

KLASIFIKASI MASSA BATUAN RMI (ROCK MASS INDEX) UNTUK ANALISIS KESTABILAN LERENG DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Hasan Tri Atmojo^{1*}, Imam Achmad Sadisun²

1. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, Jl. SWK Jl. Ring Road Utara No.104, Condongcatur, Yogyakarta Email: hasan.triatmojo@upnyk.ac.id
2. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung (ITB), Jl. Ganesh No.10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia.

ABSTRAK - Pada penelitian ini akan digunakan studi klasifikasi massa batuan terhadap lereng alami, yaitu klasifikasi RMi dengan objek penelitian pada lokasi lereng batuan yang berada di Cipatat, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat. Lokasi penelitian memiliki morfologi bentuk lereng terjal dengan litologi dominan berupa batugamping. Klasifikasi RMi ini jarang digunakan karena memiliki beberapa parameter yang cukup rumit untuk dilakukan pembobotan. Untuk mendapatkan nilai bobot dari klasifikasi massa batuan dilakukan pengamatan lapangan dengan *scanline* dan pengambilan sampel batuan utuh. Hasil properti keteknikan dari klasifikasi massa batuan RMi dianalisis menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*). Massa batuan di lokasi penelitian memiliki litologi dominan berupa batugamping kalkarenit, kalsirudit, dan kalsilitit dengan tingkat pelapukan rendah hingga sedang. Bobot massa batuan berdasarkan klasifikasi RMi berkisar 2,09 – 6,228 (*high*). Properti keteknikan dari massa batuan dari lima lokasi memiliki modulus deformasi (*Em*) berkisar 3.068 – 11.550 MPa, kohesi (*c*) berkisar 0.236 – 2.334 MPa, sudut geser dalam (ϕ) 37° – 57°, dan kuat tarik (σ_t) berkisar 0,04 – 0,80 MPa. Dari hasil analisis tersebut, properti keteknikan dari klasifikasi massa batuan RMi dapat diterapkan untuk analisis kestabilan lereng menggunakan metode elemen hingga. Rekomendasi penyanga dari klasifikasi RMi cukup signifikan berpengaruh pada faktor keamanan dan perpindahan kestabilan lereng.

Kata kunci: Klasifikasi massa batuan RMi, kestabilan lereng, volume blok, metode elemen hingga

ABSTRACT - *In this research, a rock mass classification study on rock slopes will be used, the RMi classification with the research object on rock slope locations in Cipatat, West Bandung Regency, West Java Province. The research location has a steep slope morphology with dominant lithology in the form of limestone. The RMi classification is rarely used because it has several parameters that are quite complicated to weight. To obtain weight values from rock mass classification, field observations were carried out with a scanline and intact rock samples were taken. The results of the engineering properties of the RMi rock mass classification were analyzed using the finite element method. The rock mass at the study site has dominant lithology in the form of calcarenite, calcirudite, and calcilutite limestones with low to moderate weathering levels. The rock mass weight based on the RMi classification ranges from 2.09 to 6.228 (*high*). The engineering properties of the rock masses from five locations have a deformation modulus (*Em*) ranging from 3,068 – 11,550 MPa, cohesion (*c*) ranging from 0,236 – 2,334 MPa, internal friction angle (ϕ) 37° – 57°, and tensile strength (σ_t) ranging from 0,04 – 0,80 MPa. From the results of this analysis, the engineering properties of the RMi rock mass classification can be applied to slope stability analysis using the finite element method. Support recommendations from RMi classifications have quite an effect on the safety factor and slope stability, while another recommendation to make the slope more stable is to make a cut-off slope for each slope so that the slope is more stable.*

Keyword : Rock mass classification, slope stability, block volume, finite element method

PENDAHULUAN

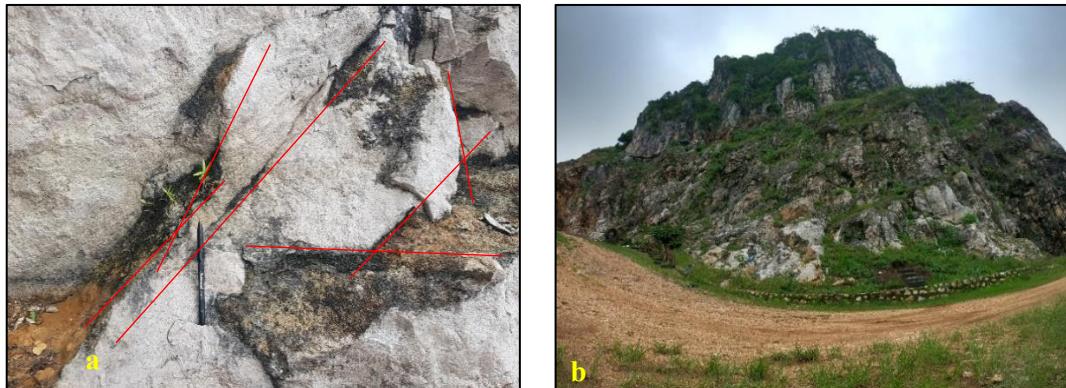
Metode klasifikasi RMi (Rock Mass index) merupakan metode yang sangat jarang digunakan pada klasifikasi massa batuan. Berbeda dengan metode klasifikasi lainnya, hal yang menarik dari klasifikasi RMi ini adalah dengan adanya parameter volume blok yang digunakan untuk mendapatkan nilai bobot massa batuan. Metode ini jarang diterapkan, khususnya di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini akan mencoba untuk menerapkan metode RMi ini pada kestabilan lereng batuan.

