

Pendekatan Geoteknik–Statistik dalam Evaluasi Pengaruh Pelapukan Massa Batuan terhadap Stabilitas Lereng Lava Andesit di Bantul, Yogyakarta, Indonesia

(A Geotechnical–Statistical Approach to Evaluating Weathering Effects on Andesitic Lava Rock Slope Stability in Bantul, Yogyakarta, Indonesia)

Arie Noor Rakhman^{1*}, Fivry Wellda Maulana¹, Jarwanto¹

¹Program Studi Teknik Geologi, Universitas AKPRIND Indonesia, Jl.Kalisahak 28, Yogyakarta, Indonesia 55222

Dikirim:
8 Januari 2026

Direvisi:
24 Januari 2026

Diterima:
31 Januari 2026

* **Email Korespondensi:**
arie_rakhman@akprind.ac.id



Abstrak: Stabilitas lereng batuan merupakan faktor krusial dalam mitigasi risiko longsor, khususnya pada kawasan perbukitan vulkanik yang tersusun oleh massa batuan terdiskontinu dan terlapukkan. Ruas Jalan Goa Jepang, Kabupaten Bantul, berada pada lereng curam yang berkembang di lava andesit dan dipengaruhi oleh struktur geologi aktif, sehingga rentan terhadap ketidakstabilan lereng. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh pelapukan massa batuan, yang diwakili oleh berat unit batuan, terhadap nilai Rock Mass Rating (RMR) dan implikasinya terhadap kestabilan lereng. Pendekatan kuantitatif–statistik diterapkan melalui survei lapangan dan pengujian laboratorium pada tujuh lokasi. Kualitas massa batuan dievaluasi menggunakan RMR, sedangkan hubungan antar parameter dianalisis melalui grafik sebar dan regresi linier. Hasil menunjukkan nilai RMR berkisar 25–72, mencerminkan variasi kualitas massa batuan dari buruk hingga baik. Analisis statistik mengindikasikan hubungan sedang antara berat unit dan RMR ($R^2 = 0,468$), meskipun tidak signifikan secara statistik. Temuan ini menegaskan bahwa pelapukan mempengaruhi kestabilan lereng terutama melalui degradasi kondisi diskontinuitas, kekuatan batuan, dan RQD. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa integrasi parameter pelapukan dalam kerangka klasifikasi RMR dapat meningkatkan keandalan evaluasi stabilitas lereng batuan pada lingkungan vulkanik terlapukkan.

Kata kunci: Lava andesit, pelapukan massa batuan, pendekatan kuantitatif–statistik, Rock Mass Rating (RMR), stabilitas lereng batuan

Abstract: Rock slope stability is a critical factor in landslide risk mitigation, particularly in volcanic hilly terrains composed of discontinuous and weathered rock masses. The Goa Jepang Road, Bantul Regency, Indonesia, is situated on steep slopes developed in andesitic lava and influenced by active geological structures, making it highly susceptible to slope instability. This study aims to evaluate the influence of rock mass weathering, represented by unit weight, on Rock Mass Rating (RMR) values and its implications for slope stability. A quantitative–statistical approach was applied through detailed field surveys and laboratory testing at seven representative rock slope sites. Rock mass quality was assessed using the RMR classification system, while relationships between parameters were analyzed using scatter plots and linear regression. The results show that RMR values range from 25 to 72, indicating rock mass quality from poor to good. Statistical analysis reveals a moderate correlation between unit weight and RMR ($R^2 = 0.468$), although the relationship is not statistically significant. These findings suggest that weathering affects slope stability primarily through the degradation of discontinuity conditions, intact rock strength, and Rock Quality Designation (RQD), rather than through changes in unit weight alone. Overall, this study demonstrates that integrating geotechnical and statistical analyses provides a robust framework for quantifying weathering effects within the RMR system, thereby reinforcing its relevance for rock slope evaluation and landslide risk mitigation in volcanic and tectonically active regions.

Keywords: andesitic lava, quantitative–statistical approach, Rock Mass Rating (RMR), rock mass weathering, rock slope stability

1. PENDAHULUAN

Stabilitas lereng merupakan aspek fundamental dalam mitigasi risiko longsor, terutama pada kawasan perbukitan yang tersusun oleh massa batuan terdiskontinu dan mengalami tingkat pelapukan yang tinggi. Ketidakstabilan lereng pada kondisi tersebut dapat menimbulkan dampak serius, seperti kerusakan infrastruktur, terganggunya sistem transportasi, serta meningkatnya ancaman terhadap keselamatan masyarakat (Bahrami dkk., 2015; Yellas & Benzaid, 2019). Oleh karena itu, pemahaman yang

komprehensif mengenai faktor-faktor geologi dan geoteknik yang mengontrol kestabilan lereng menjadi sangat penting dalam mendukung perencanaan wilayah dan pengelolaan risiko bencana, khususnya pada kawasan dengan intensitas aktivitas manusia yang tinggi.

Dalam konteks kajian geologi regional, Ruas Jalan Goa Jepang di Kabupaten Bantul merupakan lokasi yang strategis untuk dikaji karena berkembang pada kawasan perbukitan berlereng terjal yang berada dalam pengaruh langsung sistem tektonik aktif Sesar Opak. Kondisi regional tersebut

menyediakan kerangka geologi yang relevan untuk menelaah keterkaitan antara karakter morfologi, struktur geologi, dan proses-proses yang mengontrol kestabilan lereng pada skala lokal. Secara morfologi, daerah penelitian dicirikan oleh kemiringan lereng dominan lebih dari 70% dengan elevasi mencapai sekitar 400 m di atas permukaan laut (Yulianto, 2019), sehingga secara inheren memiliki tingkat kerentanan yang tinggi terhadap ketidakstabilan lereng.

