

PENGARUH DISKONTINUITAS MASSA BATUAN VOLKANIK TERHADAP STABILITAS LERENG DI DAERAH JELAPAN DAN SEKITARNYA, KECAMATAN PUNDONG, KABUPATEN BANTUL, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Arie Noor Rakhman¹, Nur Widi Astanto Agus Triheriyadi²

^{1,2}Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, IST AKPRIND Yogyakarta
Email: ¹arie_rakhman@akprind.ac.id, ²nurwidi@akprind.ac.id

Masuk: 1 Maret 2017, Revisi masuk: 10 Juli 2017, Diterima: 28 Juli 2017

ABSTRACT

This research is intended to know the effect of discontinuity on the mass of volcanic rock for rock slope stability. The study sites are located at Jelapan area and its surrounding, Pundong District, Bantul Regency, Special Region of Yogyakarta. With stability assessments of rock slopes, it can be used to identify potential disasters of rock mass movement, direction of movement and recommendations for disaster risk minimization. Analysis of the continuity on the mass of volcanic rock using rock mass classification of rock mass rating system (RMR) (Bieniawski, 1989). The data used are physical properties, index properties, mechanical properties, orientation of joint position and rock slope. The synthesis of data is done mainly on morphological data, stratigraphy, geological structure to know the control of geological condition on the stability of volcanic rock slope in research area.

Based on the calculation of the rock mass classification of RMR, the cliff at $7^{\circ}59'20,88''$ LS $110^{\circ}19'19,09''$ BT is 28 which is considered poor. The RMR value is controlled by intensive joints that dominate with joint spacing less than 60 mm; the condition of the surface of the joint field is smooth and continuous, estrangement joint 1 - 5 mm, slightly weathered with a value RQD 43.37%. Rock mass that collapses and landslides are lava and andesite breccia. The rock fall occurs following the slope of the planar plane of the platy joint structure and the rock contact $N170^{\circ}E/32^{\circ}$. It is interpreted by the initial stress control with high anisotropic stress at the edge of the slope.

Keywords: stability, slope, rock mass, joint

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh diskontinuitas massa batuan vulkanik terhadap stabilitas lereng batuan di Daerah Jelapan dan sekitarnya, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Penilaian stabilitas lereng batuan digunakan untuk mengidentifikasi potensi bencana gerakan massa batuan, arah pergerakannya serta rekomendasi untuk minimalisir resiko bencana.

Analisis pengaruh diskontinuitas massa batuan vulkanik dilakukan dengan menggunakan pendekatan model klasifikasi massa batuan *rock mass rating system* (RMR) (Bieniawski, 1989). Data yang digunakan yaitu sifat fisik, sifat indeks, sifat mekanik, orientasi kedudukan kekar dan orientasi lereng batuan. Data tersebut disintesa dengan data morfologi, stratigrafi, struktur geologi untuk mengetahui sejauh mana kondisi geologi yang mengontrol stabilitas lereng batuan vulkanik di daerah penelitian.

Penilaian klasifikasi massa batuan RMR pada tebing pada $7^{\circ}59'20,88''$ LS $110^{\circ}19'19,09''$ BT yaitu 28, termasuk kriteria jelek. Rendahnya nilai RMR ini dipengaruhi oleh RQD 43,37% dengan jarak spasi kekar kurang dari 60 mm; dan kondisi permukaan bidang kekar yang halus menerus, kerenggangan 1 - 5 mm, agak lapuk. Keberadaan longsoran runtuh batuan lava dan breksi andesit searah dengan kemiringan kedudukan bidang planar struktur *platy joint* dan kontak batuan $N170^{\circ}E/32^{\circ}$ yang diduga dipengaruhi oleh *initial stress*nya dengan tegangan anisotropik tinggi pada tepi lereng.

Kata kunci: stabilitas, lereng, massa batuan, kekar.