Metode untuk menentukan properti keteknikan massa batuan dapat diperoleh dari metode empiris klasifikasi massa batuan yang pada umumnya dikenal seperti GSI, RMR, dan Q. Perlunya mengevaluasi hasil dari properti keteknikan massa batuan dari setiap metode terhadap faktor keamanan yang dihasilkan cukup penting dalam penentuan metode klasifikasi massa batuan yang tepat sesuai kondisi lapangan dan keperluan rekayasa yang diterapkan.

Pada umumnya, kestabilan lereng batuan digunakan pada suatu ekskavasi untuk dibangun infrastruktur, tambang, ataupun mitigasi bencana longsor. Penerapan rekayasa geoteknik pada suatu jenis tujuan kegiatan yang berkaitan dengan lereng batuan akan berbeda sifatnya. Pada penelitian kali ini akan dilakukan analisis kestabilan lereng dengan mengintegrasikan metode elemen hingga (*finite element method*) dan klasifikasi massa batuan RMi. Lokasi berada di daerah Cipatat dengan nama STA 04 seperti pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Lokasi penelitian (Google Earth, diakses pada Agustus 2022)

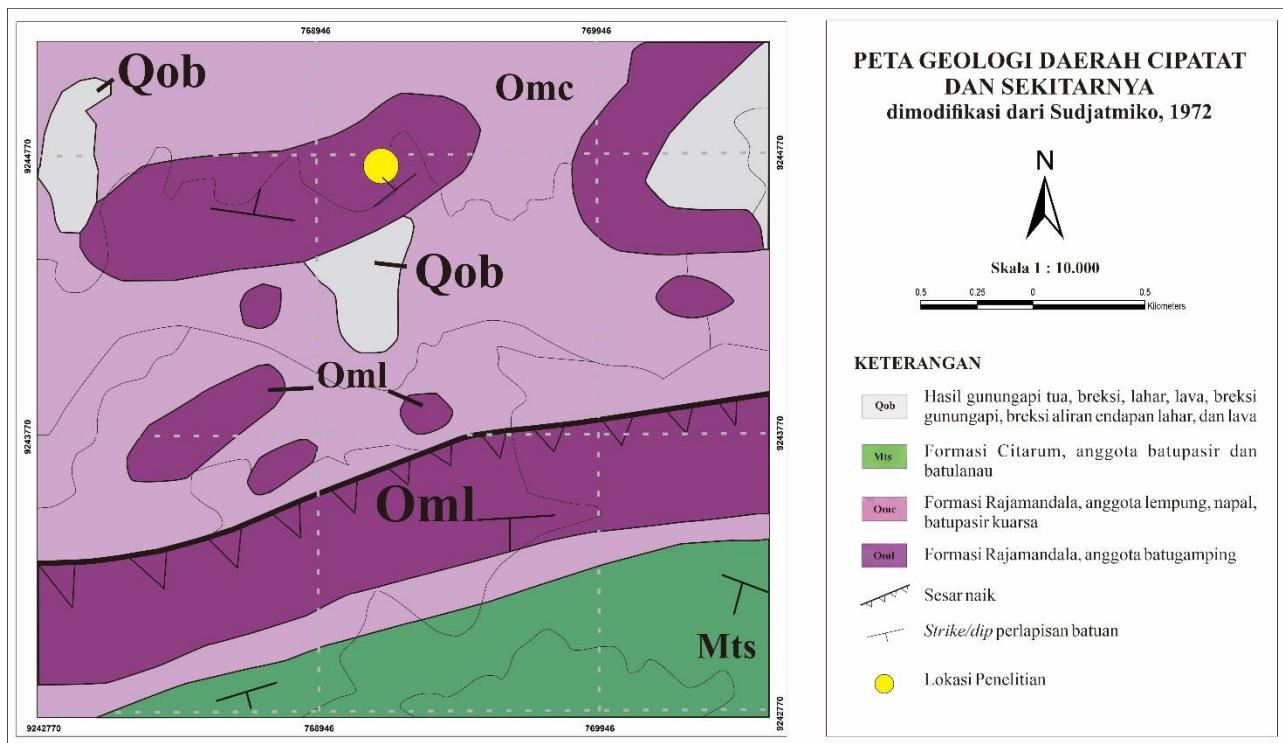


Gambar 2. Kekar gerus dan kekar (a) kondisi diskontinuitas pada STA 04 terkekarkan kuat (b).

