

**ANALISIS KEKUATAN MASSA BATUAN ANDESIT MENGGUNAKAN  
KAI DAH KRITERIA KERUNTUHAN *HOEK-BROWN* UNTUK MENGETAHUI  
NILAI FAKTOR KEAMANAN LERENG PADA DAERAH SELOHARJO,  
KECAMATAN PUNDONG, KABUPATEN BANTUL, DIY**

**Nur Widi Astanto Agus Tri Heriyadi<sup>1</sup>, Dina Tania<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, IST AKPRIND Yogyakarta  
Email: <sup>1</sup>nurwidi@akprind.ac.id, <sup>2</sup>dina\_tania@akprind.ac.id

Masuk: 1 Juli 2018, Revisi masuk: 8 Juli 2018, Diterima: 10 Juli 2018

**ABSTRACT**

*The study area has a steep hill morphology with dominant lithology of andesite lava from the Ngelanggran Formation. Steep morphology with water saturated conditions and platy joints on andesite lava as rock discontinuities with different properties and weathering can be weakening the slope stability. Analysis of the rock mass strength of andesite lava with Hoek-Brown collapse criteria using GSI,  $m_i$ , uniaxial compressive strength, and  $D$  values can be used to obtain rock strength in the form of cohesion ( $c$ ) and internal friction angle ( $\phi$ ), to be applied in the analysis of slope stability. The safety factor (FS) on the slope consists lithology and platy joints and massive using the equilibrium limits approach on the natural slopes shows on safe conditions ( $FK = 7.5$ ). On very steep slope (slope angle  $80^\circ$ ) in LP S09B location which is the former slope of mining activity with lithology andesit platy jointings have strong slopes, and in the field of rock mass movement shows the result of  $FK$  value = 1.3 which is below the PU standard ( $> 1.5$ ). Slope reinforcement can be done by lowering slope angle up to  $75^\circ$  so that the safe conditions at  $FS = 2.4$ .*

**Keywords:** *Andesite, Hoek-Brown collapse, Safety factor, Slope.*

**INTISARI**

Daerah penelitian memiliki morfologi perbukitan curam dengan litologi penyusun dominan batuan lava andesit dari Formasi Ngelanggran. Morfologi yang curam dengan kondisi jenuh air dan kekar-kekar batuan berupa *platy joint* pada lava andesit sebagai bidang diskontinu yang berbeda sifat kekedapannya serta terlapukkan dapat memperlemah stabilitas lereng. Analisis kekuatan massa batuan lava andesit dengan kriteria keruntuhan *Hoek-Brown* menggunakan parameter nilai GSI,  $m_i$ , kuat tekan uniaksial, dan nilai  $D$  dapat digunakan untuk mendapatkan kekuatan batuan berupa nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ), untuk diaplikasikan pada analisis stabilitas lereng. Faktor keamanan ( $FK$ ) pada lereng yang tersusun oleh lithologi andesit *platy joint* dan masif menggunakan pendekatan kesetimbangan batas pada lereng yang masih alamiah menunjukkan kondisi aman ( $FK = 7,5$ ). Pada lereng yang sangat terjal (sudut lereng  $80^\circ$ ) dilokasi LP S09B yang merupakan lereng bekas kegiatan penambangan dengan lithologi andesit *platy joint* memiliki kemiringan kekar searah dengan kemiringan lereng dan di lapangan terjadi gerakan massa batuan menunjukkan hasil nilai  $FK = 1,3$  yang di bawah standart rekomendasi PU ( $>1,5$ ). Penguatan lereng dapat dilakukan dengan menurunkan sudut lereng sampai dengan  $75^\circ$  sehingga kondisi aman pada nilai  $FK = 2,4$ .

**Kata-kata kunci:** *Andesit, Faktor keamanan, Keruntuhan Hoek-Brown, Lereng.*

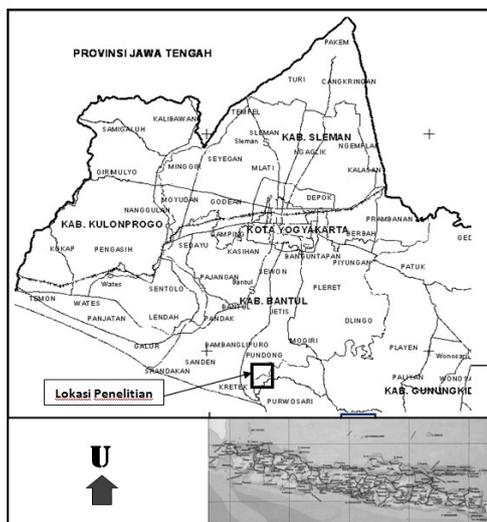
**PENDAHULUAN**

Daerah Seloharjo, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta (Gambar 1) memiliki daerah sebagian bermorfologi

curam yang dipergunakan untuk pemukiman dan perkebunan. Daerah tersebut tersusun oleh lithologi batuan beku intrusi, lava andesit, dan breksi yang menurut Peta Geologi lembar

Yogyakarta (Raharjo, 1977) merupakan bagian dari Formasi Ngelanggran (Tmn) yang berumur Oligosen Akhir-Miosen Awal (Gambar 3).

