



Studi Analisis Struktur Batuan dan Evaluasi RQD: Potensi Longsoran di Ruas Jalan Goa Jepang, Jelapan, Bantul

Arie Noor Rakhman^{a,*}

^aUniversitas AKPRIND Indonesia, Yogyakarta

*Corresponding author, email address: arie_rakhman@akprind.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2 Januari 2024

Revised: 12 Februari 2024

Accepted: 5 April 2024

Available Online: 30 April 2024

Kata Kunci:

RQD, kekar, stabilitas, lereng, massa batuan

Keywords:

RQD, joint, stability, slopes, rock mass

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus untuk mengevaluasi potensi longsor di Jalan Goa Jepang, Bantul, mengingat pentingnya menjaga stabilitas lereng batuan di kawasan bersejarah yang juga esensial untuk aksesibilitas pariwisata. Lokasi penelitian ini terdapat pada sepanjang Jalan Goa Jepang Metode yang dipergunakan yaitu penelitian di lapangan dengan teknik *scanline* pada analisis RQD. Analisis arah tegasan kekar dilakukan di studio dengan menggunakan bantuan diagram roset melalui aplikasi Dips. Rentang nilai RQD dari 43,37% hingga 87,81% pada tujuh lereng batuan mengindikasikan variasi kualitas massa batuan, dengan dominasi kualitas menengah. Selain itu, orientasi kekar, terutama arah tegasan maksimum (σ_1) antara N221°E hingga N329°E, turut berperan dalam menentukan potensi longsoran. Lereng batuan dengan perbedaan kecil antara arah σ_1 dan arah kemiringan lereng, seperti pada lokasi *scanline* 3 dan 4, memiliki potensi lebih tinggi untuk mengalami longsoran. Meskipun lereng batuan *scanline* 4 berpotensi longsor, nilai RQD yang lebih tinggi (52,49%) menunjukkan kualitas massa batuan yang lebih baik daripada lereng batuan lokasi *scanline* 3 (43,37%). Penilaian RQD dan orientasi kekar dapat dianggap sebagai metode awal yang bermanfaat dalam mengevaluasi potensi longsoran, namun analisis yang lebih mendalam memerlukan pertimbangan tambahan seperti penerapan metode kinematika batuan dengan dukungan sistem yang lebih komprehensif, seperti *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR). Oleh karena itu, disarankan untuk mengintegrasikan berbagai parameter kondisi kekar yang relevan dalam analisis yang lebih holistik tentang stabilitas lereng batuan.

ABSTRACT

The background of this research focuses on the analysis of landslide potential at Jalan Goa Jepang, Bantul, using Rock Quality Designation (RQD) evaluation and joint stress direction analysis, considering the importance of maintaining rock slope stability in the historical area which is also essential for tourism accessibility. The method used was field research using the scanline technique in RQD analysis.

Analysis of the direction of joint stress was conducted in the studio with the help of rosette diagrams through the Dips application. The range of RQD values from 43.37% to 87.81% on seven rock slopes indicates the variation of rock mass quality, with the dominance of medium quality. In addition, the orientation of the joint, especially the direction of maximum stress (σ_1) between N221°E to N329°E, also plays a role in determining the landslide potential. Rock slopes with a small difference between the σ_1 direction and the slope direction, such as at scanline 3 and 4 locations, have a higher potential for landslides. Although the rock slope of scanline 4 has landslide potential, the higher RQD value (52.49%) indicates better rock mass quality than the rock slope of scanline 3 (43.37%). The assessment of RQD and joint orientation can be considered as a useful preliminary method in evaluating landslide potential, but more in-depth analysis requires additional considerations such as the application of rock kinematics methods with the support of more comprehensive systems, such as RMR and SMR. Therefore, it is recommended to integrate various relevant joint condition parameters into a more holistic analysis of rock slope stability.



1. PENDAHULUAN

Ruas jalan Goa Jepang, terletak di Jelapan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, berfungsi sebagai jalur utama yang menghubungkan pengunjung menuju obyek wisata gua buatan yang memiliki nilai sejarah di Komplek Wisata Parangtritis. Di area tersebut, terdapat gua-gua bersejarah yang mencerminkan warisan budaya dari Kerajaan Mataram Hindu dan Mataram Islam, seperti Goa Surocolo, serta gua yang terkait dengan masa pendudukan Jepang, yang dikenal sebagai Goa Jepang [1]. Dengan kondisi demikian, ketika terjadi gangguan stabilitas lereng batuan atau longsor, maka dapat mengganggu lingkungan, fungsi jalan raya dan bangunan sipil sekitarnya.

Tebing batuan di jalan tersebut terdiri dari formasi lava andesit yang terkekarkan, dimana lava andesit tersebut merupakan bagian dari Formasi Nglanggran [2]. Kekar sebagai struktur sekunder pada lereng batuan tersebut merupakan bagian dari struktur penyerta dari Sesar Opak sebagai sesar utama berikut sesar minornya, seperti Sesar Girijati dan Sesar Parangtritis [3]. Selain struktur sekunder dalam bentuk diskontinuitas batuan, terdapat juga kekar berlembar (*platy joint*) yang hadir sebagai kekar primer batuan [4]. Meskipun penelitian geoteknik sebelumnya mengemukakan tebing tersebut stabil, namun kecenderungan lereng terhadap potensi keruntuhan jenis baji telah diidentifikasi [5]. Beberapa penilaian stabilitas lereng menggunakan sistem klasifikasi massa batuan telah dilakukan di sekitar daerah penelitian, seperti: *Rock Mass Rating* [6], *Geological Strength Index* [7], *Slope Mass Rating* [8], namun belum ada penelitian yang secara khusus memperhatikan karakteristik struktur batuan berupa kekar dalam hal arah tegasan dan intensitas kekar, serta mengevaluasi kualitas massa batuan di sekitar jalan tersebut.

