang dapat mempengaruhi kondisi keairan pada diskontinuitas massa batuan [42–44], serta pengembangan sistem peringatan dini berbasis alam melalui pemantauan perubahan vegetasi dan retakan di lereng, sekaligus edukasi masyarakat mengenai pentingnya menjaga keseimbangan ekosistem lereng [45–47]. Pendekatan berbasis ekosistem ini diharapkan dapat mengurangi risiko bencana gerakan massa, meningkatkan keselamatan masyarakat, serta menjaga keberlanjutan infrastruktur secara berkelanjutan dan harmonis dengan lingkungan.

4 Kesimpulan dan saran

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi metode RMR_{89} dan SMR dapat meningkatkan akurasi dalam mengevaluasi stabilitas lereng, khususnya pada daerah dengan kondisi geologi yang kompleks seperti Ruas Jalan Goa Jepang, Jelapan, Bantul. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai RMR_{79} di lokasi penelitian berkisar antara 18,71 hingga 61,69, yang mengindikasikan kualitas massa batuan dalam kategori sedang hingga buruk. Sementara itu, nilai SMR yang dihitung berdasarkan RMR_{79} memiliki rentang yang sama, yakni 18,71 hingga 61,69, mencerminkan kondisi kestabilan lereng yang sejalan dengan evaluasi RMR_{79} . Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa RMR_{79} berpengaruh positif dan signifikan terhadap SMR, dengan nilai $P-Value$ sebesar 0,0163, serta koefisien determinasi R^2 sebesar 71,64% dan korelasi R sebesar 0,846. Sementara itu, korelasi antara RMR_{89} dan SMR lebih rendah, yaitu R sebesar 0,419, menunjukkan bahwa RMR_{89} lebih sensitif dalam mengidentifikasi potensi ketidakstabilan lereng dibandingkan dengan metode lainnya. Perbandingan nilai stabilitas menunjukkan bahwa beberapa lereng, khususnya pada titik GJ-3 dan GJ-4, memiliki tingkat stabilitas yang lebih rendah berdasarkan RMR_{89} dibandingkan dengan hasil SMR dan RMR_{79} , sehingga RMR_{89} dapat menjadi alternatif yang lebih akurat dalam menganalisis stabilitas lereng pada daerah dengan zona diskontinuitas yang kompleks. Berdasarkan hasil penelitian, upaya mitigasi yang direkomendasikan untuk meningkatkan stabilitas lereng di Ruas Jalan Goa Jepang, Jelapan, Bantul, mencakup penanaman vegetasi berakar dalam, seperti akasia atau bambu, pada titik rawan (GJ-3 dan GJ-4) guna memperkuat stabilitas lereng secara alami, serta penerapan teknik terasering untuk mengurangi kemiringan lereng dan risiko gerakan massa. Partisipasi masyarakat dalam pemeliharaan sistem drainase sangat penting untuk mencegah akumulasi air yang berpotensi memperlebar celah kekar dan memperburuk ketidakstabilan lereng. Selain itu, diperlukan peran aktif pemerintah setempat dalam mengembangkan sistem peringatan dini berbasis indikator lingkungan, seperti perubahan vegetasi dan retakan pada lereng, serta dalam menyelenggarakan program edukasi bagi masyarakat mengenai bahaya gerakan massa dan strategi mitigasi yang dapat

diterapkan.