Morfologi yang curam, tingkat pelapukan, serta hadirnya bidang-bidang lemah berpotensi menimbulkan gerakan massa. Pada lava andesit dijumpai struktur kekar berlembar yang mana kehadiran kekar-kekar berlembar tersebut merupakan bidang-bidang lemah (diskontinu) yang mempengaruhi kekuatan massa batuan. Kehadiran lava andesit dengan struktur kekar berlembar dan autobreksi menarik untuk dikaji lebih mendalam dikarenakan kekuatan batuan dipengaruhi oleh struktur batuan yang hadir sebagai bidang lemah.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian, daerah Seloharjo, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, DIY

Tujuan penelitian adalah untuk memberikan gambaran klasifikasi massa batuan yang menyusun daerah Seloharjo, yang di dalamnya mencakup metode dan langkah-langkah konservasi geologi (lingkungan) untuk perlindungan terhadap potensi bencana geologi, disajikan dalam bentuk pengklasifikasian kelas massa batuan.

#### METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu studi pustaka, penelitian lapangan, analisis laboratorium dan pembuatan laporan.

Studi pustaka dikerjakan untuk memperoleh informasi dan mengumpulkan data sekunder. Eksplorasi data sekunder dengan melakukan *review* publikasi penelitian terdahulu dan kajian teoretik, terutama tentang karakteristik massa batuan andesit untuk mengetahui faktor keamanan.

Penelitian di lapangan meliputi pengambilan data karakteristik litologi lava andesit serta massa batuan. Pengamatan lithologi berupa struktur, tekstur dan komposisi mineral penyusun, bentang alam (morfologi) yang disusun oleh batuan tersebut, penggunaan lahan. Pengamatan massa batuan meliputi: kekuatan batuan (kuat tekan batuan), *rock quality designation* (RQD), spasi diskontinuitas, kondisi diskontinuitas dan konsidi air tanah. Pengambilan data di lapangan meliputi: *plotting* lokasi pengamatan; identifikasi batuan dan pencatatan data geologi.

Analisis laboratorium meliputi pengujian sifat fisik batuan, sifat mekanik batuan melalui pengujian kuat tekan dan petrografi.

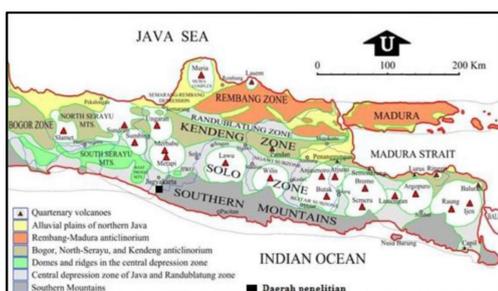
Pengolahan dan simulasi di studio meliputi: pengeplotan lokasi data lapangan, korelasi data, klasifikasi massa batuan *Rock Mass Rating* (RMR), analisis metode keruntuhan *Hook & Brown* (2002) untuk menentukan kekuatan batuan, rekonstruksi di permukaan maupun bawah permukaan melalui penggambaran penampang 2 dimensi, memasukkan parameter material dan parameter geser massa batuan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan, melakukan simulasi terhadap lereng kritis untuk lebih aman dengan cara menurunkan kemiringan lereng.

Hasil data baik lapangan maupun studio dikorelasikan dengan data sekunder ataupun pendekatan dengan pemodelan teori yang terkait karakteristik massa batuan berikut kondisi geologi pengontrolnya diinterpretasikan dengan melakukan hubungan sintesa terhadap data sekunder dari peneliti terdahulu dan informasi teknologi terkini yang memungkinkan untuk diterapkan mengatasi permasalahan penelitian.

## PEMBAHASAN

### Tinjauan Umum

Daerah penelitian, secara fisiografi regional menurut Bemmelen (1949) merupakan bagian dari jalur Pegunungan Selatan bagian Barat yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Fisiografi daerah Jawa Tengah dan Jawa Timur (Bemmelen, 1949)

Zona Pegunungan Selatan dibatasi oleh Dataran Yogyakarta-Surakarta di sebelah barat dan utara, sedangkan di sebelah timur oleh Waduk Gajah Mungkur, Wonogiri dan di sebelah selatan oleh Lautan India. Di sebelah barat, antara Pegunungan Selatan dan Dataran Yogyakarta dibatasi oleh aliran Kali Opak, sedangkan di bagian utara berupa gawir Baturagung. Bentuk Pegunungan Selatan ini hampir membujur barat-timur sepanjang lebih kurang 50 km dan ke arah utara-selatan mempunyai lebar lebih kurang 40 km.