Aktivitas Sesar Opak beserta struktur-struktur turunannya berperan signifikan dalam mengontrol pembentukan lereng-lereng curam sekaligus perkembangan jaringan diskontinuitas berupa kekar dan rekahan yang rapat pada batuan penyusun lereng, yang didominasi oleh lava andesit. Keberadaan diskontinuitas tersebut membentuk zona-zona lemah yang menjadi jalur preferensial bagi berkembangnya proses pelapukan fisik dan kimia, sehingga kualitas massa batuan mengalami degradasi secara progresif. Dalam kondisi massa batuan yang terdiskontinu dan terlapukkan, karakteristik geoteknik lereng menjadi semakin sensitif terhadap pengaruh aktivitas tektonik berulang.

Kondisi ini diperkuat oleh hasil studi kegempaan di sekitar Kali Opak yang menunjukkan bahwa keberadaan material bawah permukaan yang relatif lunak dan terlapukkan berpengaruh terhadap respons dinamik batuan saat gempa, yang berpotensi memperkuat guncangan lokal dan memicu deformasi pada bidang-bidang diskontinuitas (Bakker dkk., 2023; Rakhman, 2024b). Temuan tersebut konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya yang menegaskan bahwa interaksi antara struktur geologi, kondisi morfologi, dan tingkat pelapukan massa batuan merupakan faktor dominan dalam pengontrolan zona kerentanan longsor di daerah perbukitan (Hidayah & Dzakiya, 2018).

Dalam kajian geoteknik, berbagai sistem klasifikasi massa batuan telah dikembangkan untuk mengevaluasi kualitas dan kestabilan lereng, salah satunya adalah *Rock Mass Rating* (RMR) yang diperkenalkan oleh Bieniawski sejak tahun 1973. Sistem RMR banyak digunakan karena mampu mengintegrasikan parameter-parameter geoteknik utama yang secara langsung mengontrol perilaku massa batuan, meliputi kekuatan batuan utuh, nilai *Rock Quality Designation* (RQD), kondisi dan jarak diskontinuitas, kondisi air tanah, serta orientasi bidang lemah terhadap lereng (Bieniawski, 1989; Campos dkk., 2020; Celada dkk., 2014). Nilai RMR yang diperoleh sering dijadikan dasar dalam evaluasi kestabilan lereng dan perencanaan teknis lereng batuan. Namun demikian, pengaruh tingkat pelapukan terhadap variasi nilai RMR dalam banyak penelitian masih sering dibahas secara kualitatif, sehingga hubungan kuantitatif antara parameter pelapukan dan nilai RMR belum sepenuhnya terjawab.

Beberapa penelitian sebelumnya di daerah penelitian dan pada batuan sejenis telah mengkaji

stabilitas lereng menggunakan pendekatan *Geological Strength Index* (GSI), Q-System, dan *Slope Mass Rating* (SMR), serta menelaah keterkaitan nilai RMR dengan kondisi diskontinuitas lava andesit (Heriyadi & Tania, 2018; Rakhman, 2024a; Rakhman dkk., 2019; Triana & Hermawan, 2020). Meskipun demikian, kajian yang secara spesifik dan kuantitatif menelaah hubungan antara tingkat pelapukan massa batuan yang direpresentasikan oleh berat unit batuan terhadap nilai RMR serta implikasinya terhadap stabilitas lereng batuan di Ruas Jalan Goa Jepang, Bantul, masih relatif terbatas.

Meskipun sistem klasifikasi RMR telah digunakan secara luas dalam evaluasi kestabilan lereng batuan, keterkaitan kuantitatif antara tingkat pelapukan massa batuan dan variasi nilai RMR, khususnya pada lereng lava andesit di kawasan perbukitan vulkanik, masih belum terdefinisi secara jelas. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh tingkat pelapukan massa batuan, yang direpresentasikan oleh berat unit batuan, terhadap variasi nilai RMR pada lereng batuan lava andesit di Ruas Jalan Goa Jepang, Bantul. Analisis difokuskan pada hubungan kuantitatif antara parameter fisik pelapukan dan klasifikasi kualitas massa batuan serta implikasinya terhadap penilaian kestabilan lereng. Kajian ini bertujuan memperkuat dasar teknis penggunaan RMR dalam evaluasi geoteknik lereng batuan terlapukkan dan mendukung pengambilan keputusan rekayasa untuk mitigasi risiko longsor di kawasan perbukitan vulkanik.

2. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif deskriptif yang difokuskan pada evaluasi kondisi stabilitas lereng batuan dari sudut pandang geoteknik. Kajian dilakukan dengan menganalisis hubungan antara tingkat pelapukan massa batuan, yang direpresentasikan oleh nilai berat unit batuan, terhadap kualitas massa batuan berdasarkan klasifikasi RMR. Penelitian dilaksanakan di Ruas Jalan Goa Jepang, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, yang merupakan ruas jalan pada kawasan perbukitan dengan lereng batuan terjal dan berpotensi mengalami ketidakstabilan.

Objek penelitian berupa lereng batuan lava andesit yang tersingkap di sepanjang ruas jalan, sedangkan unit analisis ditentukan pada beberapa segmen lereng yang mewakili variasi kondisi pelapukan dan diskontinuitas batuan. Titik-titik pengamatan dipilih secara *purposive* pada lokasi lereng yang berpotensi mempengaruhi keselamatan dan kinerja infrastruktur jalan, sehingga hasil penelitian bersifat aplikatif untuk keperluan evaluasi geoteknik lereng jalan. Interpretasi citra foto udara resolusi tinggi digunakan sebagai data pendukung untuk mengidentifikasi pola lineament, rekahan permukaan, dan keterkaitannya dengan struktur geologi regional, yang selanjutnya menjadi dasar penentuan lokasi pengamatan lapangan (Nugraheni dkk., 2024; Rusdiana dkk., 2021).

