



KAJIAN KESTABILAN LERENG BATUAN MENGGUNAKAN KLASIFIKASI MASSA BATUAN, METODE ELEMEN HINGGA, DAN ANALISIS BATUAN JATUH

Satrio Wibowo^{1*}, M. Rinaldi¹, M. Ammar Azzam¹, Zufialdi Zakaria¹, Irvan Sophian¹
¹Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran

*Korespondensi: satriowibowo16@gmail.com

ABSTRAK

Upaya pengembangan infrastruktur di sekitar lokasi tambang, seringkali melibatkan kegiatan pemotongan tubuh batuan yang dapat mengakibatkan kondisi massa batuan menjadi tidak stabil. Maka, diperlukan analisis kestabilan massa batuan pada lokasi yang mengalami pemotongan tubuh batuan. Penelitian ini dilakukan pada lereng hasil pemotongan batuan di area kuari andesit, PT. Widaka Indonesia, Kecamatan Jelekong, Jawa Barat. Pada kaki lereng direncanakan sebagai lokasi penempatan mesin *crushing plant* andesit yang telah ditambang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik massa batuan penyusun lereng, kondisi kestabilan lereng, serta potensi bahaya batuan jatuh pada muka lereng. Karakterisasi massa batuan menggunakan klasifikasi *Rock Mass Rating* dan *Slope Mass Rating*. Analisis kestabilan lereng menggunakan analisis kinematika dan metode elemen hingga. Hasil identifikasi massa batuan membagi lereng penelitian menjadi tiga lereng segmen, yaitu SC-1, SC-2, dan SC-3. Lereng segmen SC-1 memiliki kualitas massa batuan *very good rock*, lereng segmen SC-2 *fair rock*, dan lereng segmen SC-3 *good rock*. Hasil analisis kinematika menunjukkan lereng segmen SC-1 dan SC-3 berpotensi longsor membaji. Simulasi kestabilan lereng metode elemen hingga menunjukkan seluruh lereng segmen berada pada kondisi stabil dengan *displacement* maksimum terbesar pada lereng segmen SC-2 sebesar 34 mm. Simulasi batuan jatuh menunjukkan jangkauan maksimum batuan sebesar 3,1 m dari muka lereng, dengan tinggi maksimum 2,57 m dari permukaan tanah. Rekomendasi perkuatan dilakukan dengan pembuatan *ditch* dan pembuatan pagar kawat atau dinding penahan sejauh 6,2 m dari muka lereng.

Kata Kunci: Kestabilan Lereng Batuan, RMR, SMR, Metode Elemen Hingga, Bahaya Batuan Jatuh

ABSTRACT

Infrastructure developments around the mine site, often involving rock-cutting that cause rock mass to become unstable. Therefore, stability analysis of rock mass at rock-cutting sites is needed. This research was conducted on the slope of rock cutting in andesite quarry area, PT. Widaka Indonesia, Jelekong District, West Java. The toe of slope is planned as the crushing plant. This study aims to determine the characteristics of the rock mass, slope stability, and potential of rock fall hazard. Rock mass characterization using *Rock Mass Rating* and *Slope Mass Rating* system. Slope stability analysis using kinematic analysis and finite element method. Rock mass is divided into three segments, SC-1, SC-2, and SC-3. Result of analysis shows SC-1 segment is *very good rock*, SC-2 segment is *fair rock*, and SC-3 segment is *good rock*. SC-1 and SC-3 segments shows potentially wedges failure. Entire slope is stable condition with the maximum displacement is 34 mm on SC-2 segment. Maximum distance of rock fall is 3,1 m from the slope face, and maximum height bounce is 2,57 m from the surface. The recommendation is to make a ditch and install a fence or retaining wall with a distance 6,2 m from the slope face.

Keywords: Rock Slope Stability, RMR, SMR, Finite Element Method, Rock Fall Hazard

1. PENDAHULUAN

Pemotongan massa batuan di area penambangan seringkali dilakukan dalam pengembangan infrastruktur untuk menunjang kegiatan penambangan. Namun perlu diketahui bahwa pemotongan massa batuan dapat menyebabkan ketidakstabilan, sehingga menyebabkan massa batuan terganggu atau mengalami kelongsoran. Kelongsoran merupakan suatu upaya massa batuan untuk mencapai kestabilan saat massa batuan mengalami gangguan akibat pemotongan. Maka dari itu, diperlukan analisis kestabilan massa batuan pada lokasi-lokasi yang mengalami pemotongan massa batuan di area penambangan khususnya pada lokasi beresiko tinggi atau pada lokasi yang melibatkan banyak aktivitas manusia.

Penelitian ini dilakukan pada lereng hasil pemotongan batuan di kuari andesit, PT. Widaka Indonesia, Kecamatan Jelekong, Kabupaten Bandung, Jawa Barat (**Gambar 1**). Pada puncak lereng, terdapat jalur lalu lintas truk pembawa bahan galian tambang, sedangkan pada kaki lereng direncanakan sebagai lokasi penempatan mesin *crushing plant* andesit yang telah ditambang.

Untuk menjaga keamanan pekerja dan mesin *crushing plant* dari bahaya kelongsoran batuan, diperlukan analisis kestabilan massa batuan penyusun lereng yang meliputi identifikasi karakteristik massa batuan penyusun lereng, kondisi kestabilan lereng, dan potensi bahaya batuan jatuh hasil pemotongan massa batuan pada lokasi tersebut. Rekomendasi jarak aman untuk lokasi penempatan mesin *crushing plant* diajukan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rock Mass Rating

Rock Mass Rating (RMR) merupakan suatu klasifikasi massa batuan

yang dipublikasikan oleh Bieniawski (1989) dan digunakan untuk menentukan kestabilan massa batuan secara empiris dengan cara memberikan penilaian massa batuan dengan bobot dan parameter berdasarkan kondisi geologinya. Parameter dan pembobotan dalam klasifikasi RMR dapat dilihat pada **Tabel 2**.