Stratigrafi Pegunungan Selatan bagian Barat disusun oleh satuan-satuan batuan dari tua ke muda, yaitu sebagai berikut: Kelompok Batuan Pra Tersier, Formasi Wungkal, Formasi Butak, Formasi Semilir, Formasi Nglanggran, Formasi Sambipitu, Formasi Oyo, Formasi Wonosari, Formasi Kepek hingga Endapan permukaan.

Batuan andesit di daerah Seloharjo terdapat pada Formasi Nglanggran (Rahardjo dkk., 1995) yang berupa lava, intrusi dan fragmen breksi vulkanik (Gambar 3). Kehadiran Lava andesit menarik untuk dikaji lebih mendalam, hal ini dapat dilihat pada model pembentukan lava (MacDonald, 1972) yang menunjukkan adanya kenampakan karakteristik struktur batuan yang

terbantuk pada lava, seperti adanya struktur *autobreccia*, *platy joint* (kekar berlembar).



Gambar 3. Geologi daerah Seloharjo, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul menurut Rahardjo dkk. (1995)

Batuan adalah material yang tersusun oleh butir-butir mineral dan kristal terikat satu sama lain oleh semen dan kristal-kristal yang saling mengunci, memiliki kekerasan, tidak menjadi substansi elastis saat mengandung air. Sebagai massa, merupakan material diskontinu dengan kekar dan rekahan padanya. Rekahan ini dikontrol oleh resistensi massa batuan keseluruhan dan gaya yang terjadi, bukan kekuatan butiran, kristal, atau material semen pengikat antar butir. Selain rekahan, terdapat struktur batuan yang berkontribusi dalam mempengaruhi kekuatan batuan, antara lain shears, perlapisan, foliasi, dan struktur geologi berupa sesar. Kekuatan batuan dipengaruhi oleh struktur batuan yang hadir sebagai bidang lemah.

Pengaruh struktur batuan dapat menurunkan kekuatan batuan karena kuat geser tergantung pada kohesi (ikatan atom secara primer-"faktor internal") dan sudut geser dalam (ekspresi ikatan antar butir), sehingga batuan mudah terdeformasi. Bentuk deformasi ini dapat diidentifikasi pada singkapan batuan dengan ciri mempunyai morfologi dengan lereng yang labil. Ketidakstabilan ini diakibatkan oleh kelulusan air besar pada struktur batuan tersebut, dan apabila terjadi pada *tension cracks* maka karena dengan adanya air tersebut akan menjadi beban pada lereng batuan, selain itu juga peristiwa masuknya air tersebut akan mengakibatkan suatu pengangkatan dengan gaya yang disebabkan oleh

tekanan air, sehingga akibatnya dapat menimbulkan ketidakstabilan pada lereng batuan (Goodman, 1976). Kondisi struktur rekahan atau kekar dan spasi kekar, orientasi kekar dan lereng, serta kondisi keairan (akifer air dalam massa batuan) merupakan bagian dari parameter massa batuan sebagai data pendukung dalam interpretasi analisa laboratorium dari parameter kekuatan batuan (*uniaxial compressive strength/UCS*) (Bieniaswki, 1989).

### Data Lapangan

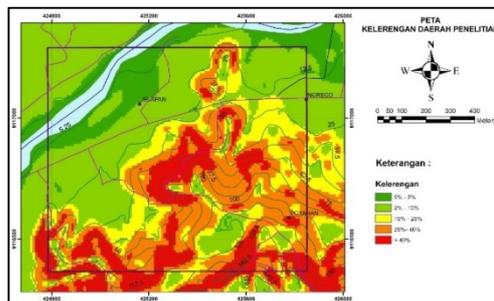
Daerah penelitian memiliki morfologi berlereng curam pada daerah berbukit (Gambar 4). Morfologi di daerah telitian terdiri dari lereng alamiah dan lereng yang terbentuk karena aktifitas manusia (Gambar 5). Kelerengan pada daerah telitian berdasarkan data kontur pada peta rupabumi dapat dibagi menurut klasifikasi kelerengan Van Zuidam yang tersaji pada Gambar 6 dan Gambar 7. Pada daerah perbukitan memiliki kelerengan antara 15% - > 40%.



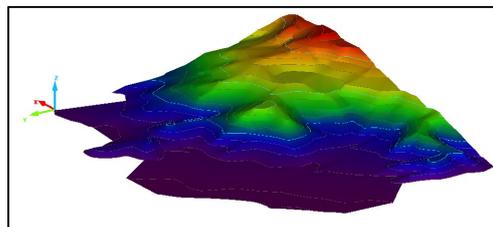
Gambar 4. Kenampakan morfologi pada daerah penelitian



Gambar 5. Kenampakan lereng yang terbentuk karena aktifitas penggalian dan terjadi gerakan massa



Gambar 6. Peta kelerengan pada daerah penelitian



Gambar 7. Kenampakan morfologi 3 dimensi pada daerah penelitian

Lokasi penelitian merupakan daerah pemukiman dan perkebunan. Daerah perkampungan dihubungkan oleh jalan yang dibangun dengan memotong bukit. Pembangunan rumah dan jalan ini membuat perubahan *slope* lereng menjadi lebih terjal (Gambar 5, Gambar Gambar 8, dan Gambar 9).