Dalam penelitian ini, *Rock Quality Designation* (RQD) digunakan sebagai alat untuk mengevaluasi kualitas batuan, yang dipadukan dengan analisis arah tegasan kekar. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengaplikasikan analisis kekar dengan menggunakan RQD sebagai parameter untuk menilai potensi longsor di sepanjang jalan Goa Jepang. Dengan pemahaman yang lebih mendalam mengenai kualitas batuan dan karakteristik kekar, langkah-langkah mitigasi bencana longsor yang tepat dapat direkomendasikan.

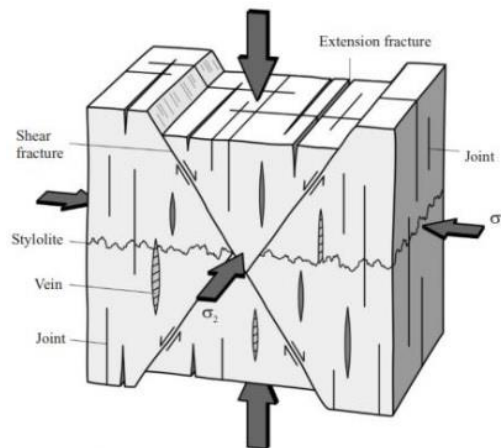
2. KAJIAN PUSTAKA

Kekar merupakan salah satu struktur geologi yang melibatkan diferensiasi permukaan material serta diskontinuitas pada batuan [9]. Selain kekar, dalam konteks batuan, struktur geologi yang umumnya ditemui mencakup perlapisan, sesar [10], serta ketidakselarasan dan skistositas [9]. Diskontinuitas pada batuan terbentuk secara alami, yang mengakibatkan pecahnya batuan melalui bidang strukturalnya [11]. Pembentukan massa batuan terpisah terjadi melalui bidang struktural yang merupakan bidang lemah yang potensial untuk menyebabkan keruntuhan pada lereng batuan [12].

Kekar yang terbentuk pada batuan merupakan hasil dari adanya diskontinuitas pada massa batuan sebagai tanggapan terhadap tegangan (*stress*) atau tekanan yang diterapkan pada batuan tersebut. Karakteristik dari kondisi diskontinuitas batuan adalah hilangnya atau terputusnya kontinuitas atau kohesi batuan sepanjang bidang kekar tersebut. Tegangan yang diterapkan pada batuan merupakan bagian dari distribusi gaya alami yang timbul dari gaya tektonik serta beban eksternal yang bertindak pada batuan. Ketika batuan mencapai batas tekanan tertentu yang terlampaui, terjadilah patahan dan pembentukan kekar. Besarnya tekanan yang diterapkan per satuan luas pada batuan tersebut dikenal sebagai kekuatan batuan. Sifat tekanan yang terkait dengan pembentukan diskontinuitas batuan meliputi tekanan normal, geser, atau kombinasi dari kedua sifat tersebut [13].

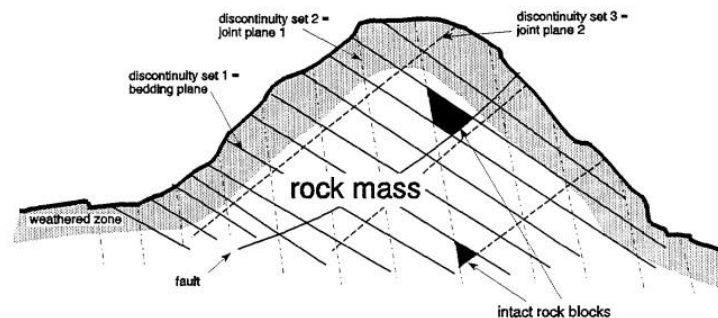
Deformasi merujuk pada proses di mana batuan mengalami perubahan struktural sebagai respons terhadap penerapan tekanan atau *stress*. Meskipun berada dalam keadaan fisik yang serupa, berbagai jenis batuan dalam suatu massa batuan dapat menunjukkan variasi dalam pola deformasi. Kekompetenan menjadi elemen integral dalam pemahaman karakteristik deformasi batuan dan digunakan sebagai alat untuk mengklasifikasikan berbagai jenis batuan berdasarkan tanggapannya terhadap proses deformasi [14]. Batuan yang bersifat kompeten (*competent rock*) cenderung mengalami deformasi yang bersifat lebih

elastis atau brittle, artinya batuan cenderung kembali ke bentuk semula setelah stres dihilangkan atau mengalami retakan dan patah. Di sisi lain, batuan yang tidak kompeten (*incompetent rock*) cenderung mengalami deformasi yang bersifat lebih plastis. Batuan cenderung mempertahankan bentuk baru mereka setelah *stress* dihilangkan dan tidak mengalami patah atau retakan seperti batuan yang kompeten [15]. Deformasi batuan akibat interaksi 3 tegasan utama dari gaya tektonik menjadi pembentukan kekar pada batuan. Ketiga tegasan terdiri dari tegasan maksimum (σ_1), intermediate (σ_2) dan tegasan minimum (σ_3). Kekar, berdasarkan arah gerakannya dibedakan menjadi *extension* and *shear fracture*. *Shear fracture* berupa kekar berpasangan dengan orientasi sudut lancipnya searah dengan tegasan maksimum (σ_1), sedangkan *extension fracture* berupa kekar paralel sejajar dengan tegasan maksimum (σ_1) [16]. Tampilan visual dari orientasi dari variasi jenis kekar dengan pola orientasinya akibat kinerja tegangan (*stress*) batuan, dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Orientasi dari variasi jenis kekar dan arah tegasan utama