GEOLOGI REGIONAL

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Cianjur, Jawa Barat (Sudjatmiko, 1972), daerah penelitian tersusun oleh satuan hasil gunungapi tua (Qob), Formasi Citarum anggota batupasir dan batulanau (Mts), Formasi Rajamandala anggota lempung, napal, batupasir kuarsa (Omc), dan Formasi Rajamandala anggota batugamping (Oml) (Gambar 3.). Secara stratigrafi Formasi Rajamandala anggota batugamping (Oml) dengan Formasi Rajamandala anggota lempung, napal, dan napal (Omc) merupakan satuan batuan yang berumur paling tua di sekitar lokasi penelitian yang memiliki kesamaan umur dengan kontak batuan menjemari. Kemudian di atasnya terendapkan satuan Formasi Citayam (Mts) dan Hasil gunung api tua (Qob) di atasnya. Lokasi penelitian pada STA Tebing Masigit termasuk ke dalam Formasi Rajamandala anggota batugamping yang dicirikan dengan batugamping kalkarenit yang berlapis. Lereng tebing tersusun atas batugamping kalkarenit dengan geometri lereng yaitu tinggi sekitar 40 meter, panjang lereng sekitar 100 meter, orientasi muka lereng berarah N343°E,

dan kemiringan lereng 75° . Total diskontinuitas yang diobservasi berjumlah 206 yang terdiri dari bidang perlapisan batuan, kekar gerus, dan kekar. Pada kekar gerus umumnya dijumpai memotong bidang perlapisan batuan. Kekar gerus terlihat berpasangan dengan orientasi arah kemiringan/kemiringan N 265° E/ 77° dan N 36° E/ 75° .



Gambar 3. Peta geologi daerah Cipatat dan sekitarnya (dimodifikasi dari Sudjatmiko, 1972).

Formasi Rajamandala

Formasi Rajamandala merupakan formasi yang seluruhnya hanya terdiri dari batugamping dan setempat berkembang sebagai batugamping terumbu. Persebaran formasi ini memanjang dari Citarate di Bayah hingga Sukabumi dan menerus ke Rajamandala, seperti di Gunung Masigit dan Gunung Pabeasan Citatah – Cipatat, Padalarang. Umur dari formasi ini adalah Oligoen Akhir – Miosen Awal.

Formasi Citarum

Formasi Citarum secara stratigrafi diindapkan selaras dengan Formasi Rajamandala. Formasi ini memiliki ciri perselingan batulanau, batulempung lanauan, dan batupasir dengan pasir greywacke yang memiliki komposisi tufan. Batupasir greywacke ditemukan berlapis pada formasi ini. Lingkungan pengendapan diinterpretasikan diindapkan pada bagian luar dari sistem kipas laut dalam. Umur dari formasi ini adalah Miosen Awal.

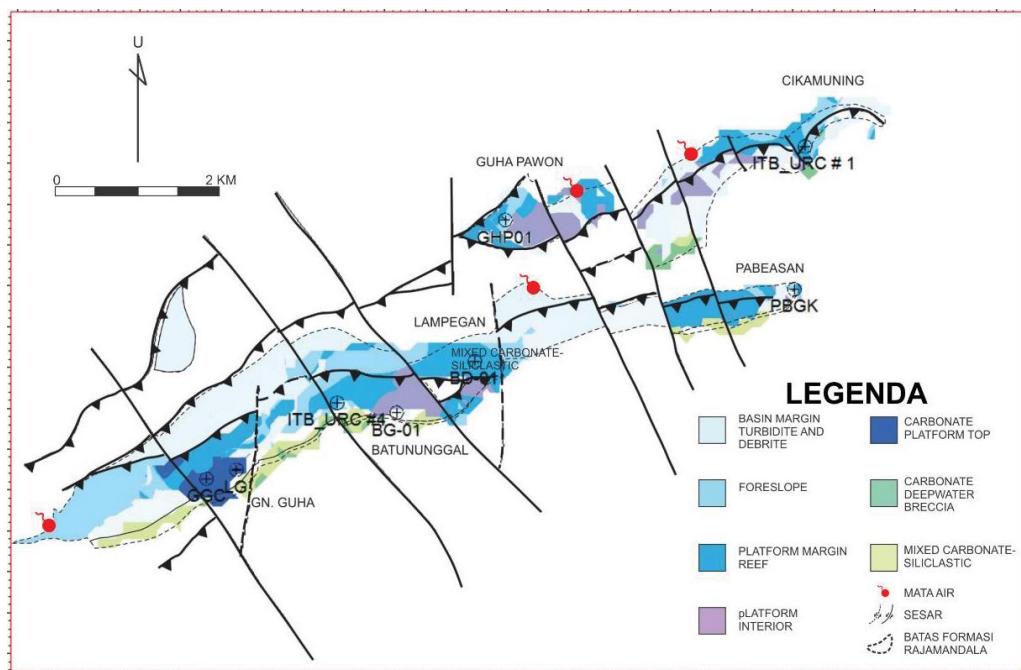
Satuan Vulkanik Kuarter

Pada formasi ini memiliki produk dominan yang tersusun atas aktivitas vulkanik berumur Miosen Akhir hingga Kuarter. Terdiri dari batuan intrusi andesit, basalt, dan dasit serta breksi vulkanik tufan. Di Zona Bandung penyebaran satuan ini terdapat di sekitar Gunung Koromong, Bandung Selatan hingga ke arah perbukitan Cililin - Gununghalu.