Gambar 8. Kenampakan lereng andesit dengan struktur kekar berlembar pada pinggir jalan LP S05

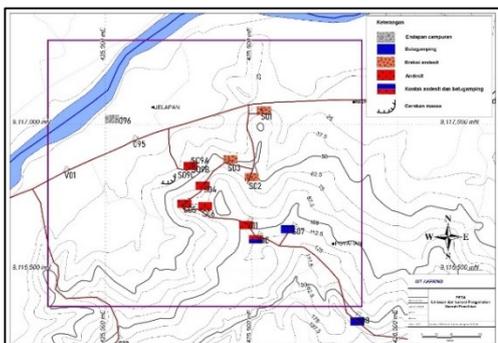


Gambar 9. Kenampakan lereng andesit dengan struktur kekar berlembar berada di samping rumah warga

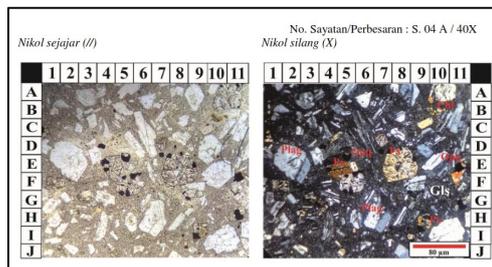
Dari pengamatan lapangan dijumpai lithologi breksi, andesit dan batugamping. Peta lokasi pengamatan tersaji pada Gambar 10. Batuan andesit di lapangan dijumpai dalam bentuk lava andesit massif, lava andesit berstruktur autoklastik dan lava andesit dengan struktur kekar berlembar (Gambar 12).

Lava andesit, memiliki warna lapuk coklat, warna segar abu-abu gelap, struktur massif dan kekar berlembar, *afanitik*, *hipokristalin*, *subhedral*, *inequigranular*, komposisi plagioklas, piroksen, kuarsa. Dari pengamatan petrografi batuan berdasarkan klasifikasi William (1954) masuk kedalam penamaan andesit piroksen (Gambar 11). Kenampakan singkapan lava dengan struktur kekar berlembar tersaji pada Gambar 13.

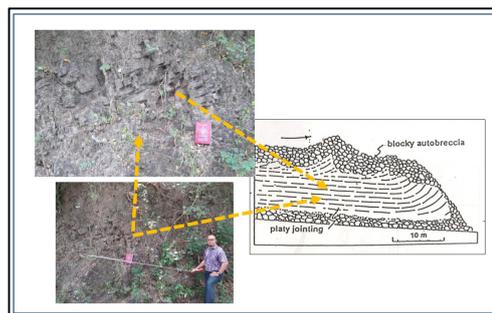
Batugamping, warna segar putih kecoklatan, massif, warna lapuk coklat, struktur massif, komposisi terdiri dari kerangka fosil koral, ganggang, alga dan foraminifera, butiran saling mendukung dan mengikat.



Gambar 10. Peta lintasan dan lokasi pengamatan pada daerah penelitian



Gambar 11. Kenampakan sayatan tipis batuan andesit piroksen pada lokasi LP S05



Gambar 12. Kenampakan singkapan LP S05 menunjukkan lava andesit berstruktur kekar berlembar dan pendekatan model pembentukannya menurut MacDonald (1972)



Gambar 13. Kenampakan singkapan lava andesit massif pada LP S04B

Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian yaitu dijumpai sebagai struktur primer maupun struktur sekunder. Struktur primer dijumpai pada lava andesit yang menunjukkan struktur

kekar berlembar yang menunjukkan bahwa kekar berlembar ini terbentuk karena pembekuan lava andesit (Gambar 12). Kekar berlembar di lapangan umumnya memiliki spasi 3-10cm, pajang 10-15meter, terbuka, sedikit kasar, lapuk sedang dari pengamatan di lapangan. Struktur sekunder juga membentuk kondisi geologi pada daerah penelitian, hal ini tampak dari kenampakan gawir yang memanjang relatife timur-barat dan membentuk morfologi lereng curam (Gambar 4).