2.2 Slope Mass Rating

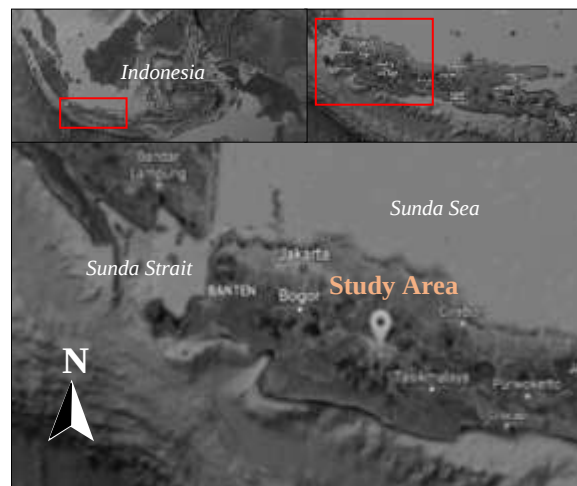
Slope Mass Rating (SMR) merupakan suatu klasifikasi modifikasi RMR yang dipublikasikan oleh Romana (1985) untuk menentukan kestabilan suatu lereng secara empiris dengan memberikan penilaian suatu lereng berdasarkan jenis longsoran dan orientasi dominan bidang diskontinu yang terdapat pada tubuh lereng. Parameter dan pembobotan klasifikasi SMR dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Nilai SMR diperoleh dari perhitungan bobot menurut klasifikasi RMR, dan faktor-faktor penyesuaian F_1 , F_2 , F_3 , dan F_4 .

$$SMR = RMR_{basic} + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

Dengan,

- F_1 bergantung kepada perbedaan besar sudut antara jurus bidang diskontinu (α_s) dengan jurus dari permukaan lereng (α_j), $F_1 = [1 - \sin(\alpha_s - \alpha_j)]^2$.
- F_2 merupakan nilai tangensial sudut kemiringan bidang diskontinu, dengan β_j adalah sudut kemiringan bidang diskontinu, $F_2 = \tan^2 \beta_j$.
- F_3 mencerminkan hubungan antara kemiringan permukaan lereng dengan kemiringan bidang diskontinu.
- F_4 merupakan faktor penyesuaian yang berkaitan dengan metode ekskavasi.



Gambar 1. Lokasi penelitian berada di PT. Widaka Indonesia, Kecamatan Jelekong, Kabupaten Bandung, Jawa Barat

Tabel 1. Tabel pembobotan *Slope Mass Rating* Romana (1985)

ADJUSTING FACTORS FOR JOINTS (F1, F2, F3)	α_j = DIP DIRECTION OF JOINT β_j = DIP OF JOINT α_s = DIP DIRECTION OF SLOPE β_s = DIP OF SLOPE				
	VERY FAVOURABLE	FAVOURABLE	FAIR	UNFAVOURABLE	VERY UNFAVOURABLE
PLANE FAILURE $ \alpha_j - \alpha_s =$	> 30	30-20	20-10	10-5	< 5
TOPPLING $ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ =$					
F1 VALUE	0.15	0.40	0.70	0.85	1
RELATIONSHIP	$F1 = (1 - \sin \alpha_j - \alpha_s)^2$				
$ \beta_j =$	< 20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	>45°
F2 PLANE FAILURE	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
F2 TOPPLING	1.00				
RELATIONSHIP	$F2 = \tan^2 \beta_j$				
PLANE FAILURE $\beta_j - \beta_s =$	>10°	10°-0°	0°	0°-(-10°)	<(-10°)
TOPPLING $\beta_j + \beta_s =$	< 110°	110°-120°	>120°	-	-
F3 VALUE	0	-6	-25	-50	-60
RELATIONSHIP	F3 (BIENIAWSKI ADJUSTMENT RATINGS FOR JOINTS ORIENTATION, 1976)				
F4 ADJUSTING FACTOR FOR EXCAVATION METHOD	F4 = EMPIRICAL VALUES FOR METHOD OF EXCAVATION				
	NATURAL SLOPE	PRESPLITTING SMOOTH	SMOOTH BLASTING	BLASTING BLASTING or MECHANICAL	DEFICIENT BLASTING
F4 VALUE	+15	+10	+8	0	-8
TENTATIVE DESCRIPTION OF SMR CLASSES					
CLASS NO	V	IV	III	II	I
SMR	0 – 20	21 – 40	41 – 60	61 – 80	81 – 100
DESCRIPTION	VERY BAD	BAD	NORMAL	GOOD	VERY GOOD
STABILITY	COMPLETELY UNSTABLE	UNSTABLE	PARTIALY STABLE	STABLE	COMPLETELY STABLE
FAILURES	BIG PLANAR OR SOIL-LIKE	PLANAR OR BIG WEDGES	SOME JOINTS OR MANY WEDGES	SOME BLOCKS	NONE
SUPPORT	REEXCAVATION	IMPORTANT/CORRECTIVE	SISTEMATIC	OCCASIONAL	NONE

Tabel 2. Tabel pembobotan Rock Mass Rating Bieniawski (1989)