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis survei lapangan dan pengujian laboratorium untuk mengevaluasi pengaruh tingkat pelapukan massa batuan terhadap kualitas massa batuan dan stabilitas lereng. Tahapan penelitian disusun secara berurutan meliputi desain penelitian, pengumpulan data lapangan, pengujian laboratorium, dan analisis data.

Tahap pengumpulan data lapangan bertujuan memperoleh parameter geoteknik utama yang diperlukan dalam penilaian kualitas massa batuan. Kegiatan lapangan mencakup identifikasi litologi, penentuan tingkat pelapukan, pengukuran orientasi dan kondisi diskontinuitas, jarak antar kekar, serta observasi kondisi air tanah pada lereng batuan. Pengukuran dilakukan menggunakan GPS untuk penentuan posisi, kompas geologi untuk orientasi diskontinuitas, palu geologi dan lup untuk identifikasi batuan dan tingkat pelapukan, meteran untuk pengukuran spasi kekar, serta inklinometer untuk pengukuran kemiringan lereng. Pada tahap ini juga dilakukan pengambilan sampel batuan yang representatif untuk keperluan pengujian laboratorium.

Tahap pengujian laboratorium meliputi uji kuat tekan uniaksial (*Uniaxial Compressive Strength/UCS*) untuk menentukan kekuatan batuan utuh serta pengukuran berat unit batuan. Parameter berat unit digunakan sebagai indikator kuantitatif tingkat pelapukan massa batuan, yang mencerminkan degradasi sifat fisik batuan akibat proses pelapukan dan berpengaruh terhadap kestabilan massa batuan pada lereng.

Penilaian kualitas massa batuan dilakukan menggunakan sistem klasifikasi RMR berdasarkan Bieniawski (1989). Nilai RMR ditentukan dari enam parameter utama, yaitu kekuatan batuan utuh, *Rock Quality Designation* (RQD), jarak antar diskontinuitas, kondisi diskontinuitas, kondisi air tanah, serta orientasi diskontinuitas terhadap lereng. Skor lima parameter pertama dijumlahkan untuk memperoleh nilai RMR dasar, yang selanjutnya dikoreksi berdasarkan orientasi diskontinuitas guna menghasilkan nilai RMR akhir sebagai representasi kualitas massa batuan dan tingkat kestabilan lereng.

Tahap analisis data dilakukan secara kuantitatif deskriptif menggunakan perangkat lunak *spreadsheet* (Excel) untuk pengolahan data berat unit batuan dan perhitungan nilai RMR. Hubungan antara tingkat pelapukan massa batuan dan nilai RMR dianalisis menggunakan grafik sebar dan regresi linier untuk mengidentifikasi kecenderungan dan kekuatan hubungan antar parameter. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan dalam konteks stabilitas lereng jalan dengan mempertimbangkan geometri lereng dan karakteristik diskontinuitas, sehingga memberikan dasar teknis bagi evaluasi kestabilan lereng dan perencanaan mitigasi risiko longsor dari sudut pandang rekayasa geoteknik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah penelitian berada di ujung timur Pegunungan Selatan Jawa dan dicirikan oleh relief perbukitan dengan ketinggian morfologi pada lokasi pengamatan lereng berkisar antara 12,5–150 m di atas permukaan laut, serta mencapai elevasi maksimum sekitar 357 m berdasarkan Peta Rupabumi Indonesia (RBI) lembar 1408–221 (Bakosurtanal, 1999). Morfologi tersebut tersusun dari batuan vulkanik Formasi Nglanggrar di bagian utara dan batuan karbonat Formasi Wonosari di bagian selatan. Secara fisiografi, daerah ini termasuk ke dalam satuan Pegunungan Selatan yang telah mengalami denudasi intensif, mencerminkan dominasi proses erosi jangka panjang yang membentuk morfologi perbukitan berlereng sedang hingga terjal (Koesoemadinata, 2020). Karakter morfologi terdenudasi ini mengindikasikan kontrol geomorfik yang kuat terhadap perkembangan lereng batuan, yang berimplikasi langsung terhadap kondisi kestabilan lereng di daerah penelitian, sebagaimana ditunjukkan pada kenampakan perbukitan di bagian timur laut daerah penelitian (Gambar 1).

Keberadaan struktur geologi regional, khususnya Sesar Parangtritis beserta sesar-sesar penyertanya, berperan penting dalam mengontrol perkembangan morfologi lereng dan kondisi geoteknik batuan. Struktur-struktur tersebut menyebabkan berkembangnya jaringan diskontinuitas berupa kekar dan rekahan yang rapat, sehingga lereng-lereng batuan cenderung terbentuk sebagai tebing curam dan memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap ketidakstabilan (Husein dkk., 2010). Selain mempengaruhi geometri lereng, struktur ini juga mengendalikan distribusi dan intensitas pelapukan, yang berkembang lebih intensif pada bidang-bidang diskontinuitas akibat kombinasi proses fisik dan kimia. Pelapukan yang terfokus pada zona struktural tersebut mengakibatkan penurunan kekuatan dan kualitas massa batuan, memperbesar potensi pelemahan lereng, serta meningkatkan risiko terjadinya longsor di daerah penelitian (Wyllie, 2018). Manifestasi pengaruh struktur geologi terhadap pembentukan lereng batuan lava andesit terlapukkan, termasuk orientasi kemiringan lereng dan kondisi diskontinuitas yang berkembang, dapat diamati



Gambar 1. Kondisi morfologi perbukitan terdenudasi di bagian timur laut daerah penelitian, yang menunjukkan dominasi proses erosi jangka panjang pada satuan batuan penyusunnya.

pada Gambar 2.