### Analisis dan Pengolahan Data

Analisis laboratorium yang dilakukan adalah meliputi analisis petrografi di Laboratorium Sumberdaya Mineral, analisis sifat fisik dan mekanik batuan di Laboratorium Geologi Teknik & Tata Lingkungan Jurusan Teknik Geologi FTM IST AKPRIND. Hasil pengujian sifat fisik batuan tersaji pada Tabel 1, sedangkan hasil pengujian kuat tekan tersaji pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pengujian sifat fisik

NO.	PARAMETER	Sampel							
		S02	S04 A	S04 B	S05	S09A	S09B	S09C	
1	Berat conto asli (Wn), gr	229.8	294	316.6	122.6	242.10	213.7	153.6	
2	Berat conto kering (Wo), gr	227	293.4	316.3	122.3	236.10	206.2	147.6	
3	Berat conto jenuh (Ww), gr	233.2	295.1	317.8	122.9	245.30	214.5	154.2	
4	Berat conto jenuh tergantung dalam air (Ws), gr	131.8	186.4	204.1	77.8	150.50	132.5	92.4	
5	Bobot isi asli (natural density), gr/cm <sup>3</sup>	2.27	2.70	2.78	2.72	2.55	2.61	2.49	
6	Bobot isi kering (dry density), gr/cm <sup>3</sup>	2.24	2.70	2.78	2.71	2.49	2.51	2.39	
7	Bobot isi jenuh (saturated density), gr/cm <sup>3</sup>	2.30	2.71	2.80	2.73	2.59	2.62	2.50	
8	"Apperent specific gravity"	2.24	2.70	2.78	2.71	2.49	2.51	2.39	
9	"True specific gravity"	2.38	2.74	2.82	2.75	2.76	2.80	2.67	
10	Kadar air asli (natural water content), %	1.23	0.20	0.09	0.25	2.54	3.64	4.07	
11	Kadar air jenuh (absorption), %	2.73	0.58	0.47	0.49	3.90	4.03	4.47	
12	Derajat kejenuhan, %	45.16	35.29	20.00	50.00	65.22	90.36	90.91	
13	Porositas, %	6.11	1.56	1.32	1.33	9.70	10.12	10.68	
14	Void ratio	0.07	0.02	0.01	0.01	0.11	0.11	0.12	

Tabel 2. Hasil pengujian kuat tekan

No Sampel	Kuat Tekan Uniaxial	
	kg/cm <sup>2</sup>	MPa
S02	144.20	14.14
S04 A	571.04	56.00
S04 B	450.48	44.18
S05	570.53	55.95
S09A	190.76	18.71
S09B	580.11	56.89
S09C	369.96	36.28

Analisis dan pengolahan data dilakukan dengan melakukan analisis kesetabilan lereng di daerah penelitian yang didasarkan pada kriteria keruntuhan *Hoek & Brown* (2002). Kriteria runtuh *Hoek & Brown* ini digunakan untuk

mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) dengan menggunakan parameter nilai *geological strength index* (GSI), mi, kuat tekan uniaksial, dan nilai ketergangguan batuan (D). Parameter tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai mb, s, dan a yang selanjutnya dipakai untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ).

Untuk mendapatkan nilai GSI maka sebelumnya dilakukan pengklasifikasian massa batuan menggunakan metode *rock mass rating* (RMR) yang mengacu pada Bieniawski tahun 1989. Klasifikasi ini menggunakan parameter kekuatan batuan (kuat tekan batuan), *rock quality designation* (RQD), spasi discontinuitas, kondisi diskontinuitas dan kondisi air tanah. Pengamatan RQD dilakukan di lapangan kemudian dihitung dengan persamaan:

$$RQD = 100 e^{-0.1\lambda} \times (0,1\lambda + 1)$$

dimana  $\lambda$  adalah jumlah kekar per meter.

Tabel 3. Nilai RQD

Lokasi	RQD	Klasifikasi
S02	96.30%	Sangat baik
S4A	19.90%	Sangat jelek
S4B	91%	Sangat baik
S5	19.90%	Sangat jelek
S9B	20%	Sangat jelek

Klasifikasi massa batuan dengan RMR menunjukkan kelas massa batuan pada lokasi penelitian adalah kelas batuan II (baik) sampai III (sedang). Contoh hasil pembobotan kelas massa batuan tersaji pada Tabel 4 dan hasil resume RMR per lokasi pengamatan tersaji pada Tabel 5.

Tabel 4. Contoh pengklasifikasian kelas massa batuan RMR sistem

Lokasi Pengamatan 4 A		
Parameter	Nilai/Kondisi	Bobot
Kekuatan Batuan	56 Mpa	7
RQD	19.90%	3
Spasi Diskontinuitas	3-10cm	5
Kondisi Diskontinuitas	Panjang 10-15m, terbuka 1mm, sedikit kasar, lapuk sedang.	14
Kondisi Air Tanah	Kering	15
Jumlah Bobot		44
Kelas Massa Batuan		III (Sedang)

Tabel 5. Hasil pembobotan RMR dan kelas massa batuan

Lokasi	Lithologi	Bobot RMR	Kelas Massa Batuan
S02	andesit	69	II (Baik)
S4A	andesit	44	III (Sedang)
S4B	andesit	67	II (Baik)
S5	andesit	44	III (Sedang)
S9B	andesit	44	III (Sedang)