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS									
Parameter			Ranges of Values						
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index (MPa)	>10	4–10	2–4	1–2	For this low range, uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial compressive strength (MPa)	>250	100–250	50–100	25–50	5–25	1–5	<1
	Rating		15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality RQD (%)		90–100	75–90	50–75	25–50	<25		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		>2 m	0.6–2 m	200–600 mm	60–200 mm	<60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered wall	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1–5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
	Rating		30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	None	<10	10–25	25–125	>125		
		Ratio Joint water pressure Major principal stress	0	<0.1	0.1–0.2	0.2–0.5	>0.5		
			General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing	
	Rating		15	10	7	4	0		

B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS						
Strike and Dip Orientations of Discontinuities		Very Favorable	Favorable	Fair	Unfavorable	Very Unfavorable
Ratings	Tunnels and mines	0	–2	–5	–10	–12
	Foundations	0	–2	–7	–15	–25
	Slopes	0	–5	–25	–50	–60

C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS					
Rating	100–81	80–61	60–41	40–21	<20
Class no.	I	II	III	IV	V
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock

D. MEANING OF ROCK MASS CLASSES					
Class no.	I	II	III	IV	V
Average stand-up time	20 yr for 15-m span	1 yr for 10-m span	1 wk for 5-m span	10 h for 2.5-m span	30 min for 1-m span
Cohesion of the rock mass (kPa)	>400	300–400	200–300	100–200	<100
Friction angle of the rock mass (deg)	>45	35–45	25–35	15–25	<15

CHART E Guidelines for Classification of Discontinuity Conditions*

Parameter	Ratings				
Discontinuity length (persistence/continuity)	<1 m 6	1–3 m 4	3–10 m 2	10–20 m 1	>20 m 0
Separation (aperture)	None 6	<0.1 mm 5	0.1–1.0 mm 4	1–5 mm 1	>5 mm 0
Roughness	Very rough 6	Rough 5	Slightly rough 3	Smooth 1	Slickensided 0
Infilling (gouge)	None 6	<5 mm 4	Hard filling >5 mm 2	Soft filling <5 mm 2	>5 mm 0
Weathering	Unweathered 6	Slightly weathered 5	Moderately weathered 3	Highly weathered 1	Decomposed 0

2.3 Analisis Kinematika

Analisis kinematika digunakan untuk mengetahui jenis dan arah longsoran yang mungkin terjadi pada lereng berdasarkan kondisi struktur geologinya. Analisis kinematika digunakan untuk mengetahui jenis longsoran pada tubuh lereng sebelum dilakukan klasifikasi SMR.

2.4 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga (*finite element method*) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menghitung tegangan dan perpindahan pada material. Konsep dasar metode elemen hingga adalah membagi suatu sistem struktur menjadi

elemen-elemen kecil yang disebut elemen hingga (*finite element*). Tiap elemen-elemen tersebut secara eksplisit menggambarkan reaksi dari material yang ada di dalamnya. Analisis kestabilan lereng menggunakan metode elemen hingga akan memberikan gambaran mengenai besarnya perpindahan pada tiap titik simpul dan besarnya tegangan pada tiap elemen (Brady & Brown, 2005).

3. METODE

Metode penelitian terdiri dari tahap persiapan, tahap pengumpulan data, tahap analisis data, dan tahap rekomendasi.

Tahap persiapan terdiri dari perumusan masalah dan studi literatur.

Tahap pengumpulan data terdiri dari pengumpulan data lapangan dan data laboratorium. Data lapangan berupa pengamatan litologi beserta tingkat pelapukannya, pemetaan kondisi bidang diskontinu, pemetaan orientasi bidang diskontinu, dan pengukuran geometri serta orientasi muka lereng. Pemetaan bidang diskontinu dan orientasi bidang diskontinu menggunakan metode *scanline*. Data laboratorium meliputi pengujian sifat fisik batuan dan *Point Load Index* (PLI). Tahap analisis data meliputi perhitungan RMR, analisis kinematika, perhitungan SMR, simulasi kestabilan lereng metode elemen hingga, dan simulasi batuan jatuh. Analisis kinematika menggunakan *software* Dips V6.008, simulasi kestabilan lereng metode elemen hingga menggunakan *software* Phase² V8.005, dan simulasi batuan jatuh menggunakan *software* RocFall V4.039.

Tahap rekomendasi berupa penyusunan laporan dan rekomendasi jarak aman untuk penempatan lokasi mesin *crushing plant*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Geologi

Berdasarkan Peta Geologi Regional lembar Garut – Pampeuk (Alzwar, *et al.*,

1992), lokasi penelitian berada pada Formasi Andesit Waringin-Bredil Malabar Tua. Formasi tersusun atas perselingan lava, breksi, dan tuf. Andesit didominasi atas hornblenda dan piroksen.

Lereng penelitian tersusun atas andesit tanpa berstruktur (*massive*) dan *sheeting joints*. Lereng mengalami tingkat pelapukan *slightly weathered* hingga *moderately weathered*. Andesit dengan tingkat pelapukan *moderately weathered* memiliki kekerasan *medium strong rock* (R3), sedangkan pada tingkat pelapukan *slightly weathered* memiliki kekerasan *extremely strong rock* (R6). Andesit yang mengalami *slightly weathered* dicirikan oleh batuan yang masih keras, tekstur batuan dan mineralogi nya masih dapat diidentifikasi seperti batuan yang masih segar, dan pada tingkat pelapukan ini hanya terjadi perubahan warna pada andesit. Pada batuan yang mengalami *moderately weathered*, batuan mengalami perubahan warna hampir pada seluruh permukaan, sebagian sudah berubah menjadi *clay* akibat pelapukan.