Temuan mengenai peran dominan struktur geologi dan diskontinuitas dalam mengontrol morfologi lereng serta tingkat kestabilannya pada daerah penelitian ini konsisten dengan hasil kajian sebelumnya di kawasan Pegunungan Selatan Jawa dan daerah tektonik aktif lainnya. Husein dkk. (2010) menunjukkan bahwa keberadaan sesar aktif dan struktur turunannya berperan signifikan dalam membentuk lereng curam serta mengontrol pola rekahan yang menjadi bidang lemah utama pada lereng batuan. Pola serupa juga dilaporkan oleh Triana & Hermawan (2020) serta Rakhman dkk. (2019), yang menegaskan bahwa orientasi dan kondisi diskontinuitas pada lava andesit merupakan faktor kunci dalam menentukan tingkat kerentanan longsor di daerah perbukitan vulkanik. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat bukti empiris bahwa kontrol struktural merupakan elemen fundamental dalam evaluasi kestabilan lereng batuan di daerah vulkanik terdeformasi.

Lereng batuan pada tujuh lokasi pengamatan (JS-1 hingga JS-7) seluruhnya tersusun oleh lava andesit dengan sisipan breksi andesit. Secara struktural, massa batuan dicirikan oleh keberadaan *platy joint* sebagai struktur primer dan *shear joint* sebagai struktur sekunder, dengan orientasi dominan utara-selatan hingga barat laut-tenggara. Analisis petrografi menunjukkan bahwa batuan didominasi oleh mineral plagioklas dan piroksen bertekstur inekuegranular halus, di mana pada beberapa lokasi piroksen telah mengalami alterasi menjadi klorit. Selain itu, kehadiran mineral lempung jenis smektit pada dinding bidang kekar mengindikasikan berkembangnya proses pelapukan kimia lanjut, khususnya pada zona-zona diskontinuitas (Xu dkk., 2023). Kombinasi kondisi litologi, struktur, dan mineralogi tersebut menunjukkan bahwa massa batuan di daerah penelitian telah mengalami tingkat pelapukan yang bervariasi, berkisar dari tingkat II hingga IV (Geological Society of London, 1990). Intensitas pelapukan yang terfokus pada bidang-bidang diskontinuitas ini berpotensi menurunkan kualitas massa batuan dan secara langsung mempengaruhi kestabilan lereng batuan (Alhadar dkk., 2021). Kenampakan singkapan lava andesit yang mengalami pelapukan lanjut, ditandai oleh perkembangan *platy joint* sebagai struktur primer pada lokasi JS-3, ditunjukkan pada Gambar 3.

Hasil penilaian kualitas massa batuan menggunakan metode RMR versi 1989 disajikan pada Tabel 1 - 7. Penilaian dilakukan berdasarkan enam parameter utama, yaitu kekuatan batuan utuh, nilai RQD, jarak antar kekar, kondisi diskontinuitas, kondisi air tanah, serta orientasi diskontinuitas terhadap lereng. Tabel 1 menyajikan hasil penilaian RMR pada titik lereng JS-1 hingga JS-4, sedangkan Tabel 2 menyajikan hasil penilaian pada titik JS-5 hingga JS-7. Nilai RMR yang diperoleh menunjukkan rentang antara 25 hingga 72, yang mencerminkan variasi kualitas massa batuan dari kelas II (baik) hingga kelas IV (buruk).



Gambar 2. Kenampakan lereng batuan lava andesit terlapukkan di sekitar lokasi JS-4 dengan arah kemiringan dominan ke barat laut, yang menunjukkan kontrol struktur geologi terhadap orientasi lereng dan perkembangan jaringan diskontinuitas yang berimplikasi pada penurunan kestabilan lereng.

Hasil ini sejalan dengan temuan Basahel & Mitri (2017) serta Goel & Mitra (2021), yang menyatakan bahwa penurunan nilai RMR pada lereng batuan umumnya lebih dipengaruhi oleh degradasi kondisi

Tabel 1. Hasil penilaian RMR lereng JS-1

Parameter	Nilai JS-1
R ₁ , kekuatan batuan (MPa)	18,71 (Nilai: 2)
R ₂ , RQD (%)	55,78 (Nilai: 13)
R ₃ , jarak spasi kekar (cm)	6 – 13 (Nilai: 8)
R ₄ , kondisi diskontinuitas	Permukaan bidang kekar halus, bersifat menerus, dengan celah renggangan berkisar antara 1 hingga 5 mm, kondisi lapuk (Nilai: 10)
R ₅ , kondisi air tanah /aliran alir	Lembab (Nilai: 10)
R ₆ , orientasi kekar	Menguntungkan (Nilai: -2)
Nilai total RMR ₈₉	41
Kelas Deskripsi	III (Kriteria: Sedang)

Tabel 2. Hasil penilaian RMR lereng JS-2

Parameter	Nilai JS-2
R ₁ , kekuatan batuan (MPa)	56,89 (Nilai: 7)
R ₂ , RQD (%)	84,42 (Nilai: 17)
R ₃ , jarak spasi kekar (cm)	6 -16 (Nilai: 8)
R ₄ , kondisi diskontinuitas	Permukaan bidang kekar sedikit kasar, dengan celah renggangan kurang dari 1 mm, serta menunjukkan tingkat pelapukan yang rendah (Nilai: 25)
R ₅ , kondisi air tanah /aliran alir	Lembab (Nilai: 10)
R ₆ , orientasi kekar	Sangat Menguntungkan (Nilai: 0)
Nilai total RMR ₈₉	67
Kelas Deskripsi	II (Kriteria: Baik)