Pustaka

- 1 Sukandarrumidi, R. . Wartono, dan H. Rosidi, “Peta geologi lembar yogyakarta, jawa, pusat survey geologi, badan geologi, bandung, 2012,” <https://geologi.esdm.go.id/geomap/pages/preview/peta-geologi-lembar-kebumen-jawa>, 2024, [Online; diakses 2 Desember 2024].
- 2 A. N. Rakhman, “Studi analisis struktur batuan dan evaluasi RQD: Potensi longsoran di ruas jalan goa jepang, jelapan, bantul,” *Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management*, vol. 3, no. 1, pp. 1–11, 2024.
- 3 K. Triana dan K. Hermawan, “Slope mass rating-based analysis to assess rockfall hazard on yogyakarta southern mountain, indonesia,” *Geoenvironmental Disasters*, vol. 7, pp. 1–17, 2020.
- 4 R. K. Dhiman dan M. Thakur, “Graphical charts for onsite continuous slope mass rating (CoSMR) classification using strike parallelism and joint dip or plunge of intersection,” *Engineering Geology*, vol. 298, p. 106559, 2022.
- 5 M. Francioni, D. Stead, N. Sciarra, dan F. Calamita, “A new approach for defining slope mass rating in heterogeneous sedimentary rocks using a combined remote sensing GIS approach,” *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 78, pp. 4253–4274, 2019.
- 6 J. L. Pastor, A. J. Riquelme, R. Tomás, dan M. Cano, “Clarification of the slope mass rating parameters assisted by SMRTTool, an open-source software,” *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 78, pp. 6131–6142, 2019.
- 7 H. Sonmez, M. Ercanoglu, dan G. Dagdelenler, “A novel approach to structural anisotropy classification for jointed rock masses using theoretical rock quality designation formulation adjusted to joint spacing,” *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 14, no. 2, pp. 329–345, 2022.
- 8 A. N. Rakhman, Z. Zakaria, D. Muslim, I. Haryanto, dan F. W. Maulana, “Mineralogical control of rock slope stability assessment of columnar jointed basaltic rock masses in the cengkehan river valley, indonesia,” in *In 5th International Conference of Geological Engineering Faculty. The International Institute of Knowledge Management, Pita Kotte, Sri Lanka. The International Institute of Knowledge Management (TIIKM) Sri Lanka*, 2020.
- 9 A. N. Rakhman, Z. Zakaria, D. Muslim, I. Haryanto, S. Mulyaningsih, dan M. Muchlis, “Assessment of rock mass classification system for intrusive rock with weathering at wukirsari area,” in *In International Conference on Geosciences. Universiti Malaysia Sabah, Kota Kinabalu, Malaysia. Faculty of Science and Natural Resources Universiti Malaysia Sabah*, 2018.
- 10 I. M. Adam dan Z. T. Hadi, “Analisis kinematik bidang diskontinuitas batuan vulkanik di desa seloharjo dan sekitarnya kecamatan pundong kabupaten bantul daerah istimewa yogyakarta,” *Jurnal Geosains dan Teknologi*, vol. 6, no. 2, pp. 121–133, 2023.
- 11 M. R. ROMANA, “A geomechanical classification for slopes: slope mass rating,” in *Rock testing and site characterization*. Elsevier, 1993, pp. 575–600.
- 12 M. Romana, R. Tomás, dan J. B. Seron, “Slope mass rating (SMR) geomechanics classification: thirty years review,” in *ISRM Congress*. ISRM, 2015, pp. ISRM-13CONGRESS.
- 13 Z. Zakaria, D. Muslim *et al.*, “Koreksi SMR pada desain lereng tambangterbuka batubara pada formasi balikpapan & formasi kampungbaru, sangasanga, kalimantan timur,” *Buletin Sumber Daya Geologi*, vol. 7, no. 3, pp. 147–157, 2012.
- 14 I. Yilmaz, M. Marschalko, M. Yildirim, E. Dereli, dan M. Bednarik, “Gis-based kinematic slope instability and slope mass rating (SMR) maps: application to a railway route in sivas (turkey),” *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 71, pp. 351–357, 2012.

- 15 M. Azarafza, S. Nikoobakht, J. Rahnamarad, F. Asasi, dan R. Derakhshani, "An empirical method for slope mass rating-qslope correlation for isfahan province, iran," *MethodsX*, vol. 7, p. 101069, 2020.
- 16 A. Daftaribesheli, M. Ataei, dan F. Sereshki, "Assessment of rock slope stability using the fuzzy slope mass rating (FSMR) system," *Applied Soft Computing*, vol. 11, no. 8, pp. 4465–4473, 2011.
- 17 A. Mohamed dan A. F. Bayram, "Utilizing a geomechanical classification to preliminary analysis of rock slope stability along roadway d340-41.42, southwest of turkey: A case study," *Turkish Journal of Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 9–16, 2020.
- 18 A. N. Rakhman, "Determinasi dan penerapan rock mass rating untuk penilaian stabilitas lereng andesit di seloharjo, bantul," *JNANALOKA*, vol. 5, no. 1, pp. 21–29, 2024.
- 19 G. E. P. 7.3.6.10201, "Google earth pro: Jelapan, bantul, daerah istimewa yogyakarta." 2023, [Online].
- 20 M. Romana, "New adjustment ratings for application of bieniawski classification to slopes," in *Proceedings of the international symposium on role of rock mechanics, Zacatecas, Mexico*, 1985, pp. 49–53.
- 21 Z. T. Bieniawski, *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons, 1989.
- 22 —, *Design methodology in rock engineering*. CRC Press, 2020.
- 23 M. Romana, J. B. Serón, dan E. Montalar, "SMR geomechanics classification: application, experience and validation," in *ISRM Congress*. ISRM, 2003, pp. ISRM–10CONGRESS.
- 24 R. Tomás, A. Cuenca, M. Cano, dan J. García-Barba, "A graphical approach for slope mass rating (SMR)," *Engineering Geology*, vol. 124, pp. 67–76, 2012.
- 25 Y. Zerradi, M. Souissi, A. Soufi, R. Bennouna, A. Bahi, dan I. Zaki, "Slope stability assessment using slope mass rating (SMR), key block theory, and kinematic analysis: a case study," *journal of southwest jiaotong university*, vol. 58, no. 4, 2023.
- 26 C. Aksoy, "Review of rock mass rating classification: historical developments, applications, and restrictions," *Journal of mining science*, vol. 44, pp. 51–63, 2008.
- 27 R. Tomás, J. Delgado, dan J. B. Serón, "Modification of slope mass rating (SMR) by continuous functions," *International journal of rock mechanics and mining sciences*, vol. 44, no. 7, pp. 1062–1069, 2007.
- 28 R. Goel dan B. Singh, *Engineering rock mass classification: tunnelling, foundations and landslides*. Elsevier, 2011.
- 29 M. Kanik, "Evaluation of the limitations of rmr89 system for preliminary support selection in weak rock class," *Computers and Geotechnics*, vol. 115, p. 103159, 2019.
- 30 A. Naithani, "Importance of engineering rock mass classifications for rock cut slope stability analysis," *Journal of the Geological Society of India*, vol. 98, no. 4, pp. 562–566, 2022.
- 31 D. C. Wyllie dan C. Mah, *Rock slope engineering*. CRC Press, 2004.
- 32 D. C. Wyllie, "Civil engineering applications," in *Rock slope engineering*. CRC Press, 2017, pp. 463–492.
- 33 B. Singh dan R. K. Goel, *Rock mass classification: a practical approach in civil engineering*. Elsevier, 1999, vol. 46.
- 34 R. Singh, C. Dubey, S. Singh, D. Shukla, B. Mishra, M. Tajbakhsh, P. Ningthoujam, M. Sharma, dan N. Singh, "A new slope mass rating in mountainous terrain, jammu and kashmir himalayas: application of geophysical technique in slope stability studies," *Landslides*, vol. 10, pp. 255–265, 2013.
- 35 M. Jaboyedoff, M. Ben Hammouda, M.-H. Derron, A. Guérin, D. Hantz, dan F. Noel, "The rockfall failure hazard assessment: summary and new advances," *Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk: Volume 1 Sendai Landslide Partnerships and Kyoto Landslide Commitment 5th*, pp. 55–83, 2021.