Pembagian pengukuran segmen pada muka lereng didasari kondisi tingkat pelapukan dan jenis struktur batuanya. Lereng pada daerah penelitian dibagi menjadi tiga segmen yaitu SC-1, SC-2, dan SC-3 (**Gambar 2**).

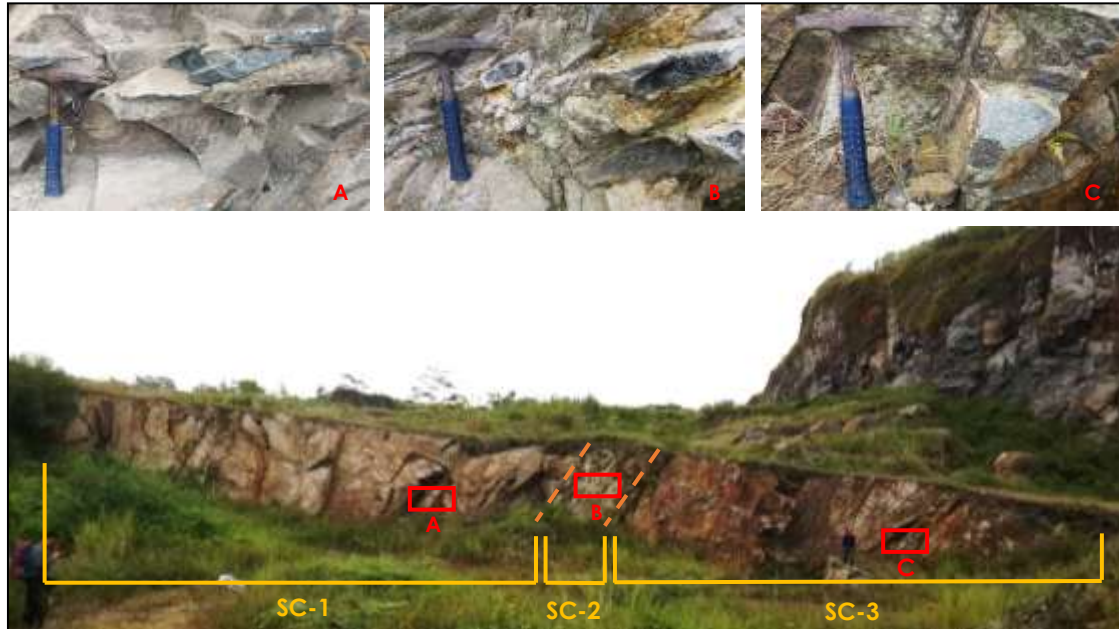
4.2 Rock Mass Rating

Hasil pengukuran PLI menunjukkan lereng segmen SC-1 memiliki nilai rata-rata sebesar 10,01 MPa, lereng segmen SC-2 memiliki nilai rata-rata sebesar 7,04 MPa, dan lereng segmen SC-3 memiliki nilai rata-rata sebesar 10,38 MPa.

Sebanyak 231 bidang diskontinu di deskripsi dan diukur orientasinya di lapangan. Lereng segmen SC-1 memiliki frekuensi bidang diskontinu sebesar 3,79/m, RQD sebesar 94,40% dengan spasi bidang diskontinu sebesar 14,99 cm (*close spacing*). Lereng segmen SC-2 memiliki frekuensi bidang diskontinu sebesar 10,62/m, RQD sebesar 71,28% dengan spasi bidang diskontinu sebesar 5,08 cm (*very close spacing*). Lereng segmen SC-3

memiliki frekuensi bidang diskontinu sebesar 4,41/m, RQD sebesar 92% dengan

spasi bidang diskontinu sebesar 17,08 cm (*close spacing*).



Gambar 2. Pembagian lereng segmen pada lokasi penelitian berdasarkan tingkat pelapukan dan struktur batuanya. Lereng dibagi menjadi tiga segmen, yaitu SC-1, SC-2, dan SC-3 (Azzam *et al.*, 2018)

Seluruh lereng segmen memiliki panjang bidang diskontinu yang didominasi <3 m (*very low persistence – low persistence*) dengan tingkat kekasaran didominasi oleh *rough surface*. *Aperture* pada SC-1 didominasi sebesar 0,1 - 1 mm (*tight – partly open aperture*), sedangkan pada SC-2 dan SC-3 didominasi oleh 1 – 5 mm (*open – moderately wide aperture*). Pada lereng segmen SC-1 dan SC-3 kondisi bidang diskontinu mengalami tingkat pelapukan yang didominasi oleh *slightly weathered* dengan tanpa material pengisi, sedangkan pada lereng segmen SC-2 mengalami tingkat pelapukan *moderately weathered* dengan material pengisi berupa *clay (soft infilling)*.

Seluruh lereng segmen berada pada keadaan kering (*dry condition*). Hasil perhitungan RMR menunjukkan, lereng segmen SC-1 memiliki nilai RMR 82 (*very good rock*), SC-2 memiliki nilai RMR 60 (*fair rock*), dan SC-3 memiliki nilai RMR 79 (*good rock*). **Tabel 3** menunjukkan hasil

perhitungan RMR pada setiap lereng segmen.

4.3 Analisis Kinematika

Dalam analisis kinematika, diperlukan nilai sudut geser dalam (*internal friction angle*) bidang diskontinu sebagai batas bawah zona *daylight envelope*. Endaryanto (2007) melakukan pengujian kuat geser langsung bidang diskontinu pada andesit disekitar lokasi penelitian, dan menunjukkan nilai sudut geser dalam efektif sebesar $\phi = 41^\circ$.