Massa batuan terdiri dari sekumpulan blok batuan yang tidak terpisahkan, namun dibatasi oleh diskontinuitas. Hal ini menyebabkan permasalahan dalam stabilitas lereng batuan yang sebagian besar dikendalikan oleh kekar-kekar, bukan hanya oleh batuan utuh. Dalam susunan massa batuan tersebut, karakteristik mekanik dari blok batuan utuh dan diskontinuitas tidak selalu seragam dan dapat memiliki anisotropi. Blok batuan utuh merujuk pada bagian batuan yang tidak mengandung diskontinuitas mekanis dan biasanya memiliki kekuatan tarik yang signifikan. Prakondisi tersebut dapat memengaruhi stabilitas lereng batuan, terutama dengan adanya diskontinuitas atau retakan yang dapat mengakibatkan perubahan pada stabilitas keseluruhan [17]. Massa batuan dengan bagian-bagiannya berupa batuan utuh dan diskontinuitas batuan, dapat dilihat pada **Gambar 2**.



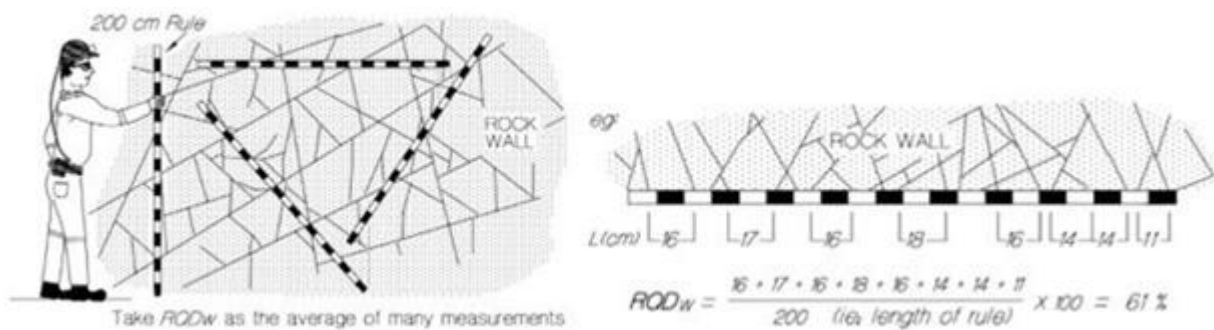
Gambar 2. Batuan utuh dan diskontinuitas batuan pada massa batuan

Struktur batuan memiliki peran yang sangat penting dalam mengatur perilaku mekanika serta

karakteristik deformasi dari massa batuan [9]. Adanya diskontinuitas dalam batuan menciptakan batas-batas yang mempengaruhi sifat mekanik serta stabilitas keseluruhan dari massa batuan tersebut. Perbedaan dalam sifat mekanik antara blok batuan utuh dan diskontinuitas dapat menghasilkan variasi dalam kekuatan, kemampuan deformasi, dan stabilitas massa batuan [17]. Karena itu, atribut-atribut dari bidang struktur menjadi perhatian yang signifikan dalam pengembangan sistem klasifikasi massa batuan.

Rock Quality Designation (RQD) merupakan sistem klasifikasi massa batuan tertua yang masih relevan dalam penggunaannya hingga saat ini. Inisiatif pertama penggunaan RQD diinisiasi oleh Deere pada tahun 1963 [18], dan kemudian pada tahun 1967, metode ini diterapkan untuk klasifikasi massa batuan dengan memperhitungkan parameter panjang inti bor utuh [19]. Melalui perkembangan lebih lanjut, RQD telah menjadi parameter yang integral dalam berbagai sistem klasifikasi lainnya seperti *Rock Mass Rating* (RMR) yang diperkenalkan oleh Bieniawski pada tahun 1989, yang mencakup evaluasi kondisi batuan baik di permukaan maupun di bawah permukaan. Selain itu, RQD juga dimasukkan dalam sistem Q yang digunakan untuk mengevaluasi stabilitas batuan di bawah permukaan, yang diperkenalkan oleh Barton et al. pada tahun 1974 [20].

Dalam penilaian RQD untuk batuan bawah permukaan dilakukan pada sampel inti bor (*core sample*). Sampel inti bor ini berupa sampel batuan yang didapat dari suatu pemboran inti. Inti yang dipergunakan dalam pengukuran sistem klasifikasi massa batuan RQD memiliki diameter optimal 47,5 mm. Penilaian RQD menggunakan perhitungan perbandingan antara inti (*core*) batuan yang utuh dengan panjang lebih dari 10 cm (4 in) terhadap panjang total *core* batuan hasil pemboran. Perhitungan tidak dilakukan pada inti batuan yang lunak atau tidak keras walaupun panjang inti lebih dari 10 cm [21]. Selain studi pengeboran inti, pengukuran RQD dapat dilakukan secara tidak langsung dengan survei *scanline* pada singkapan massa batuan [22]. Visualisasi penerapan metode *scanline* disajikan pada **Gambar 3**.