Struktur Geologi Jawa Bagian Barat

Struktur geologi regional Pulau Jawa yang berkembang dipengaruhi oleh hasil tumbukan dari Lempeng Hindia-Australia dan Lempeng Eurasia. Lempeng Hindia-Australia bergerak ke utara hingga menunjam ke bawah Lempeng Eurasia yang relatif tidak bergerak. Hasil dari interaksi tersebut membentuk jalur vulkanisme yang membentang dari Pulau Sumatra hingga Nusa Tenggara yang dikenal sebagai Busur Sunda. Selain menghasilkan jalur vulkanik-magmatik, interaksi antarlempeng yang konvergen ini menghasilkan pola-pola struktur yang berkembang di Pulau Jawa (Hamilton, 1979).

Formasi Rajamandala merupakan salah satu formasi batugamping Tersier tertua yang terekspos di Pulau Jawa. Batugamping ini berumur Oligosen Akhir hingga Miosen Awal yang sebagian besar didasarkan pada fosil foraminifera. Berdasarkan pemetaan bawah permukaan dan permukaan, tiga orientasi sesar utama digambarkan di Jawa Barat yaitu orientasi timur laut – barat daya sebagai pola Meratus, utara - selatan sebagai pola Sunda dan timur - barat sebagai pola termuda yang dikenal dengan pola Jawa (Martodjojo, 1984). Studi terbaru menunjukkan bahwa beberapa sesar berarah barat - tenggara yang dikenal sebagai pola Sumatera juga terlihat di Jawa Barat khususnya bagian barat laut (Sapiie dkk., 2010). Evolusi tektonik Jawa Barat sangat dipengaruhi oleh perkembangan tektonik Pulau Sumatera khususnya pada fase ekstensi pada waktu Oligosen (Gambar 4). Secara umum, evolusi tektonik di Jawa bagian barat sangat erat kaitannya dengan perkembangan pinggiran Paparan Sunda bagian barat yang dimulai pada Kapur Akhir. Sistem subduksi tertua di Jawa Barat terbukti berdasarkan Formasi Melange yang ditemukan di daerah Ciletuh.



Gambar 4. Peta asosiasi fasies karbonat Oligo-Miosen Formasi Rajamandala, area Padalarang (Nugroho, 2016).

METODE

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data massa batuan yang berada di lereng STA 04 berupa batugamping kalkarenit (Grabau, 1908) dalam (Ettensohn, 2018). Pengujian kuat massa batuan digunakan dengan menggunakan uji *schmidt hammer* pada tubuh massa batuan. Hasil dari konversi *schmidt hammer rebound* ke nilai UCS (*Uniaxial Compressive Strength*) menghasilkan nilai sebesar 39,26 MPa. Selain itu diambil juga sampel batuan yang masih segar di lokasi penelitian untuk dilakukan uji sifat fisik batuan.

Pada lokasi penelitian dilakukan scanline untuk mengidentifikasi karakteristik diskontinuitas massa batuan dengan menggunakan metode klasifikasi massa batuan RMi. Hasil dari parameter yang telah didapatkan kemudian dilakukan analisis terhadap klasifikasi massa batuan dari setiap metode.

Properti keteknikan dari setiap klasifikasi massa batuan berupa nilai kohesi, sudut geser dalam, modulus deformaasi, dan kuat tarik ditentukan dengan persamaan dari setiap metode klasifikasi massa batuan. Hasil dari properti mekanik tersebut kemudian dilakukan analisis menggunakan kesetimbangan batas untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dari setiap metode dan nilai perpindahan.

Klasifikasi RMi

Palmström (1995) mengusulkan indeks massa batuan (RMi) untuk karakterisasi kekuatan massa batuan sebagai bahan konstruksi. Adanya berbagai kekurangan (diskontinuitas) pada massa batuan yang cenderung mengurangi kekuatan hubungannya diatur dalam indeks massa batuan (RMi), yang dinyatakan sebagai:

$$RMi = q_c \times JP \quad (1)$$

Kuat tekan uniaksial (UCS) dari material batuan utuh dengan satuan MPa dinotasikan dengan q_c . Adapun *joint parameter* (*JP*) terdiri dari empat karakteristik diskontinuitas, yaitu volume blok atau kerapatan diskontinuitas, kekasaran diskontinuitas, alterasi diskontinuitas, dan panjang diskontinuitas. Beberapa parameter tersebut merupakan koefisien reduksi yang menunjukkan pengaruh diskontinuitas dalam suatu massa batuan. Nilai *JP* bervariasi dari hampir 0 untuk massa batuan hancur sampai 1 untuk batuan utuh. RMi merupakan indeks massa batuan yang menunjukkan UCS massa batuan dalam MPa (Tabel 1). Palmström (2000) mengusulkan sistem perkuatan massa batuan dari klasifikasi RMi (Gambar 5) yang diaplikasikan pada stabilitas terowongan. Kemudian Palmström dan Stille (2015) menyempurnakan klasifikasi RMi dengan menambah parameter baru yaitu *Interlocking* (*IL*) yang merupakan hubungan antar blok batuan yang dipisahkan oleh diskontinuitas. Persamaan baru yang digunakan untuk mendapatkan nilai RMi yaitu:

$$RMi = q_c \times JP \times IL \quad (2)$$

$$JP = 0.2 \sqrt{jC \times Vb^D} \quad (3)$$

$$jC = jL \times jR/jA \quad (4)$$

$$D = 0.37 jC^{0.2} \quad (5)$$

Tabel 1. Pembobotan klasifikasi RMi (Palmström dan Stille, 2015)