Hasil analisis kinematika menunjukkan pada lereng segmen SC-1 dan SC-3 terdapat perpotongan *joint set* yang berpotensi menghasilkan longsoran membaji, sedangkan pada lereng segmen SC-2 *joint set* tidak menyebabkan potensi longsoran batuan dalam jenis apapun. **Gambar 3** menunjukkan *stereoplot* bidang diskontinu pada setiap lereng segmen

beserta *stereoplot joint set* dalam analisis

Hasil perhitungan SMR menunjukkan

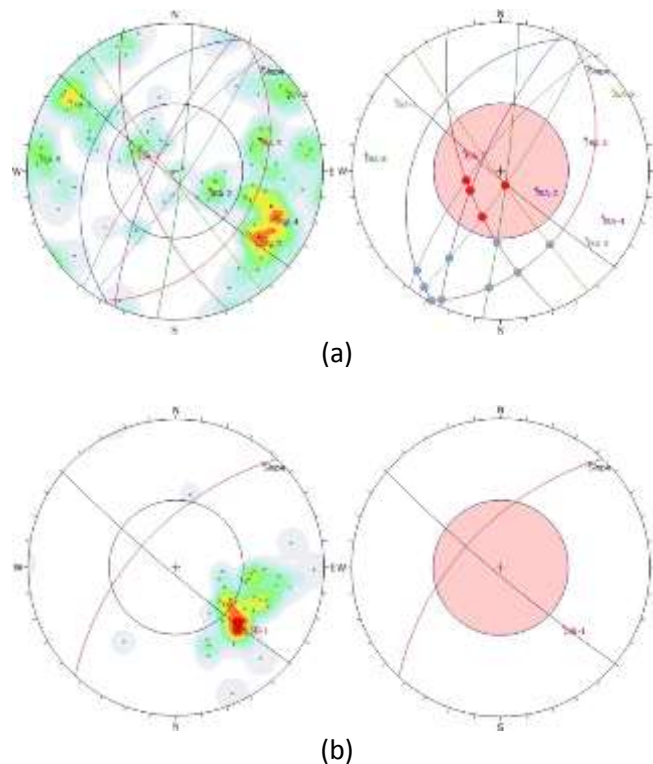
<i>RMR Parameter</i>	<i>SC-1 segment (result/value)</i>	<i>SC-2 segment (result/value)</i>	<i>SC-3 segment (result/value)</i>
<i>Point Load Index</i>	10,01 MPa / 15	7,04 MPa / 12	10,38 MPa / 15
<i>RQD</i>	94,40% / 20	71,28% / 13	92% / 20
<i>Discontinuity Spacing</i>	14,99 cm / 8	5,08 cm / 5	17,08 cm / 8
<i>Discontinuity Condition</i>	<i>Rough surface, aperture 0,1 – 1 mm, discontinuity length 1 – 3 m, none infilling, slightly weathered / 24</i>	<i>Rough surface, aperture 1 – 5 mm, discontinuity length 1 – 3 m, soft infilling, moderately weathered / 15</i>	<i>Rough surface, aperture 1 – 5 mm, discontinuity length 1 – 3 m, soft infilling, slightly weathered / 21</i>
<i>Groundwater Condition</i>	<i>Dry / 15</i>	<i>Dry / 15</i>	<i>Dry / 15</i>
<i>Total Value</i>	82	60	79
<i>Rock Mass Class</i>	I (Very Good Rock)	III (Fair Rock)	II (Good Rock)

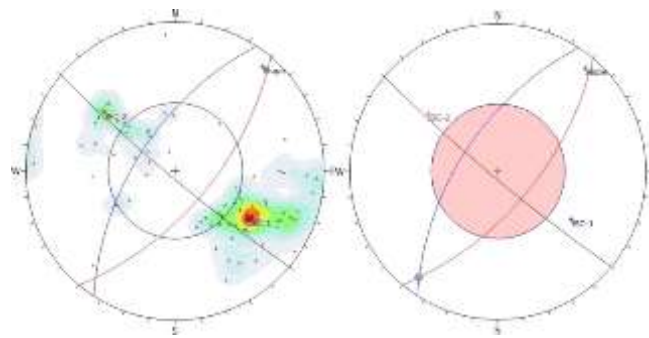
kinematika. **Tabel 4** menunjukkan potensi longosoran batuan beserta *joint set* yang terlibat pada setiap lereng segmen.

lereng segmen SC-1 termasuk *normal slope* dengan nilai SMR terendah 50, lereng

4.4 Slope Mass Rating

Tabel 3. Hasil perhitungan RMR pada setiap lereng segmen





(c)

Gambar 3. Stereoplot bidang diskontinu dan *stereoplot joint set* pada setiap lereng segmen

segmen SC-2 termasuk *normal slope* dengan nilai SMR 43, dan lereng segmen SC-3 termasuk *good slope* dengan nilai SMR 63,35. **Tabel 4** menunjukkan hasil perhitungan SMR pada setiap lereng segmen.

4.5 Simulasi Kestabilan Lereng Metode Elemen Hingga

Simulasi kestabilan lereng metode elemen hingga dilakukan untuk mengetahui pergeseran maksimum (*displacement*) lereng yang dialami pada keadaan pengaruh getaran gempa bumi dan pembebanan akibat laju truk pembawa bahan galian tambang pada puncak lereng. Spesifikasi truk memiliki panjang 6 m, lebar 2 m, dan jika kapasitas muatan truk terisi penuh, truk memiliki berat sebesar 8,25 ton (Isuzu, 2016), sehingga puncak lereng mengalami pembebanan sebesar $6,737 \text{ kN/m}^2$. Menurut Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017, lokasi penelitian memiliki nilai PGA sebesar 0,6 – 0,7, sehingga penggunaan nilai koefisien getaran yang digunakan sebesar 0,7 PGA.