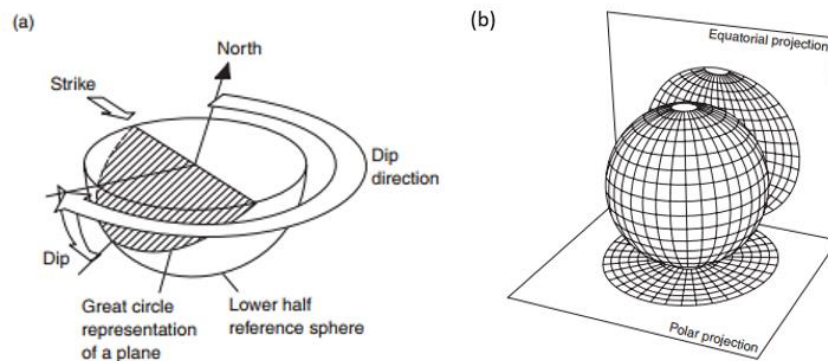
Gambar 3. Aplikasi *scanline* pada massa batuan

Keunggulan RQD terletak pada kemampuannya sebagai metode yang cepat dan objektif untuk memperkirakan kualitas massa batuan, memberikan perkiraan awal tentang perilaku batuan serta potensi risiko dalam ekskavasi. RQD juga dapat dikorelasikan dengan frekuensi kekar, kemasifan massa batuan, dan properti lainnya, yang memperkuat nilai analisisnya. Meskipun memiliki batasan, seperti ketidakakuratan dalam mencerminkan kondisi massa batuan dengan jarak kekar yang besar, RQD tetap menjadi metode awal yang penting dalam penilaian, dan pendekatan alternatif untuk mengestimasi telah diusulkan Deere dan kawan-kawan tahun 1967 [22]. Dengan keunggulan ini, RQD tetap menjadi alat yang relevan dalam memahami karakteristik massa batuan untuk keperluan rekayasa.

RQD mempunyai keunggulan untuk penilaian kualitas batuan yang sederhana dengan biaya murah, yaitu dalam interpretasi penilaian massa batuan dengan menggunakan parameter jarak kekar (*joint spacing*) [23]. Meskipun demikian, RQD mempunyai kelemahan internal dalam pendiskripsian massa batuan yang kurang memadai. Salah satu parameter yang belum digunakan dalam RQD yaitu orientasi kekar, dimana orientasi diskontinuitas ini dapat dilakukan dengan analisis arah tegasan kekar. Analisis kekar ini dapat dilakukan dengan menggunakan proyeksi stereografis. Proyeksi stereografis memberikan kemampuan untuk merepresentasikan dan menganalisis data orientasi tiga dimensi dalam format dua

dimensi [24]. Dalam presentasi stereografis, salah satu dimensi dihilangkan sehingga garis atau titik dapat digunakan untuk merepresentasikan bidang, sementara titik dapat digunakan untuk merepresentasikan garis. Proyeksi stereografis memiliki batasan yang signifikan, dimana hanya hubungan sudut antara garis dan bidang yang dipertimbangkan, dan tidak menyajikan posisi fisik atau dimensi aktual dari fitur yang diamati. Proyeksi stereografis umumnya terdiri dari sebuah bola proyeksi, di mana bidang ekuator bola tersebut berada dalam posisi horizontal, dan orientasi bola tetap relatif terhadap arah utara [12]. Visualisasi untuk merepresentasikan stereografis dari bidang dan garis pada setengah bagian bawah bola proyeksi dapat dilihat pada **Gambar 4(a)**.

Dua jenis proyeksi stereografis yang umum digunakan dalam bidang geologi struktural adalah proyeksi polar (*polar projection*) dan proyeksi ekuatorial (*equatorial projection*) [24], sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 4(b)**. Jaringan polar digunakan secara khusus untuk memetakan kutub-kutub, sementara jaringan ekuatorial dapat digunakan untuk memetakan baik bidang maupun kutub. Dalam proyeksi ekuatorial, jenis proyeksi stereonet yang paling umum adalah *net equal area* atau Lambert (Schmidt). Pada jaringan ini, setiap titik pada permukaan bola referensi diproyeksikan sebagai area yang memiliki luas yang sama pada stereonet. Karakteristik ini dari jaringan digunakan dalam kontur plot kutub untuk mengidentifikasi konsentrasi kutub yang mencerminkan orientasi preferensial atau set diskontinuitas (kekar). Di sisi lain, jenis proyeksi ekuatorial lainnya adalah *Wulff net (equal angle)*; meskipun *Wulff net* dan *Lambert net* sama-sama dapat digunakan untuk memeriksa hubungan sudut, namun hanya *Lambert net* yang dapat digunakan untuk menghasilkan kontur konsentrasi kutub [12].



Gambar 4. Representasi stereografis dari bidang dan garis (a); proyeksi polar dan ekuatorial dari sebuah bola proyeksi (b)

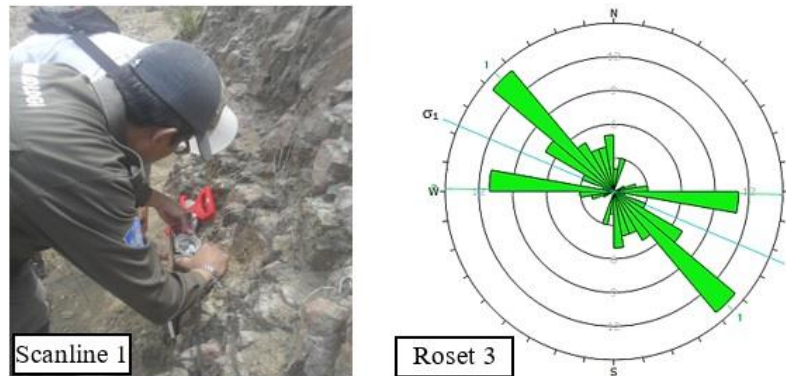
3. METODE PENELITIAN

Penelitian diawali dengan studi pustaka atas penelitian yang telah dilakukan peneliti terdahulu. Melalui studi pustaka ini dapat diketahui kondisi geologi terutama terkait dengan struktur geologi dan stabilitas lereng batuan. Data dari penelitian terdahulu menjadi bagian pengolahan data sekunder sebagai pendukung atas hipotesa yang diajukan. Setelah tahapan ini, maka tahap pengumpulan data primer dan pengolahan data dilakukan.