PENDAHULUAN

Daerah Jelapan, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, merupakan bagian daerah cakupan pengembangan pesisir Pantai Parangtritis dan sekitarnya. Pembangunan daerah tersebut terintegrasi dengan rehabilitasi sarana pendukung wisata pantai pasca gempa 2016, yaitu Goa Sunan Mas dan Goa Jepang yang berada pada perbukitan curam di utara Pantai Parangtritis. Di sekitar obyek wisata tersebut terjadi banyak kendala yang dihadapi sehingga berakibat mengganggu gerak perekonomian warga, antara lain banyaknya tebing tepi jalan yang retak-retak yang rawan longsor runtuh kalau terjadi hujan deras (Anonim, 2015A; Anonim, 2015B; Anonim, 2016A; Anonim, 2016B; Anonim, 2017A; Anonim, 2017B dan Anonim, 2017C), dan retaknya batuan juga mengancam stabilitas bangunan jembatan gantung penghubung Pundong dengan Imogiri (Anonim, 2016C).

Daerah penelitian merupakan bagian dari Pegunungan Selatan (van Bemmelen, 1949) dengan morfologi perbukitan yang curam yang disusun oleh litologi batuan vulkanik (batuan beku andesit) berupa intrusi, lava dan breksi. Batuan tersebut bagian dari Formasi Nglanggran berumur Kala Miosen (Raharjo, dkk., 1995; Setiadji, dkk., 2006; Sidarto, 2009). Struktur batuan yang terbentuk di daerah penelitian merupakan produk deformasi tektonik dan atau vulkanik, dimana aktivitas tektonik masih aktif hingga sekarang (Pulunggono dan Martodjojo, 1994 dalam Astuti, dkk., 2009; Soehaimi, dkk., 2009). Keberadaan retakan pada batuan berupa kekar, sesar ataupun pada bidang kontak batuan merupakan diskontinuitas massa batuan yang terbentuk secara alamiah (Bieniawski, 1989). Perilaku massa batuan tersebut terhadap stabilitas diskontinuitas massa batuan dapat tercermin melalui sistem klasifikasi massa batuan (*rock mass classification*) yang diperoleh melalui determinasi penggolongan data kekuatan batuan, *rock quality designation*, karakter diskontinuitas dan kondisi airtanah (Liu & Chen, 2007). Macam-macam sistem

klasifikasi massa batuan dapat diaplikasikan untuk penilaian stabilitas diskontinuitas massa batuan, diantara yaitu *rock mass rating system (RMR)*, dimana rekomendasi penggunaan penilaian tersebut tergantung dari kondisi geologi suatu suatu daerah (Djakamihardja & Soebowo, 1996; Larbi, dkk., 2012).

Beberapa penelitian geologi pernah dilakukan di daerah penelitian merupakan lingkup regional, namun dalam penggolongan data karakter sifat keteknikan batuan terutama batuan vulkanik dengan mengaplikasikan komparasi data klasifikasi massa batuan dan kontrol geologi ke ranah stabilitas diskontinuitas atas kesesuaian kondisi di lapangan daerah penelitian secara terkini belum pernah dilakukan.

Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui hubungan kontrol geologi terhadap stabilitas lereng pada diskontinuitas batuan dengan mengestimasi data sistem klasifikasi massa batuan vulkanik. Data sistem klasifikasi massa batuan vulkanik berupa sifat fisik diskontinuitas massa batuan, orientasi kemiringan lereng, perilaku sifat keteknikan massa batuan. Penelitian berguna untuk mengantisipasi potensi gerakan massa (runtuhan batuan) di Daerah Jelapan dan sekitarnya, Kecamatan Pundong, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian bermanfaat untuk mempermudah masyarakat di dalam mengenali keberadaan retakan pada batuan dan pelapukan berikut sikap tanggap akan potensi resiko runtuh akibat gangguan stabilitas pada diskontinuitas massa batuan. Sikap tanggap akan kondisi lingkungan sekitar, dapat meminimalisir gangguan terhadap kelancaran aktivitas masyarakat setempat dan sekitarnya. Pemahaman kondisi geologi menjadi masukan bagi pemerintah dalam menentukan arahan kebijakan tata ruang dan mitigasi bencana gerakan massa (runtuhan batuan). Nilai manfaat penelitian untuk pengembangan ilmu geologi khususnya struktur geologi dan geomekanika daerah penelitian sejalan dengan perkembangan kondisi terkini, melalui pembuktian hubungan peran