Klasifikasi	Klasifikasi RMi				
	Sangat rendah	Rendah	Medium	Tinggi	Sangat Tinggi
RMi	< 0.01	0.01-0.1	0.1-1	1-10	> 10

Perhitungan untuk menentukan nilai volume blok dilakukan dengan menggunakan persamaan Palmström (1995) sebagai berikut:

$$Vb = \beta \times Jv^{-3} \frac{1}{\sin \gamma_1 \times \sin \gamma_2 \times \sin \gamma_3} \quad (6)$$

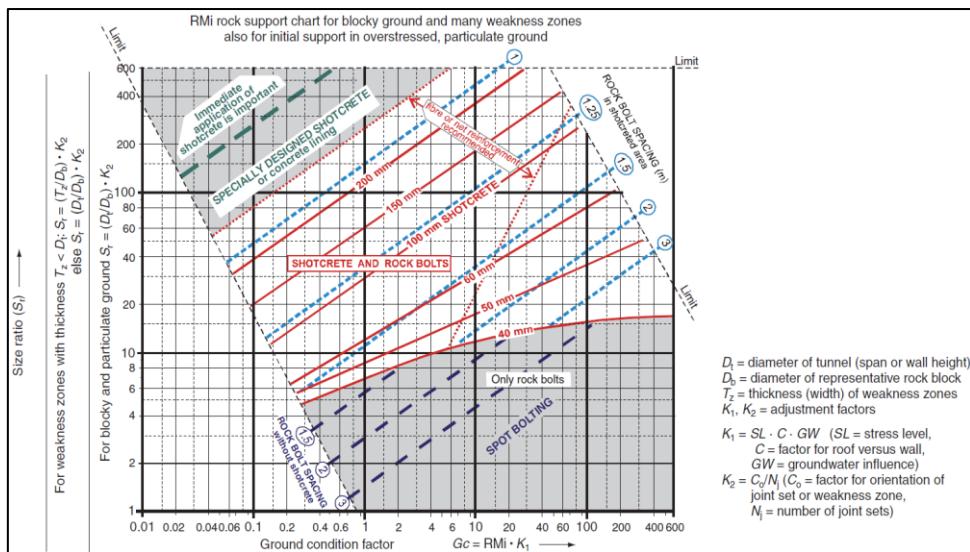
Block shape factor dengan symbol β merupakan faktor yang didapatkan dari perhitungan set diskontinuitas yang memiliki spasi diskontinuitas tertinggi dengan spasi terendah (α_2) dan spasi tertinggi dengan spasi berukuran medium (α_3). Parameter lain yaitu γ_1 , γ_2 , γ_3 merupakan sudut yang dibentuk oleh masing-masing *joint set*. Untuk dapat menghitung besar sudut tersebut digunakan analisis stereografis (Palmström, 1982). *Jv* atau *volumetric joint count* merupakan jumlah dari diskontinuitas dalam unit suatu volume massa batuan. Untuk mendapatkan nilai *Jv* yaitu penambahan rata-rata spasi diskontinuitas dari setiap *joint set* (S_i).

$$Jv = \sum \left(\frac{1}{S_i} \right) \quad (7)$$

Klasifikasi RMi memiliki parameter tersendiri di dalam penentuan properti keteknikannya. Persamaan untuk mendapatkan nilai properti keteknikan dapat dilihat pada Tabel 3. Sistem penyangga dan perkuatan pada klasifikasi RMi memiliki perhitungan sesuai yang disajikan pada Gambar 5. Perhitungan untuk mendapatkan panjang baut batuan (*rock bolt*) menggunakan persamaan 8.

$$Lb_{wall} = 1.4 + 0.08 (Dt + 0.5Wt)(1 + 0.1 / Db) \quad (8)$$

Panjang *rock bolt* disimbolkan dengan Lb_{wall} pada persamaan di atas, Dt adalah diameter terowongan, dan Db merupakan diameter dari blok terowongan.



Gambar 5. Sistem perkuatan klasifikasi RMi (Palmström, 2000).