Hasil simulasi menunjukkan pergerakan maksimum pada lereng segmen SC-1 sebesar 10 mm, lereng segmen SC-2 sebesar 34 mm, dan lereng segmen SC-3 sebesar 10 mm. Menurut *California Mines and Geology* (1979, dalam Wylie & Mah, 2005) pergerakan lereng tanah dan batuan sebesar 0 – 100 mm tidak menyebabkan kelongsoran yang serius, atau dengan kata lain seluruh lereng segmen berada pada

keadaan stabil. **Gambar 4** menunjukkan hasil simulasi kestabilan lereng menggunakan metode elemen hingga pada seluruh lereng segmen.

4.6 Analisis Batuan Jatuh

Meskipun kondisi lereng berada pada keadaan stabil, analisis batuan jatuh dilakukan atas pertimbangan batuan pada puncak lereng berpotensi mengalami keruntuhan *minor* akibat getaran yang diterima puncak lereng baik akibat pergerakan truk pembawa bahan galian tambang maupun akibat gempa bumi. Simulasi batuan jatuh dilakukan sebanyak 10000 kali dan menghasilkan jangkauan jatuhnya batuan maksimum sebesar 3,1 m dari muka kaki lereng dengan jangkauan tinggi maksimum sebesar 2,47 m dari permukaan tanah. **Gambar 5** menunjukkan hasil simulasi batuan jatuh.

4.7 Rekomendasi

Hasil simulasi kestabilan lereng metode elemen hingga menunjukkan seluruh segmen lereng berada pada keadaan stabil. Hal tersebut pula ditunjukkan oleh kualitas massa batuan yang sedang hingga sangat baik (*fair rock – very good rock*). Meskipun terdapat lereng segmen yang memiliki kualitas massa batuan sedang / *fair rock* (lereng segmen SC-2), namun orientasi *joint set* pada lereng segmen tersebut menunjukkan kondisi yang menguntungkan (*favorable*), sehingga meskipun kualitas massa batuan sedang,

massa batuan tidak memiliki potensi longsoran pada muka lereng.

Meskipun seluruh lereng segmen berada pada kondisi stabil, potensi bahaya batuan jatuh mungkin terjadi karena intensitas getaran di puncak lereng yang tinggi.

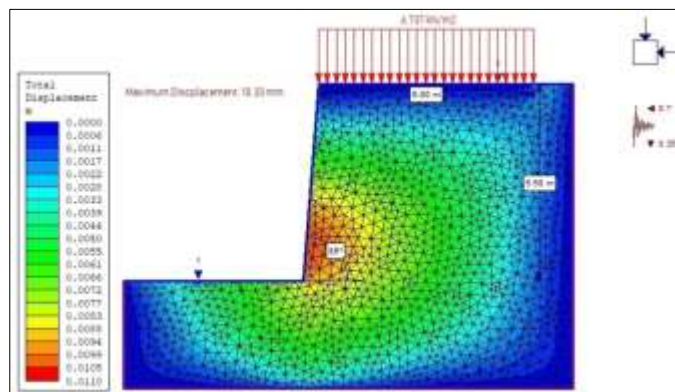
Romana (1985) mempublikasikan jenis penyanggaan (*support*) yang di rekomendasikan berdasarkan nilai SMR (Tabel 5).

Rekomendasi perkuatan yang digunakan berdasarkan nilai SMR adalah perkuatan berjenis *protection*, atas pertimbangan biaya serta kondisi lereng yang masih berada pada keadaan stabil,

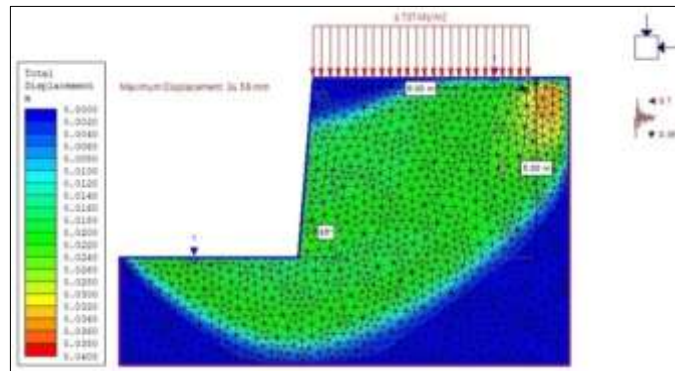
sehingga rekomendasi perkuatan hanya memperhatikan bahaya batuan jatuh. Dalam upaya pencegahan bahaya batuan jatuh dapat dilakukan dengan pembuatan *ditch* serta pemasangan pagar kawat atau dinding penahan di muka lereng. Desain *ditch* mengacu kepada *ditch design chart* yang dipublikasikan oleh Ritchie (1963, dalam Hoek, 2007) dengan mempertimbangkan tinggi lereng dan kemiringan lereng (Gambar 6). Maka pada lokasi penelitian desain *ditch* yang digunakan memiliki lebar 4,6 m dengan kedalaman sebesar 1,2 m, dan penambahan kerikil pada dasar *ditch*. Pemasangan pagar kawat atau dinding