Data primer merupakan data yang dikumpulkan di lapangan yang diperoleh secara empiris, sesuai dengan hasil pengamatan diskontinuitas (kekar) batuan di lapangan. Data ini berupa data jumlah set kekar, jarak kekar, arah *scanline* (searah orientasi lereng), kedudukan kekar dan kondisi permukaan bidang kekar. Observasi data dilakukan pada tujuh titik lokasi *scanline* pada tujuh lereng batuan, yaitu *scanline* 1: $7^{\circ}59'19,38''$ (South) & $110^{\circ}19'18,84''$ (East); *scanline* 2: $7^{\circ}59'20,23''$ (South) & $110^{\circ}19'19,32''$ (East); *scanline* 3: $7^{\circ}59'20,88''$ (South) & $110^{\circ}19'19,09''$ (East); *scanline* 4: $7^{\circ}59'19,23''$ (South) & $110^{\circ}19'20,58''$ (East); *scanline* 5: $7^{\circ}59'20,28''$ (South) & $110^{\circ}19'22,03''$ (East); *scanline* 6: $7^{\circ}59'25,08''$ (South) & $110^{\circ}19'16,83''$ (East); *scanline* 7: $7^{\circ}59'24,04''$ (South) & $110^{\circ}19'18,08''$ (East).

Data yang dikumpulkan dari lapangan, selanjutnya dianalisis di laboratorium (studio). Data

pengukuran kedudukan kekar pada 7 lereng batuan dimana *scanline* tersebut dilakukan analisis arah tegasan kekar. Analisis data ini menggunakan bantuan diagram roset melalui aplikasi Dips versi ke-6 (**Gambar 5**), sehingga diperoleh arah tegasan utama maksimum (σ_1) dan minimum (σ_3) dari proyeksi polarnya (Rocscience, 2024). Arah tegasan utama maksimum (σ_1) merupakan nilai tengah dari derajat posisi azimuth sudut lancip antara dua set kekar dari kekar berpasangan (*shear joints*).



Gambar 5. Pengukuran kekar di lapangan (kiri) dan diagram roset dari arah umum kekar (kanan)

Arah umum tegasan ini dipergunakan untuk menginterpretasikan arah longsoran yang mungkin terjadi atas kualitas lereng batuan, yang diidentifikasi dari penilaian RQD. Arah umum tegasan σ_1 diperoleh dari diagram roset setengah lingkarannya, dimana nilai salah set kekar pasangannya dikelompokkan dengan selisih 180° . Secara umum dalam matematis, besar σ_1 dapat pula dihitung dengan menggunakan nilai arah umum kedua set kekar (set A dan set B) sebagai berikut.

$$\sigma_1 = \frac{setA + (setB + 180^\circ)}{2} \quad (1)$$

Analisis data *scanline* dilakukan dengan mengikuti kaidah Priest dan Hudson tahun 1979 [11], [21]. Pada kaidah ini penilaian RQD menggunakan hasil pengamatan diskontinuitas berupa frekuensi diskontinuitas dari *scanline* di tujuh lereng batuan tersebut. Frekuensi diskontinuitas per meter panjang *scanline* diperoleh dari data jumlah kekar per meter di lapangan dimasukkan ke dalam notasi λ pada persamaan 1 untuk perhitungan RQD sebagai berikut.

$$RQD = 100(0,1\lambda + 1)e^{-0,1\lambda} \quad (2)$$

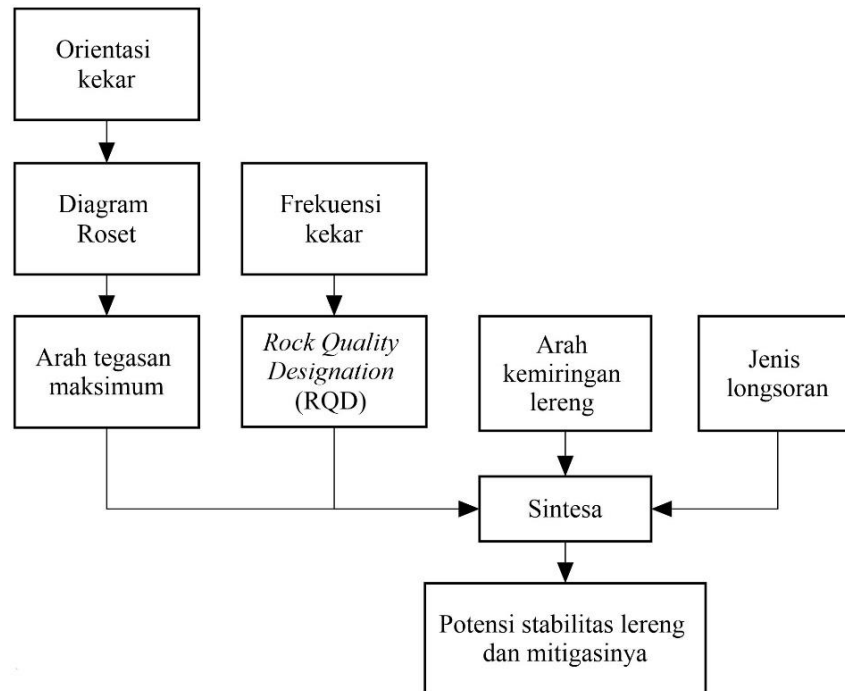
Massa batuan pada suatu lereng batuan dinilai berkualitas tinggi jika nilai RQD melebihi 75%, sedangkan interpretasi kualitas massa batuan yang rendah diidentifikasi pada nilai RQD yang kurang dari 50% [26]. Determinasi masing-masing nilai RQD terhadap penilaian massa batuan [27] disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Penilaian RQD untuk kualitas massa batuan

Parameter	Penilaian				
RQD (%)	90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	<25
Kualitas Massa Batuan	Sangat baik (<i>excellent</i>)	Baik (<i>good</i>)	Menengah (<i>fair</i>)	Buruk (<i>poor</i>)	Sangat buruk (<i>very poor</i>)

Sintesa data dan hasil analisis arah tegasan tegasan utama kekar dan RQD dilakukan untuk memperoleh interpretasi hubungan antar parameter. Hubungan kedua metode tersebut digunakan untuk mengetahui potensi stabilitas lereng berikut kemungkinan keunggulan dan kelemahan penerapan kombinasi

metode ini. Pemahaman hal tersebut menjadi arahan atau saran untuk mitigasinya. Pada **Gambar 6**, alur urutan langkah atau metode analisis dan interpretasi data dijelaskan melalui bagan algoritma sebagai berikut.