Tabel 3. Hasil penilaian RMR lereng JS-3

Parameter	Nilai JS-3
R ₁ , kekuatan batuan (MPa)	36,28 (Nilai: 4)
R ₂ , RQD (%)	43,37 (Nilai: 8)
R ₃ , jarak spasi kekar (cm)	4 – 13 (Nilai: 8)
R ₄ , kondisi diskontinuitas	Permukaan bidang kekar sedikit kasar, dengan celah renggangan kurang dari 1 mm, serta mengalami pelapukan (Nilai: 20)
R ₅ , kondisi air tanah /aliran alir	Lembab (Nilai: 10)
R ₆ , orientasi kekar	Sedang (Nilai: -25)
Nilai total RMR ₈₉	25
Kelas Deskripsi	IV (Kriteria: Buruk)

Tabel 4. Hasil penilaian RMR lereng JS-4

Parameter	Nilai JS-4
R ₁ , kekuatan batuan (MPa)	29,43 (Nilai: 4)
R ₂ , RQD (%)	52,49 (Nilai: 13)
R ₃ , jarak spasi kekar (cm)	6 – 13 (Nilai: 8)
R ₄ , kondisi diskontinuitas	Permukaan bidang kekar sedikit kasar, dengan celah renggangan kurang dari 1 mm, serta mengalami pelapukan (Nilai: 20)
R ₅ , kondisi air tanah /aliran alir	Lembab (Nilai: 10)
R ₆ , orientasi kekar	Sedang (Nilai: -25)
Nilai total RMR ₈₉	30
Kelas Deskripsi	IV (Kriteria: Buruk)

Tabel 5. Hasil penilaian RMR lereng JS-5

Parameter	Nilai JS-5
R ₁ , kekuatan batuan (MPa)	31,39 (Nilai: 4)
R ₂ , RQD (%)	55,78 (Nilai: 13)
R ₃ , jarak spasi kekar (cm)	7 – 14 (Nilai: 8)
R ₄ , kondisi diskontinuitas	Permukaan bidang kekar sedikit kasar, dengan celah renggangan kurang dari 1 mm, serta mengalami pelapukan (Nilai: 20)
R ₅ , kondisi airtanah /aliran alir	Kering (Nilai: 15)
R ₆ , orientasi kekar	Menguntungkan (Nilai: -2)
Nilai total RMR ₈₉	58
Kelas Deskripsi	III (Kriteria: Sedang)

diskontinuitas dan penurunan RQD akibat pelapukan, dibandingkan oleh perubahan parameter fisik tunggal. Studi-studi tersebut menegaskan bahwa pelapukan yang terfokus pada zona rekahan dan bidang geser menghasilkan

Tabel 6. Hasil penilaian RMR lereng JS-6

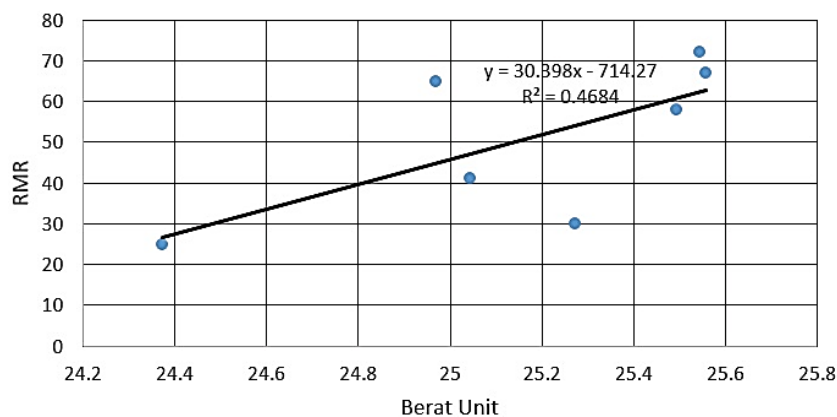
Parameter	Nilai JS-6
R ₁ , kekuatan batuan (MPa)	35,32 (Nilai: 4)
R ₂ , RQD (%)	59,18 (Nilai: 13)
R ₃ , jarak spasi kekar (cm)	7 – 12 (Nilai: 8)
R ₄ , kondisi diskontinuitas	Permukaan bidang kekar sedikit kasar, dengan celah renggangan kurang dari 1 mm, serta menunjukkan tingkat pelapukan yang rendah (Nilai: 25)
R ₅ , kondisi air tanah /aliran alir	Kering (Nilai: 15)
R ₆ , orientasi kekar	Sangat Menguntungkan (Nilai: 0)
Nilai total RMR ₈₉	65
Kelas Deskripsi	II (Kriteria: Baik)

pelemahan mekanik yang tidak selalu tercermin secara langsung pada parameter *bulk* seperti berat unit batuan, tetapi sangat berpengaruh terhadap stabilitas lereng secara keseluruhan.

Berdasarkan kedua tabel tersebut, lereng JS-2, JS-6, dan JS-7 memiliki nilai RMR relatif tinggi (65–72) dan termasuk dalam kelas II (baik). Lereng-lereng ini dicirikan oleh kondisi diskontinuitas yang masih baik, dengan permukaan kekar sedikit kasar, celah renggangan sempit (<1 mm), serta tingkat pelapukan yang rendah. Kondisi tersebut memungkinkan massa batuan mempertahankan kekuatan mekaniknya, sehingga stabilitas lereng relatif tinggi. Sebaliknya, lereng JS-3 dan JS-4 memiliki nilai RMR rendah, masing-masing sebesar 25 dan 30, dan diklasifikasikan sebagai massa batuan kelas IV (buruk).