Dari hasil klasifikasi massa batuan menggunakan metode RMR di dapatkan pembobotan kelas massa batuan. Nilai RMR ini dipergunakan untuk menghitung GSI (*Geological strength index*) dengan rumus  $GSI = RMR - 5$ . Data tersebut selanjutnya dapat dipergunakan untuk mengetahui nilai kohesi dan sudut geser dalam berdasarkan kriteria keruntuhan *Hoek-Brown*. Sebagai contoh perhitungan adalah pada lokasi pengamatan S04A didapatkan data RMR = 44, GSI = 39, kuat tekan ( $\sigma_{ci}$ ) = 56 MPa,  $m_i = 25$  dan faktor terganggunya batuan ( $D$ ) = 0 sehingga kemudian dapat dihitung seperti di bawah ini:

$$m_b = m_i \exp \left[ \frac{GSI-1}{28-14D} \right]$$

$$= 25 \exp \left[ \frac{39-100}{28-14 \times 0} \right]$$

$$= 2,83008$$

$$S = \exp \left[ \frac{GSI-100}{9-3D} \right]$$

$$= \exp \left[ \frac{39-1}{9-3 \times 0} \right]$$

$$= 0,00114$$

$$A = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[ e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right]$$

$$= \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[ e^{-39/15} - e^{-20/3} \right]$$

$$= 0,51217$$

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s)) \left( \frac{m_b + s}{4} \right)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

$$= 12,118 \text{ Mpa}$$

$$\frac{\sigma'_{3max}}{\sigma'_{cm}} = 0,72 \left( \frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0,91}$$

$$\frac{\sigma'_{3max}}{12,118} = 0,72 \left( \frac{12,118}{0,026 \times 15} \right)^{-0,91}$$

$$\sigma'_{3max} = 0,38257 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_{3n} = \sigma'_{3max} / \sigma_{ci}$$

$$\sigma'_{3n} = 0,38257 / 56$$

$$\sigma'_{3n} = 0,0068316$$

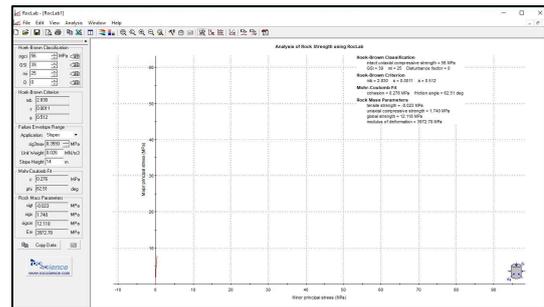
$$\phi = \sin^{-1} \left[ \frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

$$= 62,2^\circ$$

$$C' = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n}] (s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1 + (6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}) / ((1+a)(2+a))}}$$

$$= 0,286 \text{ Mpa}$$

Penghitungan *Hoek & brown* dan tampilan grafik dapat dipercepat dengan aplikasi *Roclab* seperti pada Gambar 14 dan hasilnya tersaji pada Tabel 6.



Gambar 14. Kenampakan tampilan aplikasi Roclab dalam mengitung dengan metode Hoek & Brown (2002)

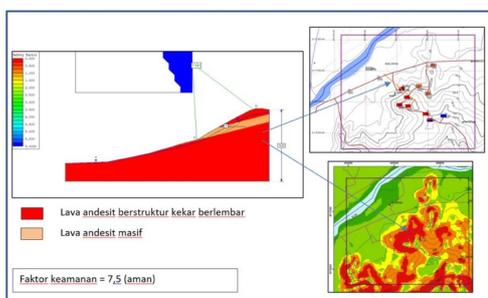
Tabel 6. Hasil penghitungan kekuatan batuan dengan metode *Hoek & Brown* (2002)

Sampel	RMR Basic	Hoek Brown Classification		Hoek Brown Criterion			Failure Envelope Range				Rock Mass Parameters			Mohr-Coulomb Fit	
		GSI	sigci (Mpa)	mi	D	mb	s	a	sig3max (Mpa)	sigt (Mpa)	sigc (Mpa)	sigcm (Mpa)	Em (Mpa)	c (Mpa)	phi
S04A	44	39	56	25	0	2.8301	0.001	0.51	0.382569	-0.023	1.74	12.118	3972.8	0.29	62.14
S04B	67	62	44.18	25	0	6.4349	0.015	0.5	0.390737	-0.101	5.295	15.324	13262	0.56	64.89
S05	44	39	55.95	25	0	2.8301	0.001	0.51	0.382508	-0.022	1.737	12.096	3969.2	0.29	62.14
S09	44	39	56.8	25	0	2.8301	0.001	0.51	0.383058	-0.023	1.765	12.291	4001.1	0.29	62.22