Gambar 6. Bagan algoritma analisis dan interpretasi data

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis RQD

Berdasarkan penilaian terhadap jumlah kekar per satuan meter, nilai RQD dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh Priest dan Hudson pada tahun 1979 [21]. Data yang tercantum dalam Tabel 2 menunjukkan bahwa dari tujuh lereng batuan yang diperiksa melalui penggunaan metode *scanline*, rentang nilai RQD berkisar antara 43,37 hingga 87,81%. Selanjutnya, kualitas massa batuan di lokasi tersebut juga dipaparkan, dengan tingkat variabilitas yang mengindikasikan rentang kualitas dari buruk hingga baik, yang didominasi oleh kualitas menengah. Pada **Tabel 2**, penilaian kualitas massa batuan ini menggunakan klasifikasi RQD oleh Deere dan Deere pada tahun 1988.

Tabel 2. Kualitas massa batuan berdasarkan penilaian RQD

<i>Scanline</i>	Frekuensi kekar = λ (kekar/meter)	RQD (%)	Kualitas massa batuan
1	15	55,78	Menengah
2	7	84,42	Baik
3	19	43,37	Buruk
4	16	52,49	Menengah
5	15	55,78	Menengah
6	14	59,18	Menengah
7	6	87,81	Baik

4.2 Analisis Arah Tegasan Utama Kekar

Hasil pengukuran orientasi kekar pada setiap lereng mengindikasikan keberadaan dua set kekar, yang diidentifikasi sebagai set kekar A dan B. Arah orientasi set kekar A antara N057°E dan N309°E sedangkan arah orientasi set kekar B antara N098°E dan N315°E. Analisis arah umum kedudukan kekar dilakukan dengan menggunakan diagram roset, yang merujuk pada literatur Rocscience tahun 2024. Arah tegasan

maksimum (σ_1) merupakan perpotongan bidang kekar dari dua set kekar A dan B. Dengan demikian, posisi arah σ_1 ini berada antara N221°E dan N329°E, menunjukkan kecenderungan ke arah barat laut. Rangkuman data dalam bentuk tabel disajikan pada **Tabel 3** berikut.

Tabel 3. Kedudukan set kekar dan arah tegasan maksimum

Scanline	Set kekar (N °E/ °)		Arah tegasan maksimum (N °E)
	A	B	
1	258/57	98/75	268
2	57/63	204/43	221
3	135/54	271/53	293
4	308/65	157/63	323
5	309/66	159/54	324
6	162/62	315/61	329
7	299/54	165/50	322

4.3 Sintesa Data

Berdasarkan penelitian terdahulu, dikemukakan bahwa keruntuhan lereng di daerah penelitian, yang memiliki arah kemiringan lereng bervariasi antara N011°E – N318°E, berpotensi mengalami longsoran baji [5]. Longsoran baji sendiri dapat terjadi ketika dua bidang kekar bertemu dan membentuk sudut yang tajam di permukaan lereng. Blok batuan dalam kasus ini membentuk segitiga yang terperangkap di antara kedua bidang kekar yang bersilangan, dimana kemungkinan terjadinya gelinciran blok tersebut keluar dari posisi semula dapat terjadi ketika gaya yang bekerja pada blok tersebut melebihi kekuatan gesekan internalnya [28]. Hubungan antara nilai *Rock Quality Designation* (RQD), arah σ_1 , dan orientasi lereng dapat dilihat dalam **Tabel 4**.

Tabel 4. Hubungan antara RQD, arah tegasan maksimum, dan orientasi lereng

Scanline	RQD (%)	Arah tegasan maksimum (N °E)	Arah kemiringan lereng (N °E) [5]
1	55,78	268	302
2	84,42	221	302
3	43,37	293	300
4	52,49	323	318
5	55,78	324	011
6	59,18	329	250
7	87,81	322	248

Data mengenai arah tegasan maksimum (σ_1) menunjukkan bahwa rentang arah σ_1 , yaitu antara N221°E – N329°E, menandakan arah gaya yang berpotensi menyebabkan gelincirnya blok tersebut. Fenomena ini mungkin terjadi akibat perpotongan dua bidang kekar yang saling memotong secara miring melintang permukaan lereng, mengakibatkan pergeseran blok batuan di atas bidang diskontinuitas tersebut [29]. Dalam penelitian ini, arah σ_1 diperoleh melalui hasil perpotongan dua set kekar, yaitu set kekar A dan B, sebagaimana disajikan dalam **Tabel 3**.