Tabel 4. Hasil perhitungan SMR pada setiap lereng segmen

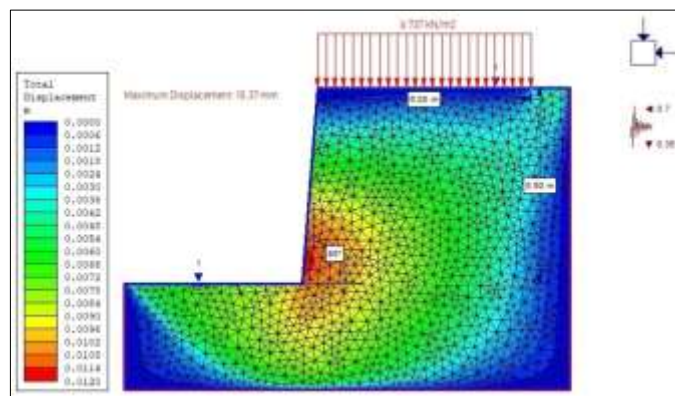
Segment of Slope	Potential of Failure	Joint Set	Slope Mass Rating										
			Strike (N....°E)	Dip (°)	F1		F2		F3		F4	RMR	SMR
					F1	Value	F2	Value	F3	Value			
SC-1	Wedge 1	JSA5 & JSA3	165	63	35	0,15	> 45	1	-22	-60	-8	82	65
	Wedge 2	JSA5 & JSA4	148	52	18	0,4	> 45	1	-33	-60	-8	82	50
	Wedge 3	JSA5 & JSA1	112	53	18	0,4	> 45	1	-32	-60	-8	82	50
	Wedge 4	JSA6 & JSA8	71	79	59	0,15	> 45	1	-6	-50	-8	82	66,5
	Wedge 5	JSA1 & JSA6	71	79	59	0,15	> 45	1	-6	-50	-8	82	66,5
	Wedge 6	JSA1 & JSA8	71	79	59	0,15	> 45	1	-6	-50	-8	82	66,5
SC-2	-	-	223	61	93	0,15	> 45	1	-24	-60	-8	60	43
SC-3	Wedge 1	JSC1 & JSC 2	122	6	8	0,85	< 20	0,15	-79	-60	-8	79	63,35



(a)

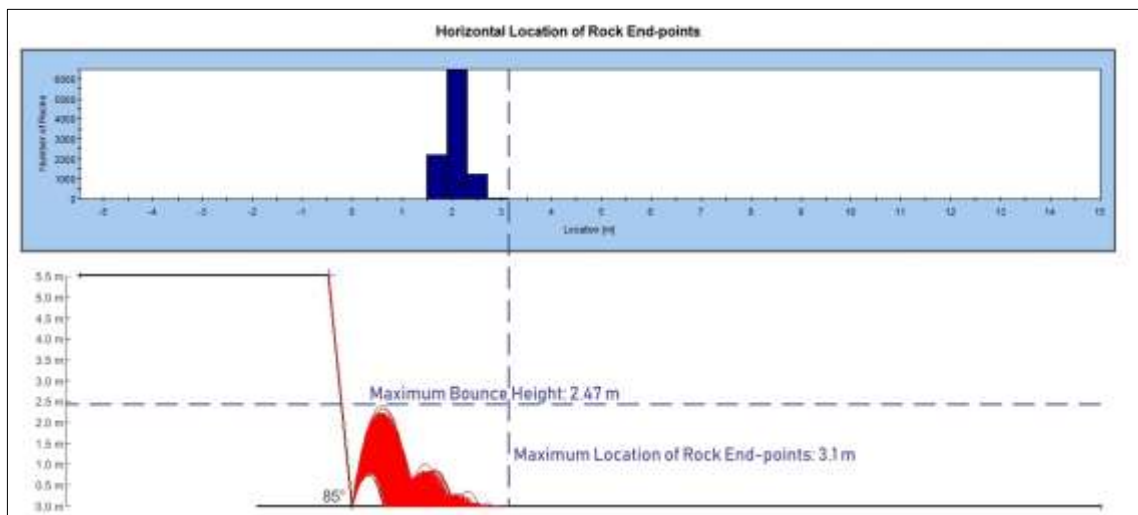


(b)



(c)

Gambar 4. Hasil simulasi kestabilan lereng metode elemen hingga pada (a) segmen SC-1, (b) segmen SC-2, dan (c) segmen SC-3, menunjukkan seluruh lereng segmen berada pada kondisi stabil



Gambar 5. Hasil simulasi batuan jatuh menunjukkan jangkauan jatuhnya batuan maksimum sebesar 3,1 m dari muka kaki lereng dengan jangkauan tinggi maksimum sebesar 2,47 m dari permukaan tanah.

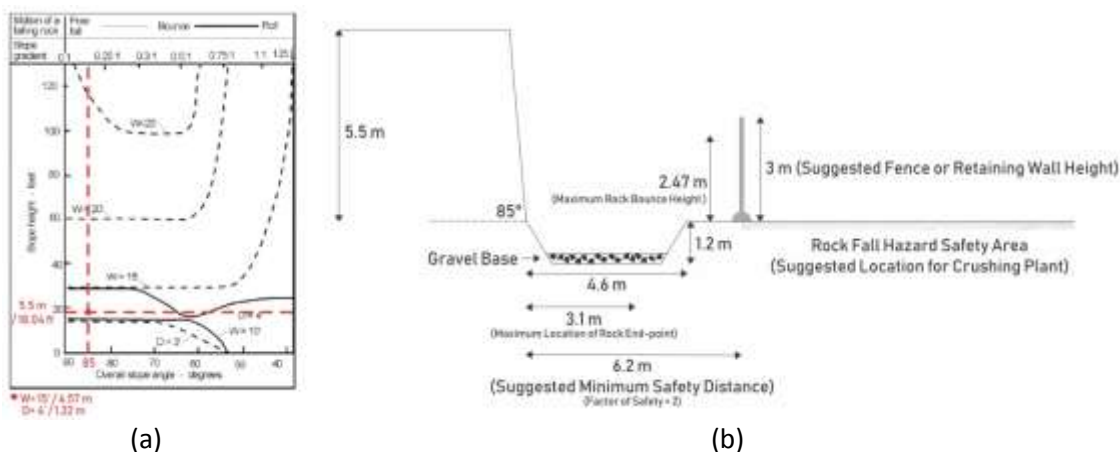
Tabel 5. Jenis penyanggaan (*support*) yang direkomendasikan berdasarkan nilai SMR menurut Romana (1985)