Rendahnya nilai RMR pada kedua lokasi ini terutama dipengaruhi oleh kondisi diskontinuitas yang telah mengalami pelapukan lanjut, nilai RQD yang rendah, serta kekuatan batuan yang lebih kecil. Pelapukan yang intens menyebabkan pelebaran celah diskontinuitas dan terbentuknya material lempung pada bidang rekahan, yang secara signifikan menurunkan kualitas massa batuan dan meningkatkan potensi ketidakstabilan lereng (Kumar dkk., 2025). Lereng JS-1 dan JS-5 berada pada kondisi menengah dengan nilai RMR masing-masing sebesar 41 dan 58 (kelas III). Meskipun masih relatif stabil, kedua lokasi ini menunjukkan indikasi pelapukan yang lebih berkembang dibandingkan lereng dengan RMR tinggi, sehingga berpotensi mengalami penurunan stabilitas dalam jangka panjang.

Dalam penelitian ini, tingkat pelapukan massa batuan direpresentasikan oleh berat unit batuan sebagai parameter fisik yang mencerminkan degradasi sifat batuan akibat pelapukan. Hubungan antara berat unit batuan dan nilai RMR divisualisasikan dalam bentuk grafik sebar yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan antara berat unit batuan dan nilai RMR, yang mengindikasikan adanya korelasi sedang ($R^2 = 0,468$), namun dengan tingkat signifikansi statistik yang rendah ($p\text{-value} > 0,05$), sehingga menunjukkan bahwa pengaruh pelapukan terhadap kualitas massa batuan lebih dominan tercermin melalui degradasi parameter diskontinuitas dan kekuatan batuan daripada perubahan berat unit secara langsung.

Tabel 7. Hasil penilaian RMR lereng JS-7

Parameter	Nilai JS-7
R ₁ , kekuatan batuan (MPa)	61,69 (Nilai: 7)
R ₂ , RQD (%)	87,81 (Nilai: 17)
R ₃ , jarak spasi kekar (cm)	9 – 18 (Nilai: 8)
R ₄ , kondisi diskontinuitas	Permukaan bidang kekar sedikit kasar, dengan celah renggangan kurang dari 1 mm, serta menunjukkan tingkat pelapukan yang rendah (Nilai: 25)
R ₅ , kondisi airtanah /aliran alir	Kering (Nilai: 15)
R ₆ , orientasi kekar	Sangat Menguntungkan (Nilai: 0)
Nilai total RMR ₈₉	72
Kelas Deskripsi	II (Kriteria: Baik)

Analisis statistik menunjukkan nilai *Multiple R* sebesar 0,684, yang mengindikasikan adanya hubungan sedang antara berat unit batuan dan nilai RMR. Nilai *R Square* sebesar 0,468 menunjukkan bahwa sekitar 46,8% variasi nilai RMR dapat dijelaskan oleh variasi berat unit batuan. Namun demikian, hasil uji signifikansi menunjukkan bahwa hubungan tersebut belum signifikan secara statistik pada tingkat kepercayaan 95%, dengan nilai *Significance F* dan *p-value* koefisien berat unit lebih besar dari 0,05 (Cohen dkk., 2017; Griffiths & Needleman, 2019; Hayat, 2010). Implikasi dari temuan ini menegaskan bahwa meskipun berat unit batuan relevan sebagai indikator tingkat pelapukan, evaluasi kestabilan lereng berbasis RMR memerlukan pendekatan multidimensi yang mengintegrasikan parameter fisik dan struktural secara simultan.

Korelasi sedang antara berat unit batuan dan nilai RMR yang diperoleh dalam penelitian ini juga sejalan dengan pendekatan statistik yang dikemukakan oleh Dagdelenler dkk. (2011) dan Mei dkk. (2021), yang menunjukkan bahwa hubungan

antara parameter fisik batuan dan klasifikasi massa batuan bersifat kompleks dan non linier, terutama pada batuan yang mengalami pelapukan heterogen. Dengan demikian, hasil statistik dalam penelitian ini tidak bertentangan dengan teori yang ada, tetapi justru menguatkan pemahaman bahwa evaluasi kestabilan lereng memerlukan integrasi parameter fisik, struktural, dan klasifikasi massa batuan secara simultan.

Secara geoteknik, hasil ini menunjukkan bahwa meskipun berat unit batuan dapat digunakan sebagai indikator tingkat pelapukan, pengaruhnya terhadap nilai RMR tidak bersifat linier dan langsung. Hal ini disebabkan oleh pelapukan yang cenderung berkembang secara heterogen dan lebih terkonsentrasi pada zona diskontinuitas, sehingga penurunan kualitas massa batuan lebih tercermin pada parameter kondisi kekar, RQD, dan kekuatan batuan dibandingkan pada perubahan berat unit secara keseluruhan. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa pelapukan mempengaruhi stabilitas lereng terutama melalui degradasi struktur internal massa batuan dan pelemahan bidang diskontinuitas (Dagdelenler dkk., 2011; Mei dkk., 2021; Moses dkk., 2014).

Berdasarkan hasil analisis nilai RMR dan keterkaitannya dengan tingkat pelapukan, dapat diinterpretasikan bahwa kondisi kestabilan massa batuan di lokasi penelitian terutama dikontrol oleh karakteristik intrinsik batuan yang dipengaruhi oleh proses pelapukan, seperti kekuatan batuan utuh, nilai RQD, dan kondisi diskontinuitas. Massa batuan yang relatif segar dan hanya mengalami pelapukan ringan cenderung menunjukkan nilai RMR yang lebih tinggi, yang merefleksikan kualitas massa batuan yang baik dan tingkat kestabilan yang lebih tinggi. Sebaliknya, massa batuan dengan tingkat pelapukan lanjut dicirikan oleh penurunan kekuatan batuan, pembukaan dan pelunakan bidang diskontinuitas, serta penurunan nilai RQD, yang secara kumulatif menurunkan nilai RMR dan meningkatkan potensi ketidakstabilan. Pola ini sejalan dengan berbagai kajian sebelumnya yang

menegaskan bahwa sistem klasifikasi geoteknik seperti RMR sensitif terhadap perubahan kualitas massa batuan yang dikontrol oleh pelapukan dan karakteristik diskontinuitas (Basahel & Mitri, 2017; Goel & Mitra, 2021; Wyllie, 2018).