Berdasarkan hasil penelaahan arah σ_1 dan arah kemiringan lereng (θ) terdapat kecenderungan kesamaan orientasi kedua pada pengukuran data di *scanline* 3 dan 4, yang menunjukkan potensi longsoran. Pada lereng batuan lokasi *scanline* 4 terdapat selisih derajat pada arah σ_1 , N323°E dan arah θ , N318°E, yaitu 5° lebih kecil daripada selisih derajat pada *scanline* 3 berarah σ_1 , N293°E dan arah θ , N300°E, yaitu 7°. Hal ini menunjukkan lereng batuan lokasi *scanline* 4 lebih berpeluang daripada lereng batuan lokasi *scanline* 3 untuk mendukung terjadinya longsoran. Meskipun lereng batuan *scanline* 4 berpotensi longsor, namun potensi ini kurang didukung oleh intensitas kekar sebagaimana nilai RQD yang dimiliki lereng tersebut, yaitu 52,49%. Lereng batuan lokasi *scanline* 3 mempunyai nilai yang lebih rendah, yaitu 43,37% (kualitas lereng massa batuan yang buruk).

Dari uraian tersebut di atas, maka penggunaan penilaian RQD, arah orientasi kekar, dapat dijadikan

metode selidik cepat yang dapat dipergunakan mengenai potensi longsoran. Meskipun metode tersebut dapat direkomendasikan untuk dilakukan sebagai bagian awal (pra) penyelidikan stabilitas lereng, namun untuk penyelidikan lebih lanjut perlu mempertimbangkan parameter kekuatan batuan. Parameter ini melibatkan sifat keteknikan batuan berupa nilai sudut gesek dalam (ϕ) dan kohesi, dimana sifat mekanik batuan ini dapat diterapkan melalui metode kinematika batuan. Metode kinematika ini memerlukan dukungan penerapan alternatif sistem klasifikasi massa batuan lainnya terutama yang melibatkan parameter kondisi kekar yang lebih lengkap, seperti *Rock Mass Rating* (RMR) [30]. Selain RMR, alternatif lainnya yaitu *Slope Mass Rating* (SMR) [31] sebagaimana dukungan rekomendasi Bieniawski terhadap SMR untuk penilaian stabilitas lereng batuan [32].

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan menggunakan RQD dan struktur batuan, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut. Pertama, rentang nilai RQD yang variatif, dari 43,37% hingga 87,81% pada tujuh lereng batuan, mengindikasikan adanya variasi dalam kualitas massa batuan dari buruk hingga baik, dengan sebagian besar berada pada kualitas menengah. Kedua, orientasi kekar, khususnya arah tegasan maksimum yang berkisar antara N221°E hingga N329°E, memainkan peran kunci dalam menentukan potensi terjadinya longsoran. Ketiga, hasil penelitian menunjukkan bahwa lereng batuan yang memiliki perbedaan kecil antara arah tegasan maksimum dan arah kemiringan lereng, seperti pada lokasi *scanline* 3 dan 4, cenderung memiliki risiko longsoran yang lebih tinggi. Meskipun lereng batuan pada *scanline* 4 memiliki potensi longsor, nilai RQD yang lebih tinggi (52,49%) menunjukkan kualitas massa batuan yang relatif lebih baik dibandingkan dengan lereng pada lokasi *scanline* 3 (43,37%).

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat diimplementasikan untuk meningkatkan analisis stabilitas lereng batuan. Pertama, meskipun penilaian RQD dan orientasi kekar telah terbukti bermanfaat sebagai metode awal dalam mengevaluasi potensi longsoran, analisis yang lebih mendalam memerlukan pertimbangan tambahan mengenai sifat mekanik batuan, termasuk sudut gesek dalam dan kohesi. Kedua, metode kinematika batuan, dengan dukungan dari sistem klasifikasi massa batuan yang lebih komprehensif seperti RMR dan SMR, dapat menjadi pendekatan yang berguna. Terakhir, untuk mendapatkan pemahaman yang lebih holistik tentang stabilitas lereng batuan, sangat disarankan untuk mengintegrasikan berbagai parameter kondisi kekar yang relevan dalam analisis yang lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jadesta, “Desa Wisata Seloharjo,” *Jejaring Desa Wisata*, 2024. https://jadesta.kemenparekraf.go.id/desa/seloharjosurocolo_goa_jepang (accessed Dec. 02, 2024).
- [2] W. Rahardjo, Sukandarrumidi, and H. M. Rosidi, “Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa,” Pusat Survey Geologi, Badan Geologi, Bandung, 2012. [Online]. Available: <https://geologi.esdm.go.id/geomap/pages/preview/peta-geologi-lembar-kebumen-jawa>
- [3] S. Husein, I. Sudarno, S. Pramumijoyo, and D. Karnawati, “Paleostress Analysis to Interpret the Landslide Mechanism: A Case Study in Parangtritis, Yogyakarta,” *J. Appl. Geol.*, vol. 2, no. 2, pp. 104–109, 2010, doi: 10.22146/jag.7251.
- [4] A. N. Rakhman, Z. Zakaria, D. Muslim, I. Haryanto, and S. Mulyaningsih, “Modification of Rock Mass Classification in The Rock Slope Platy Jointed Andesite at Seloharjo Area,” *Int. J. GEOMATE*, vol. 16, no. 53, pp. 163–170, 2019, doi: 10.21660/2018.53.32848.
- [5] 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, doi: 10.36802/jnanaloka.2024.v5-no01-21-29.