Penentuan faktor keamanan lereng dilakukan pada daerah yang memiliki kelerengan yang curam seperti yang tersaji pada peta kelerengan (Gambar 6.). Analisis dilakukan pertama dengan membuat penampang yang melalui lereng curam tersebut, kemudian membuat rekonstruksi lithologi bawah permukaan yang terdiri atas lava andesit dengan struktur kekar berlembar dan massif. Penampang ini kemudian dilengkapi data material dengan parameter sifat fisik dan mekanik yaitu bobot isi, kohesi dan sudut gesek dalam dari hasil perhitungan dengan metode *Hoek-Brown* (Tabel 1 dan Tabel 6). Simulasi dilakukan pada lereng asli alamiah (Gambar 15) dan pada daerah

yang sudah berubah slope lerengnya karena aktifitas penggalian untuk pembangunan infrastruktur maupun penambangan (Gambar 16). Hal ini bertujuan untuk melihat nilai keamanan lereng dan memberikan rekomendasi lereng yang aman apabila nantinya akan dilakukan penggalian yang akan memperbesar nilai slope lereng dan beda tingginya.

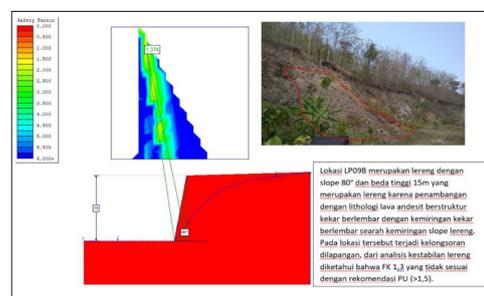
Analisis pertama dilakukan pada lereng dari penampang yang melintasi lereng curam yang mengacu pada peta kelerengan. Rekonstruksi bawah permukaan menunjukkan bahwa lithologi penyusun terdiri dari lava andesit berstruktur kekar berlembar dengan sisipan lava andesit massif seperti tampak pada Gambar 15. Penentuan nilai faktor keamanan (FK) menggunakan pendekatan kesetimbangan batas. Hasil analisis menunjukkan lereng dalam kondisi aman dari gerakan massa batuan dengan nilai  $FK = 7,5$ . Nilai FK ini dipengaruhi oleh data penampang yang digunakan adalah penampang dari topografi rupa bumi yang skalanya terlalu kecil sebagai dasar pembuatan morfologi.



Gambar 15. Kenampakan hasil analisis nilai faktor keamanan lereng pada penampang dari data topografi alamiah yang menunjukkan kondisi aman dengan  $FK = 7,5$

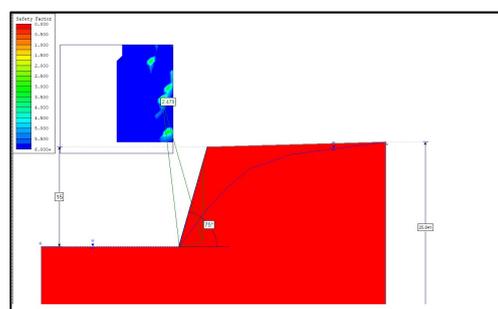
Pengujian lereng lain dilakukan juga pada lereng yang lebih curam karena kegiatan manusia. Sebagai contoh dilakukan analisis lereng yang sangat terjal pada LP S09B yang merupakan lereng bekas kegiatan penambangan pada daerah penelitian dengan slope lereng  $80^\circ$ . Lithologi penyusunnya adalah andesit dengan struktur kekar berlembar

dengan kemiringan kekar searah dengan slope lereng. Kondisi kekar berlembar yang merupakan bidang lemah (diskontinuitas) dengan geometri tersebut secara kestabilan tidak menguntungkan. Hal ini terbukti dengan munculnya gerakan massa batuan di lapangan, serta dari hasil analisis lereng menunjukkan hasil nilai  $FK = 1,3$  yang di bawah standart rekomendasi Departemen Pekerjaan Umum (PU) yaitu  $>1,5$ . Kenampakan hasil analisis tersaji pada Gambar 16.



Gambar 16 Kenampakan analisis lereng pada LP S09B yang merupakan lereng bekas penambangan memiliki nilai  $FK 1,3$  (berada di bawah rekomendasi PU dengan  $FK$  di bawah  $1,5$ )

Pengujian yang lain dilakukan dengan memodifikasi lereng pada LP S09B dengan membuat simulasi penurunan sudut lereng. Pada lereng tersebut kemudian diturunkan sudutnya menjadi  $75^\circ$  sehingga didapatkan nilai  $FK 2,4$ . Hal ini sesuai dengan rekomendasi PU sehingga dapat dipergunakan untuk rekomendasi perkuatan lereng dengan cara penurunan slope (Gambar 17).