Tabel 2. Persamaan properti keteknikan klasifikasi RMI

Parameter	Simbol	RMi	Peneliti
	a	0.5	Hoek dan Brown (2018)
Konstanta	s	$s = JP^2$	Palmstrom (1995)
	m_b	$m_b = m_i \times JP^{0.857}$	Palmstrom (1995)
Modulus Deformasi (GPa)	E_m	$E_m = 5.6RMi^{0.0375}$	Palmstrom (1995)
Kuat Massa Batuan (MPa)	σ'_{cm}	$\sigma_{cm} = \sigma_c \times S^{1/2}$	Palmstrom (1995)
Tegangan Normal Efektif (MPa)	σ'_n	$\sigma'_n = \sigma'_3 + \frac{(\sigma'_1 - \sigma'_3)}{1 + \frac{d\sigma'_1}{d\sigma'_3}} \quad \frac{d\sigma'_1}{d\sigma'_3} = 1 + am_b m_f^{(a-1)}$	Priest (2005)
Kuat Tarik (MPa)	σ_t	$\sigma_t = -\frac{s\sigma_{ci}}{m_b}$	Hoek dan Brown (2018)
Upper Limit Confining Stress (MPa)	σ'_{3max}	$\frac{\sigma'_{3max}}{\sigma'_{cm}} = 0.72 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\sqrt{H}} \right)^{-0.91}$	Hoek dkk. (2002)
Kohesi (MPa)	c'	$c' = \frac{\sigma'_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n}] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + (6am_b(s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}) / ((1+a)(2+a))}}$	Hoek dkk. (2002)
Sudut Geser Dalam ($^\circ$)	ϕ'	$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$	Hoek dkk. (2002)
Kuat Geser (MPa)	τ	$\tau = c' + \sigma \tan \phi'$	Hoek dkk. (2002)

Penentuan pembobotan klasifikasi RMI

Pada penentuan bobot klasifikasi massa batuan RMi terdapat beberapa parameter yang digunakan, di antaranya UCS, *joint length* (jL), *joint roughness* (jR), *joint alteration* (jA), volume blok (V_b), *interlocking* (IL), dan *volumetric joint count* (Jv). Nilai kuat tekan pada batuan diperoleh dari pengujian kuat tekan laboratorium. Parameter berupa *joint length*, *joint roughness*, *interlocking*, dan *joint alteration* diperoleh dari identifikasi kondisi diskontinuitas pada Lampiran A. *Volumetric joint count* merupakan jumlah dari diskontinuitas dalam unit suatu volume massa batuan yang dihitung menggunakan persamaan 7, sedangkan volume blok dari massa batuan yang dipengaruhi oleh diskontinuitas dihitung menggunakan persamaan 6.

Lereng STA 04 dengan litologi dominan batugamping kalkarenit memiliki nilai UCS 39,26 MPa, panjang diskontinuitas (jL) secara umum 1-10 meter, kekasaran diskontinuitas (jR) dominan halus dan *strongly undulating, interlocking* berupa *poorly interlocked*, isian diskontinuitas (jA) secara umum terdapat isian berupa

material kohesif, halus, dan isian tipis. Nilai J_v di lokasi ini berkisar 2,956 hingga 17,522 dengan nilai rata-rata 8,683. Nilai $J_v = 8,683$ memiliki arti bahwa *joint volume* massa batuan di lokasi ini tergolong *moderately high* dan derajat diskontinuitas *moderately jointed* (Palmström, 2000). Nilai volume blok yang dihasilkan sebesar $0,37 \text{ m}^3$ yang tergolong *moderate size*. Berdasarkan perhitungan pada persamaan 2 diperoleh nilai RMi sebesar 3,07 dengan kelas sedang.

ANALISIS

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

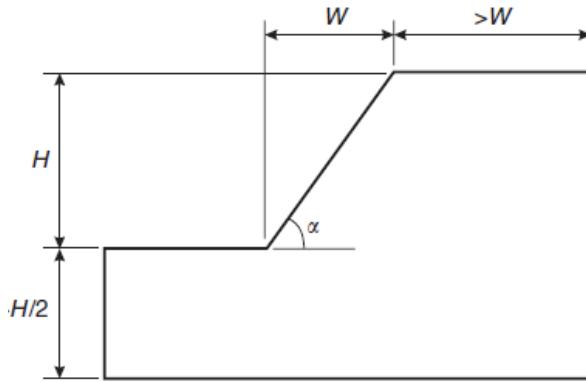
Analisis dengan metode elemen hingga ini bertujuan untuk dapat mengintegrasikan klasifikasi massa batuan RMi terhadap nilai faktor keamanan yang didapatkan. Faktor keamanan yang didapatkan merupakan hasil dari analisis dengan pendekatan model lereng yang dibuat sesuai dengan kondisi nyata di lapangan. Keberadaan penyanga dari setiap klasifikasi massa batuan dimodelkan dengan menggunakan analisis elemen hingga untuk mengetahui rekomendasi penyanga yang dapat memberikan nilai faktor keamanan optimum pada lereng. Adapun properti keteknikan yang diperoleh seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil dari nilai properti keteknikan

Lokasi	Bobot m_b	a	s	E_m (GPa)	c (MPa)	ϕ (°)	σ_t (MPa)	v
STA 04	3.07	1.831	0.5000	0.024	8.53	1.135	47.29	-0.537

Prosedur Pembuatan Model

Hal pertama yang dilakukan dalam melakukan analisis kestabilan lereng yaitu menentukan model lereng terlebih dahulu. Model tersebut dibuat berdasarkan geometri lereng yang didapatkan di lapangan. Analisis numerik dengan metode elemen hingga ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *RS2* dari *student trial license Rocscience*. Model pada lereng ini mengacu pada bentuk model yang diajukan oleh Wyllie dan Mah (2005) pada Gambar 6.