<i>Class</i>	<i>SMR</i>	<i>Support</i>
<i>Ia</i>	<i>91-100</i>	<i>None</i>
<i>Ib</i>	<i>81-90</i>	<i>None or scaling</i>
<i>IIa</i>	<i>71-80</i>	<i>Toe ditch or fence, spot boling (Protection)</i>
<i>IIb</i>	<i>61-70</i>	<i>Toe ditch or fence, nets (Protection)</i> <i>Spot or systematic bolting (Reinforcement)</i>
<i>IIIa</i>	<i>51-60</i>	<i>Toe ditch and/or nets (Protection)</i> <i>Spot or systematic bolting (Reinforcement)</i> <i>Spot shotcrete (Concrete)</i>
<i>IIIb</i>	<i>41-50</i>	<i>Toe ditch and/or net (Protection)</i> <i>Systematic bolting, anchors (Reinforcement)</i> <i>Systematic shotcrete, toe wall and/or dental concrete (Concrete)</i>
<i>Iva</i>	<i>31-40</i>	<i>Anchors (Reinforcement)</i> <i>Systematic shotcrete, toe wall and/or concrete (Concrete)</i> <i>Reexcavation, drainage</i>
<i>IVb</i>	<i>21-30</i>	<i>Systematic reinforced shotcrete, toe wall, and/or concrete (Concrete)</i> <i>Reexcavation, deep drainage</i>
<i>Va</i>	<i>11-20</i>	<i>Gravity, or anchored wall or reexcavation</i>

penahan didasari oleh jarak aman yang diterima dari bahaya batuan jatuh atau sebesar dua kali jangkauan maksimum batuan jatuh yaitu sebesar 6,2 m ($FK=2$) dengan ketinggian pagar kawat atau dinding penahan sebesar 3 m. **Gambar 6** menunjukkan ilustrasi desain *ditch* yang digunakan pada lokasi penelitian dan jarak aman untuk penempatan mesin *crushing plant*.

5. KESIMPULAN

Massa batuan penyusun lereng pada lokasi penelitian termasuk *fair rock* hingga *very good rock*, dengan kekuatan batuan *intact* yang sangat keras. Hal tersebut pula menjadikan lereng berada pada kondisi stabil meskipun lereng mengalami pengaruh getaran yang tinggi. Meskipun lereng berada pada kondisi stabil, intensitas getaran yang tinggi berpotensi memicu batuan jauh di muka lereng,



Gambar 6. (a) *Ditch design chart* Ritchie (1963, dalam Hoek, 2007) dan (b) ilustrasi desain *ditch* serta jarak aman untuk penempatan mesin *crushing plant* pada lokasi penelitian

sehingga perlu dilakukan rekomendasi penguatan pada lereng berupa pembuatan ditch dengan lebar 4,6 m dan kedalaman 1,2

m serta pemasangan pagar kawat atau dinding penahan sejauh 6,2 m dari muka

lereng dengan tinggi sebesar 3 m sebelum ditempatkan mesin *crushing plant*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada Dr. Zufaldi Zakaria, S.T., M.T. dan Raden Irvan Sophian, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan PT. Widaka Indonesia yang telah memberikan keleluasaan dalam pengambilan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Alzwar, M., Akbar, N., & Bachri, S. 1992. *Peta Geologi Lembar Garut dan Pamengpeuk, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Azzam, M.A., Rinaldi, M., Wibowo, S., Zakaria, Z., Muslim, D., & Mulyo, A. 2018. Feasibility Study of Crushing Plant Location at Quarry Andesite, West Java, Indonesia, using Rock Mass Classification and Kinematic Analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Bandung, Indonesia.
- Bieniawski, Z.T. 1989. *Engineering Rock Mass Classification. A Complete Manual for Engineers and Geologist in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*. New York: John Wiley and Sons.
- Brady, B.H.G., & Brown, E.T. 2005. *Rock Mechanics for Underground Mining*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 183p.
- Endartyanto, A. 2007. Analisis Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Kinematik dan Klasifikasi Massa Batuan; Studi Kasus di Area Penambangan Andesit, Desa Jelesong, Kecamatan Baleendah, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. *Skripsi*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Hoek, E. 2007. *Practical Rock Engineering*. 3rd ed. Vancouver: Hoek Consulting Inc.
- Isuzu. 2016. *Spesifikasi Isuzu NMR 71 HD 6,1*. <http://isuzumobil.com/2016/06/isuzu-elf-nmr-71-hd-61.htm?m%3D1&hl=id-ID>. Diakses pada 13 Juni 2018.
- Romana, M. 1985. New adjustment ratings for application of Bieniawski classifications to slopes. *Proceeding of Rock Mechanics*. Zacatecas, Mexico, 49-53pp.
- Tim Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Kabupaten Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman, Kemen PUPR.
- Wyllie, D.C., & Mah, C.W. 2005. *Rock Slope Engineering Civil and Mining*. 4th ed. New York: Spon Press.