Gambar 17. Simulasi menaikkan nilai  $FK$  LP S09B dengan menurunkan slope

lereng menjadi  $75^\circ$  sehingga didapatkan nilai FK 2,4

### KESIMPULAN

Daerah Seloharjo, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, DIY memiliki daerah sebagian bermorfologi curam yang dipergunakan untuk pemukiman dan perkebunan. Morfologi curam ini terbentuk secara alamiah karena kondisi geologi yang merupakan perbukitan berlereng curam yang tersusun oleh lithologi lava andesit dan breksi, serta morfologi curam yang terbentuk karena aktifitas manusia. Kelerengan pada daerah telitian berdasarkan data kontur pada peta rupabumi dapat dibagi menurut klasifikasi kelerengan Van Zuidam kelerengan antara 15% -> 40%. Batuan beku andesit di lapangan dijumpai dalam bentuk lava andesit massif, lava andesit berstruktur autoklastik dan lava andesit dengan struktur kekar berlembar.

Klasifikasi massa batuan dengan metode RMR pada daerah penelitian pada lithologi andesit menunjukkan kelas batuan II (baik) sampai III (sedang). Berdasarkan kriteria runtuh *Hoek-Brown* menggunakan parameter nilai GSI, mi, kuat tekan uniaksial, dan nilai D, maka didapat nilai mb, s, dan a yang kemudian digunakan untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut gesek dalam. Proses penghitungan dapat mempermudah dalam mendapatkan nilai kohesi dan sudut gesek dalam dengan bantuan software *Roclab*.

Analisis untuk penentuan nilai faktor keamanan (FK) pada lereng yang tersusun oleh lithologi andesit kekar berlembar menggunakan pendekatan kesetimbangan batas pada lereng yang masih alamiah menunjukkan lereng dalam kondisi aman dari gerakan massa batuan dengan nilai FK = 7,5.

Dari analisis lereng yang sangat terjal pada LP S09B yang merupakan lereng bekas kegiatan penambangan pada daerah penelitian memiliki slope lereng  $80^\circ$ , lithologi andesit berstruktur kekar berlembar, kemiringan kekar searah dengan slope lereng dan tampak di lapangan terjadi gerakan massa batuan menunjukkan hasil nilai FK = 1,3 yang di

bawah standar rekomendasi PU (>1,5). Penguatan lereng dapat dilakukan dengan menurunkan slope lereng sampai dengan  $75^\circ$  dengan nilai FK menjadi 2,4 sehingga menjadi aman.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2005, Rekayasa Penanganan Keruntuhan Lereng pada Tanah Residual dan Batuan, Pedoman Konstruksi dan Bangunan, Departemen Pekerjaan Umum.
- Bieniawski, Z. T., 1989, Engineering Rock Mass Classifications, New York: John Wiley & Sons.
- Bemmelen, R. W., 1949, The Geology of Indonesia, Vol. IA, Netherland: The Haque Martinus Nijhroff, Government Printing Office.
- Goodman, R. E., 1976, Introduction to Rock Mechanics, 2<sup>nd</sup> ed., Singapore: John Wiley & Sons.
- Hoek, E., Torres, C., and Corkum, B., 2002, Hoek-Brown Failure Criterion, Rockscience Inc., Toronto, Canada.
- Hoek, E., 2007, Practical Rock Engineering, Notes, Evert Hoek Consulting Engineer Inc., Canada.
- Sonmez, H. and Ulusay, R., 1999, Modifications to Geological Strength Index (GSI) and Their Applicability to Stability of Slopes, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 36.
- MacDonald, G. A., 1972, Volcanoes, New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, dan Rosidi H. M. D., 1995, Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, Skala 1 : 100.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Williams, H., Turner, F. J., dan Gilbert, C. M., 1954, Petrography, An Introduction to The Study of Rock in Thin Sections, W. H. Freeman and Company, New York.
- Van Bemmelen, R. W., 1949, The Geology of Indonesia, Vol. IA, General Geology of Indonesia And Adjacent Archipelagoes, 2<sup>nd</sup> ed., Martinus Nijhoff, The Hague.
- Van Zuidam, R. A., 1983, Guide to Geomorphology Ariel Photographic Interpretation and Mapping, ITC Enschede The Nederland.

**BIODATA PENULIS**

**Nur Widi Astanto Agus Tri Heriyadi, S.T., M.T.**, lahir di Sleman tanggal 21 Agustus 1979, menyelesaikan pendidikan S1 dari Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta tahun 2003 pada Jurusan Teknik Geologi dan pendidikan S2 dari Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta tahun 2012 pada Program Magister Teknik Geologi. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap pada Jurusan Teknik Geologi di IST AKPRIND Yogyakarta dengan bidang minat geologi batubara dan geologi teknik.

**Dina Tania, S.T., M.T.**, lahir di Bangka tanggal 18 Mei 1982, menyelesaikan pendidikan S1 dari Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta tahun 2006 pada Jurusan Teknik Geologi dan pendidikan S2 dari Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta tahun 2013 pada Magister Teknik Geologi. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap pada Jurusan Teknik Geologi di IST AKPRIND Yogyakarta dengan bidang minat paleontologi.