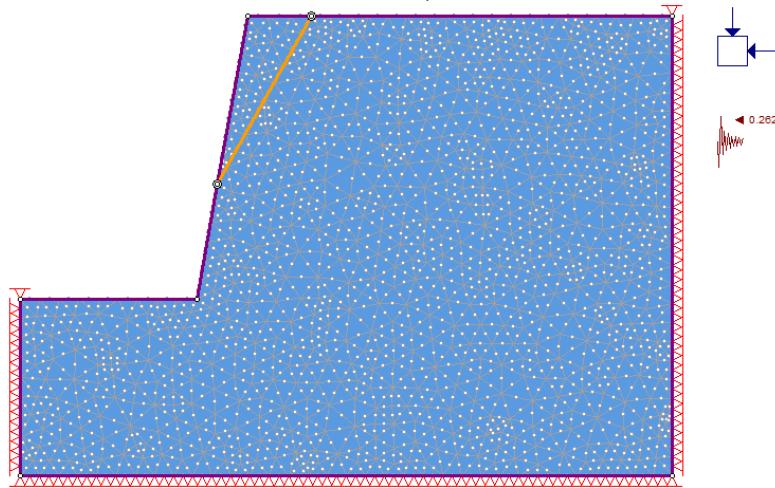


Gambar 1 Model geometri lereng (Wyllie dan Mah, 2005).

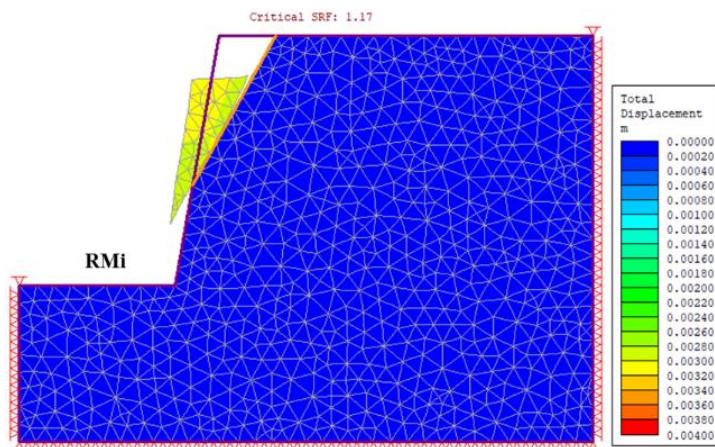
Pada analisis elemen hingga terdapat beberapa pengaturan dalam pembentukan model lereng untuk dapat melakukan analisis. Pengaturan pada *mesh* atau jaring-jaring model digunakan tipe *uniform* dengan tipe elemen *3 noded triangles* dan jumlah elemen *mesh* sebesar 1500. *Displacement* dari model digunakan *x,y displacement* dengan simbol segitiga kecil untuk mengunci model lereng bagian luar, sehingga model yang memiliki *displacement* atau perpindahan ketika dilakukan analisis hanya berada di area sekitar lereng saja. Beban pada lereng digunakan tegangan tipe *gravity* dengan *actual ground surface* untuk memberikan tegangan sesuai dengan kondisi geometri model lereng batuan. Beban seismik ditambahkan dengan input koefisien seismik horizontal, sedangkan koefisien seismik vertikal diasumsikan memiliki nilai 0. Beban seismik ini ditambahkan untuk memberikan beban lereng pada saat guncangan gempabumi yang terjadi dengan asumsi analisis tersebut bersifat pseudostatik.

Model lereng STA 04 memiliki geometri dengan tinggi lereng 40 meter dan kemiringan muka lereng 75° (Gambar 7). Model STA 04 ini terdapat dua set diskontinuitas (*joint 1* dan *joint 2*) yang mempengaruhi longsoran baji. Untuk model longsoran baji ini akan digunakan asumsi garis perpotongan dari dua diskontinuitas

tersebut terhadap muka lereng STA 04 dengan besar sudut 61° . Garis perpotongan tersebut diasumsikan sama dengan properti mekanik pada *joint 1* dengan kohesi 0,034 MPa, sudut geser dalam $29,25^\circ$, *normal stiffness* dan *shear stiffness* diasumsikan 100.000 MPa/m dan 10.000 MPa/m, serta kuat tarik diasumsikan 0 MPa.



Gambar 7. Model lereng pada STA 04.

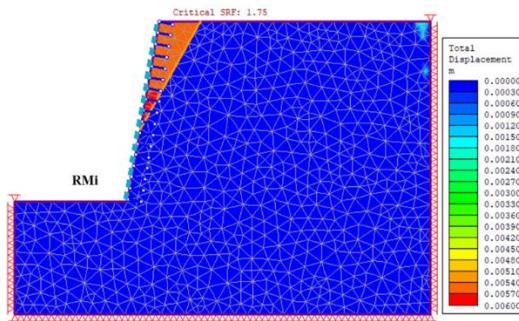


Gambar 8. Model deformasi longsor baji STA 04.