- [6] A. N. Rakhman and N. W. A. A. T. Heriyadi, "Pengaruh Diskontinuitas Massa Batuan Vulkanik terhadap Stabilitas Lereng di Daerah Jelapan dan Sekitarnya, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta," *J. Teknol. Technoscientia*, vol. 10, no. 1, pp. 71–77, 2017, doi: 10.34151/technoscientia.v10i1.85.
- [7] N. W. A. A. T. Heriyadi and D. Tania, "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," *J. Teknol. Technoscientia*, vol. 11, no. 1, pp. 11–20, 2018, doi: 10.34151/technoscientia.v11i1.110.
- [8] K. Triana and K. Hermawan, "Slope Mass Rating-Based Analysis to Assess Rockfall Hazard on Yogyakarta Southern Mountain, Indonesia," *Geoenvironmental Disasters*, vol. 7, no. 24, pp. 1–17, 2020, doi: 10.1186/s40677-020-00164-w.
- [9] Y. Li, *Handbook of Geotechnical Testing: Basic Theory, Procedures and Comparison of Standards*. Boca Raton: CRC Press, 2019. doi: 10.1201/9780429323744.
- [10] Z. T. Bieniawski, *Engineering Rock Mass Classifications*. New York: John Wiley & Sons, 1989.
- [11] L. Zhang, "Determination and Applications of Rock Quality Designation (RQD)," *J. Rock Mech. Geotech. Eng.*, vol. 8, pp. 389–397, 2016, doi: 10.1016/j.jrmge.2015.11.008.
- [12] D. C. Wyllie, *Rock Slope Engineering: Civil Applications*, 5th ed. Boca Raton: CRC Press, 2018.
- [13] A. Gudmundsson, *Rock Fractures in Geological Processes*. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. [Online]. Available: <https://www.cambridge.org/core/books/rock-fractures-in-geological-processes/9AF914CCBBE492119EDA10203E90ACA2>
- [14] D. M. Ragan, *Structural Geology: An Introduction to Geometrical Techniques*, 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. [Online]. Available: <http://www.cambridge.org/9780521897587>
- [15] H. Fossen, *Structural Geology*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2016. [Online]. Available: <http://www.cambridge.org/9780521516648>
- [16] H. Fossen, *Structural Geology*, 1st ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. doi: 10.1017/CBO9780511777806.
- [17] H. R. G. K. Hack, "Slope Stability Probability Classification," International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, 1996. [Online]. Available: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:09681ff2-f4e3-49bc-bd0d-25009f5ac6bf>
- [18] H. Sonmez, M. Ercanoglu, and G. Dagdelenler, "A Novel Approach to Structural Anisotropy Classification for Jointed Rock Masses Using Theoretical Rock Quality Designation Formulation Adjusted to Joint Spacing," *J. Rock Mech. Geotech. Eng.*, vol. 14, no. 2, pp. 329–345, 2022, doi: 10.1016/j.jrmge.2021.08.009.
- [19] Q. Chen and T. Yin, "Should the Use of Rock Quality Designation Be Discontinued in the Rock Mass Rating System?," *Rock Mech. Rock Eng.*, vol. 52, pp. 1075–1094, 2019, doi: 10.1007/s00603-018-1607-x.
- [20] A. Soufi, L. Bahi, L. Ouadif, and J. E. Kissai, "Correlation between Rock Mass Rating, Q-System and Rock Mass Index Based On Field Data," in *2nd International Congress on Materials & Structural Stability (CMSS-2017)*, Les Ulis: EDP Sciences - Web of Conferences, 2018, pp. 1–7. doi: 10.1051/mateconf/201814902030.
- [21] A. Palmstrom, "Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD)," *Tunnels Undergr. Sp. Technol.*, vol. 20, no. 4, pp. 362–377, 2005, doi: 10.1016/j.tust.2005.01.005.
- [22] Mundar, "Rock Quality Designation, RQD," *Steemit*, 2018. <https://steemit.com/steemit/@mundari/rock-quality-designation-rqd> (accessed Apr. 07, 2024).
- [23] C. Edelbro, "Evaluation of Rock Mass Strength Criteria," Luleå University of Technology, 2004. [Online]. Available: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A990018&dswid=3975>
- [24] D. C. Wyllie and C. W. Mah, *Rock Slope Engineering: Civil and Mining*, 4th ed. New York: Spon Press, 2004.
- [25] Rocscience, "Dips User Guide: Tutorials Overview," *Rocscience Inc.*, 2024. <https://www.rocscience.com/help/dips/tutorials> (accessed Mar. 20, 2024).
- [26] C. Lucian and E. M. Wangwe, "The Usefulness of Rock Quality Designation (RQD) in Determining Strength of the Rock," *Int. Ref. J. Eng. Sci.*, vol. 2, no. 9, pp. 36–40, 2013, doi: 10.183X/F02093640.
- [27] D. U. Deere and D. W. Deere, "The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice," in *Rock*

- Classification System for Engineering Purpose*, L. Kirkaldie, Ed., Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1988, pp. 91–101. doi: 10.1520/STP48465S.
- [28] S. Zhang *et al.*, “Stability Analysis of Rock Wedge Slide Subjected to Groundwater Dynamic Evolution,” *Eng. Geol.*, vol. 270, p. 105528, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105528>.
- [29] M. Al Mandalawi, G. You, K. Dowling, and P. Dahlhaus, “Kinematic Assessment of Slopes at Handlebar Hill Open Cut Mine, Mt. Isa, Queensland, Australia,” *Int. J. GEOMATE*, vol. 10, no. 19, pp. 1575–1583, 2016, [Online]. Available: <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/1986>
- [30] B. Singh and R. K. Goel, *Engineering Rock Mass Classification: Tunneling, Foundations, and Landslides*, 1st ed. Waltham: Butterworth-Heinemann, 2011. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/book/9780123858788/engineering-rock-mass-classification>
- [31] M. Romana, “New Adjustment Ratings for Application of Bieniawski Classification to Slopes,” in *Proceedings of the International Symposium on the Role of Rock Mechanics in Excavations for Mining and Civil Works*, Zacatecas, 1985, pp. 49–53.
- [32] M. Romana, R. Tomás, and J. B. Serón, “Slope Mass Rating (SMR) Geomechanics Classification: Thirty Years Review,” in *13th Congress of The International Society for Rock Mechanics (ISRM) Proceedings: International Congress on Rock Mechanics*, Quebec: International Society for Rock Mechanics, 2015, p. 10.