Dalam konteks evaluasi kestabilan massa batuan pada kawasan perbukitan vulkanik, pendekatan yang menitikberatkan pada kualitas massa batuan dan tingkat pelapukan melalui klasifikasi RMR terbukti lebih relevan dan aplikatif untuk mendukung upaya mitigasi risiko longsor. Parameter geoteknik yang merepresentasikan kondisi fisik dan mekanik massa batuan, khususnya kekuatan batuan, RQD, serta kondisi diskontinuitas, merupakan indikator utama dalam menilai potensi keruntuhan lereng. Oleh karena itu, penggunaan sistem klasifikasi massa batuan yang secara eksplisit mempertimbangkan pengaruh pelapukan memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi perencanaan dan pengelolaan risiko geoteknik, serta mendukung perancangan penanganan lereng batuan yang lebih aman dan efektif (Hudson & Harrison, 2005; Liu dkk., 2025; Wyllie, 2018).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat pelapukan massa batuan merupakan faktor kunci yang mengontrol kualitas massa batuan dan kestabilan lereng di Ruas Jalan Goa Jepang, Bantul. Hubungan antara pelapukan massa batuan yang direpresentasikan oleh berat unit batuan dan nilai RMR berhasil diidentifikasi, di mana peningkatan derajat pelapukan cenderung diikuti oleh penurunan kualitas massa batuan sebagaimana tercermin dalam nilai RMR. Meskipun hubungan tersebut tidak sepenuhnya linier akibat perkembangan pelapukan yang heterogen dan terfokus pada zona diskontinuitas, temuan ini secara konseptual mendukung hipotesis bahwa pelapukan berpengaruh terhadap variasi RMR dan implikasinya terhadap stabilitas lereng.

Hasil penelitian menegaskan bahwa kestabilan massa batuan pada kawasan perbukitan vulkanik lebih ditentukan oleh degradasi karakteristik intrinsik batuan, khususnya kekuatan batuan utuh, kondisi diskontinuitas, dan nilai RQD dibandingkan oleh perubahan satu parameter fisik tunggal. Dengan demikian, sistem klasifikasi massa batuan berbasis RMR tetap relevan dan aplikatif sebagai alat evaluasi kestabilan lereng batuan terlapukkan. Secara praktis, penelitian ini memberikan dasar teknis yang kuat bagi penggunaan RMR dalam mendukung pengambilan keputusan rekayasa dan perencanaan mitigasi risiko longsor pada lereng jalan di daerah perbukitan vulkanik.

DAFTAR PUSTAKA

Alhadar, H., Rachmansyah, A., & Suryo, E. A. (2021). Rock Slope Stability of Ponorogo - Pacitan Road Km 232.5 using Rock Mass Rating (RMR) and Rocplane Software. *Rekayasa Sipil*, 15(3), 199–207. <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.202>

1.015.03.6

- Bahrami, S., Fatemi Aghda, S. M., Bahrami, K., Motamedi Rad, M., & Poorhashemi, S. (2015). Effects of Weathering and Lithology on the Quality of Aggregates in the Alluvial Fans of Northeast Rivand, Sabzevar, Iran. *Geomorphology*, 241, 19–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.028>
- Bakker, E., Pattilouw, S., Tanikwele, D., Tuhumury, D., Ayal, C., & Ulorlo, V. (2023). Korelasi Data Citra Satelit Radar dan Geologi untuk Analisis Deformasi Permukaan, Studi Kasus Gempa Ambon September 2019. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 4(1), 11–18. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2023.v4i1.100>
- Bakosurtanal. (1999). *Peta Rupabumi Digital Indonesia Lembar 1408-221 (Bantul)*. Jakarta: Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional.
- Basahel, H., & Mitri, H. (2017). Application of Rock Mass Classification Systems to Rock Slope Stability Assessment: A Case Study. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9, 993–1009. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.07.007>
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. John Wiley & Sons.
- Campos, L. A., Marques, E. A. G., Costa, T. A. V., & Ferreira Filho, F. A. (2020). Proposed Adjustments and Validation of Different RMR89 Geomechanical Classification for Quadrilátero Ferrífero Lithologies. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79(10), 5031–5048. <https://doi.org/10.1007/s10064-020-01879-8>
- Celada, B., Tardáguila, I., Varona, P., Rodríguez, A., & Bieniawski, Z. T. (2014). Innovating Tunnel Design by an Improved Experience-Based RMR System. *Proceedings of the World Tunnel Congress*, 9. Comitê Brasileiro de Túneis.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2017). Statistical Significance, Effect Size and Statistical Power. *Research Methods in Education*, 739–752. <https://doi.org/10.4324/9781315456539-39>
- Dagdelenler, G., Sezer, E. A., & Gokceoglu, C. (2011). Some Non-Linear Models to Predict the Weathering Degrees of A Granitic Rock from Physical and Mechanical Parameters. *Expert Systems with Applications*, 38(6), 7476–7485. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.12.076>
- Geological Society of London. (1990). Tropical Residual Soils: Geological Society Engineering Group Working Party Report on The Logging of Cores for Engineering Purposes. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 23(1), 4–101.
- Goel, R. K., & Mitra, S. (2021). Weathering and its Influence on Rock Slope Stability in Hilly