Parameter properti keteknikan menggunakan kriteria Mohr-Coulomb yang meliputi kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), kuat tarik (σ_t), nisbah Poisson (v), dan modulus deformaasi (E_m) dari setiap klasifikasi massa batuan yang diinput ke dalam model lereng dapat dilihat pada Tabel 3. Berat isi (γ) dari lereng STA 04 yaitu 26,4 kN/m³. Analisis pada model ini dilakukan dengan asumsi kondisi *elastic-plastic*, yaitu kurva dari nilai kuat massa batuan pada saat mengalami keruntuhannya bersifat linear, oleh karena itu nilai reduksi dari kohesi, sudut geser dalam, dan kuat tarik memiliki nilai yang sama. Pada model ini dilakukan juga analisis SSR (*Shear Strength Reduction*) untuk mereduksi nilai kuat massa batuan terhadap deformaasi yang terjadi pada lereng (Gambar 8).

Berdasarkan analisis dengan metode elemen hingga, didapatkan nilai faktor keamanan lereng STA 04 pada klasifikasi massa batuan RMi sebesar 1,17 dengan besar nilai perpindahan total sebesar 3 mm. Klasifikasi RMi yang menghasilkan nilai di atas ambang batas FK $\geq 1,1$ (SNI 8460, 2016 sehingga dapat diindikasikan bahwa lereng pada STA 04 dalam keadaan stabil pada klasifikasi Rmi.

Rekomendasi penyangga pada klasifikasi massa batuan RMi di STA 04 dapat diterapkan dengan menggunakan metode elemen hingga. Rekomendasi penyangga dari klasifikasi RMi akan digunakan pada analisis ini. Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan rekomendasi penyangga, didapatkan faktor keamanan pada klasifikasi RMi dan 1,76 dengan nilai total perpindahan sebesar 3 mm dan 2 mm. Rekomendasi penyangga pada sistem RMi relatif cukup baik di lereng STA 04 dengan nilai FK yang dihasilkan cukup tinggi (Gambar 9).



Gambar 9. Model sistem penyangga pada longsor baji STA 04.

KESIMPULAN

Klasifikasi massa batuan RMi dapat diterapkan untuk analisis kestabilan lereng menggunakan metode elemen hingga dengan nilai properti fisik dan mekanik dari batuan yang didapatkan dari persamaan empiris. Pada klasifikasi RMi diperlukan perhitungan volume blok yang sesuai keterdapatannya diskontinuitas pada kondisi batuan yang menjadikan sistem klasifikasi ini cukup baik diterapkan di lokasi dengan kondisi diskontinuitas yang cukup intens. Sistem rekomendasi penyangga dari klasifikasi RMi dapat memberikan rekomendasi yang tepat untuk dapat meningkatkan nilai faktor keamanan dan mengurangi tingkat perpindahan pada kestabilan lereng. Pada STA 04 didapatkan nilai faktor keamanan 1.17 pseudostatic yang mengindikasikan lereng di lokasi penelitian relatif aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Giani, G. P. (1992): *Rock slope stability analysis*, Taylor and Francis, Turin, 56 – 68.
- Hoek, E. (2007): *Practical rock engineering*, Rocscience, Canada, 1 – 13.
- Hoek, E. dan Brown, E. T. (2018): The Hoek - Brown failure criterion and GSI 2018 edition, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, **11**, 445 – 463.
- Nugroho, D. (2016): Evolusi sedimentasi batugamping Oligo-Miosen Formasi Rajamandala di daerah Padalarang, Jawa Barat, Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung, 20 – 76.
- Palmström, A. (1982): The volumetric joint count – a useful and simple measure of the degree of rock jointing. *Proceedings Congress IAEG*, New Delhi, **5**, 221 – 228.
- Palmström, A. (1995): The rock mass index (RMi) applied in rock mechanics and rock engineering, *Journal of Rock Mechanics and Tunneling*, **2**, 1 - 40.
- Palmström, A. (2000): Recent developments in rock support estimates by the RMi, *Journal of Rock Mechanics and Tunnelling Technology*, **6**, 1 – 19.
- Palmström, A. dan Stille, H. (2015): *Rock engineering – second edition*, ICE Publishing, Padstow, England, 121 – 148.
- Standar Nasional Indonesia 2833 (2016): *Perencanaan jembatan terhadap beban gempa*, Badan Standarisasi Nasional, Indonesia, 10 – 60.
- Standar Nasional Indonesia 8460 (2017): *Persyaratan perancangan geoteknik*, Badan Standarisasi Nasional, Indonesia, 250 – 275.
- Sudjatmiko (1972): Peta Geologi Lembar Cianjur, Jawa, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Wyllie, D. C. dan Mah, C. W. (2005): *Rock Slope Engineering, Civil and Mining 4th editionI*, Taylor and Francis Group, USA, Kanada.

Lokasi penelitian di daerah Cipatat, data diperoleh melalui situs internet:
<https://www.google.com/maps/padalarang>. Diunduh pada tanggal Agustus 2022.