- 36 M. Krautblatter dan R. Dikau, "Towards a uniform concept for the comparison and extrapolation of rockwall retreat and rockfall supply," *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, vol. 89, no. 1, pp. 21–40, 2007.
- 37 M. Marchelli, "Multiple lines of rockfall net fences: a design proposal of the system," *Rock Mechanics and Rock Engineering*, vol. 55, no. 12, pp. 7503–7515, 2022.
- 38 M. A. M. Al-Bared, I. S. H. Harahap, A. Marto, Z. Mustaffa, M. O. A. Ali, dan S. AlSubal, "Stability of cut slope and degradation of rock slope forming materials—a review," *Malaysian Construction Research Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 215–228, 2019.
- 39 A. Kainthola, P. Singh, dan T. Singh, "Stability investigation of road cut slope in basaltic rockmass, mahabaleshwar, india," *Geoscience Frontiers*, vol. 6, no. 6, pp. 837–845, 2015.
- 40 A. N. Rakhman, B. A. Septyawan *et al.*, "Rekayasa vegetasi untuk konservasi lahan rawan longsor di lembah sungai cengkehan, kecamatan imogiri, kabupaten bantul," *Jurnal Teknologi Technoscientia*, pp. 93–101, 2020.
- 41 S. I. Masrianti, A. Kusumandari, dan H. Suryatmojo, "Plants suitability for landslides mitigation in the giritengah catchment area, indonesia," in *BIO Web of Conferences*, vol. 80. EDP Sciences, 2023, p. 03014.
- 42 Z. Zakaria, R. Sophian, dan N. Gusriani, "Environmental aspect in infrastructure planning using starlet-perdana model," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 248, no. 1. IOP Publishing, 2019, p. 012013.
- 43 P. T. K. Sari dan I. B. Mochtar, "Effect of horizontal drain for slope stability during rainfall using transient seepage analysis," *Civil Engineering and Architecture*, vol. 11, no. 5, pp. 2753–2767, 2023.
- 44 G. Pamungkas, H. S. Huboyo, dan J. Windarta, "Analisis kondisi drainase dalam manajemen risiko pengelolaan lereng jalan," *Jurnal Profesi Insinyur Indonesia*, vol. 2, no. 6, 2024.
- 45 H. Lan, D. Wang, S. He, Y. Fang, W. Chen, P. Zhao, dan Y. Qi, "Experimental study on the effects of tree planting on slope stability," *Landslides*, vol. 17, pp. 1021–1035, 2020.
- 46 H. Qiu, W. Nie, dan A. Asadi, "Editorial: monitoring, early warning, and mitigation of natural and engineered slopesvolume ii. front," *Earth Sci*, vol. 11, p. 1200777, 2023.
- 47 F. K. Tetteh, S. J. Abbey, C. A. Booth, dan P. D. Nukah, "Current understanding and uncertainties associated with climate change and the impact on slope stability: A systematic literature review," *Natural Hazards Research*, 2025.