- Areas. *Journal of Rock Mechanics and Tunnelling Technology*, 27(1), 49–62.
- Griffiths, P., & Needleman, J. (2019). Statistical Significance Testing and P-values: Defending the Indefensible? A Discussion Paper and Position Statement. *International Journal of Nursing Studies*, 99, 103384. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2019.07.001>
- Hayat, M. J. (2010). Understanding Statistical Significance. *Nursing Research*, 59(3), 219–223. <https://doi.org/10.1097/nnr.0b013e3181dbb2c>
- Heriyadi, N. W. A. A. T., & Tania, D. (2018). Analisis Kekuatan Massa Batuan Andesit Menggunakan Kaidah Kriteria Keruntuhan Hoek-Brown untuk Mengetahui Nilai Faktor Keamanan Lereng pada Daerah Seloharjo, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, DIY. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 11(1), 11–20. <https://doi.org/10.34151/technoscientia.v11i1.110>
- Hidayah, R. A., & Dzakiya, N. (2018). Analysis Geological and Geophysical Data for Prediction Landslide Hazard Zone with Weight of Evidence Method in Pacitan District East Java. *Journal of Applied Geospatial Information*, 2(1), 117–123. <https://doi.org/10.30871/jagi.v2i1.830>
- Hudson, J. A., & Harrison, J. P. (2005). *Engineering Rock Mechanics - An Introduction to the Principles (4th ed.)*. Elsevier Science.
- Husein, S., Sudarno, I., Pramumijoyo, S., & Karnawati, D. (2010). Paleostress Analysis to Interpret the Landslide Mechanism: A Case Study in Parangtritis, Yogyakarta. *Journal of Applied Geology*, 2(2), 104–109. <https://doi.org/10.22146/jag.7251>
- Koesoemadinata, R. P. (2020). *An Introduction Into the Geology of Indonesia*. Bandung: ITB Press.
- Kumar, S., Srivastava, P., Islam, R., & Pawar, R. (2025). Kaliasaur fault and associated landslides: a coupled analysis of structure, weathering and slope instability. *Proceedings of the Indian National Science Academy*. <https://doi.org/10.1007/s43538-025-00655-0>
- Liu, C.-Y., Ku, C.-Y., & Wu, T.-Y. (2025). Advancing Rock Mass Classification using Machine Learning Approach. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 84(12). <https://doi.org/10.1007/s10064-025-04585-5>
- Mei, H., Jian, X., Zhang, W., Fu, H., & Zhang, S. (2021). Behavioral Differences between Weathering and Pedogenesis in a Subtropical Humid Granitic Terrain: Implications for Chemical Weathering Intensity Evaluation. *CATENA*, 203, 105368. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105368>
- Moses, C., Robinson, D., & Barlow, J. (2014). Methods for Measuring Rock Surface Weathering and Erosion: A Critical Review. *Earth-Science Reviews*, 135, 141–161. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.04.006>
- Nugraheni, A. S., Setianto, A., & Setiawan, H. (2024). Comparison of Vs30 Value from Microtremor Data Based on SPT Drill Test of Young Merapi Deposits in Opak River, Yogyakarta. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 5(2), 101–110. <https://doi.org/10.23960/jgrs.ft.unila.304>
- Rakhman, A. N. (2024a). Determinasi dan Penerapan Rock Mass Rating untuk Penilaian Stabilitas Lereng Andesit di Seloharjo, Bantul. *Jnanaloka*, 5(1), 21–29. <https://doi.org/10.36802/jnanaloka.2024.v5-no01-21-29>
- Rakhman, A. N. (2024b). Studi Analisis Struktur Batuan dan Evaluasi RQD: Potensi Longsor di Ruas Jalan Goa Jepang, Jelapan, Bantul. *Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management*, 3(1), 1–11. <https://doi.org/10.38043/reinforcement.v3i1v>
- Rakhman, A. N., Zakaria, Z., Muslim, D., Haryanto, I., & Mulyaningsih, S. (2019). Modification of Rock Mass Classification in The Rock Slope Platy Jointed Andesite at Seloharjo Area. *International Journal of GEOMATE*, 16(53), 163–170. <https://doi.org/10.21660/2018.53.32848>
- Rusdiana, D. D., Nuryandini, R., Imelia, J. H., & Hafidah, N. S. (2021). Pemanfaatan Informasi Spasial Berbasis SIG Untuk Pemetaan Tingkat Kerawanan Longsor Di Kabupaten Karangasem, Bali. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 2(2), 49–55. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2021.v2i2.51>
- Triana, K., & Hermawan, K. (2020). Slope Mass Rating-Based Analysis to Assess Rockfall Hazard on Yogyakarta Southern Mountain, Indonesia. *Geoenvironmental Disasters*, 7(24), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00164-w>
- Wyllie, D. C. (2018). *Rock Slope Engineering: Civil Applications (5th ed.)*. CRC Press.
- Xu, Z., Yu, T., Lin, P., & Li, S. (2023). Anomalous Patterns of Clay Minerals in Fault Zones. *Engineering Geology*, 325, 107279. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2023.107279>
- Yellas, C., & Benzaid, R. (2019). Geological Context and Fracturing State of the Rock Massifs of the Jijelian Ledge (Northeast Algeria). In *Advances in Science, Technology & Innovation* (pp. 149–152). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01665-4_35
- Yulianto, K. A. (2019). Pusat Informasi Pariwisata dan Amenitas Wisata Goa Jepang dengan Nilai Edukatif melalui Pendekatan Kontekstual di Desa Seloharjo, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, D. I. Yogyakarta. *Skripsi*, Universitas Atma Jaya, Yogyakarta.