kontrol geologi terhadap stabilitas diskontinuitas batuan vulkanik yang berpotensi menjadi bencana gerakan massa (runtuhan) dengan komparasi sistem klasifikasi massa batuan.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan, dimulai dari studi pustaka. Studi pustaka dilakukan untuk menambah keyakinan hipotesa atau menarik kesimpulan semestara secara induktif sebagai lanjutan atas hipotesa deduktif dari pemahaman konsep ataupun model teori yang ada. Studi pustaka dilakukan untuk menghimpun informasi dan mengumpulkan data sekunder sebagai pendukung data primer. Eksplorasi data sekunder dengan melakukan review publikasi penelitian terdahulu dan kajian teoretik, terutama tentang peranan kontrol geologi terhadap sifat keteknikan batuan mulai dari lingkup regional hingga mengerucut fokus ke permasalahan estimasi stabilitas diskontinuitas massa batuan di daerah penelitian. Dari kegiatan studi pustaka di awal penelitian ini menghasilkan hipotesa yang harus dibuktikan di akhir penelitian sebagai kesimpulan. Hipotesa dari kegiatan penelitian ini yaitu: (1) Adanya hubungan peran kontrol faktor-faktor geologi terhadap karakteristik perilaku sifat keteknikan batuan sebagai parameter stabilitas diskontinuitas massa batuan vulkanik di daerah penelitian; (2) Adanya hubungan linier antar parameter data dalam penilaian sistem klasifikasi massa batuan vulkanik yang dipengaruhi oleh faktor-faktor geologi. Pelaksanaan studi pustaka selanjutnya dilakukan selama kegiatan penelitian berlangsung hingga diperoleh kesimpulan akhir penelitian.

Lokasi penelitian berada pada jarak kurang lebih 21 km ke arah selatan dari Kota Yogyakarta. Daerah penelitian secara astronomis berada pada koordinat $7^{\circ}59'11,78''$ - $7^{\circ}59'58,75''$ LS dan $110^{\circ}18'56,35''$ - $110^{\circ}19'57,22''$ BT; secara kartografis tercatat di dalam Peta Rupabumi Indonesia sebagai Lembar Bantul (nomor peta 1408-221) serta termasuk dalam cakupan peta geologi terbitan Pusat Penelitian dan

Pengembangan Geologi, Bandung, tahun 1995 dengan nama Lembar Yogyakarta.



□ Lokasi Penelitian

Gambar 1. Lokasi penelitian (tanpa skala)

Penelitian di lapangan meliputi pengambilan data kondisi geologi, meliputi populasi data geomorfologi, data litologi, data struktur geologi (diskontinuitas), data sifat keteknikan batuan. Data geomorfologi, terbagi menjadi parameter data: morfologi, morfometri, morfolitologi, morfogenesis, penggunaan lahan, dan penyebaran. Data litologi berupa batuan vulkanik yang dianalisis berdasarkan sifat fisik megaskropis tiap variasi batuan dengan pendekatan model MacDonald (1972) dan sifat keteknikan yang terdiri dari berat, bobot isi, kadar air, derajat kejenuhan, porositas, rasio pori (*void ratio*). Sifat keteknikan sampel batuan tersebut diuji dalam kondisi asli, kering dan jenuh air. Karakteristik sifat keteknikan yang berhubungan dengan sifat mekaniknya dianalisis sebagai kekuatan batuan. Nilai kekuatan batuan diketahui dengan pengujian *uniaxial compressive strength* (UCS) pada sampel batuan yang dipotong dalam bentuk bangun balok 5 cm x 5 cm x 10 cm (BSN, 2016). Data kekar yang digunakan berupa kedudukan kekar batuan berdasarkan sifat fisik *joint set*

nya, frekuensi diskontinuitas per meter panjang (RQD), jarak spasi kekar, kondisi kekar, kondisi airtanah pada kekar dan orientasi kedudukan kekar terhadap kemiringan lereng batuan. Sifat fisik *joint set* terdiri dari data *joint set* dalam kesamaan sifat fisik, kekasaran permukaan dinding rekahan kekar, derajat pelapukan (alterasi) atau keberadaan lempung pengisi celah rekahan, kondisi tekanan air yang masuk rekahan kekar, dan pengaruh tekanan pembebanan dan topografi terhadap kekuatan batuan (Barton, dkk., 1974).

Data kekar sebagai bidang diskontinuitas batuan dikelompokkan atas jenis batuan dan kesamaan fisik kekar (*joint set*), kemudian disintesa bersama sifat fisik dan mekanik menghasilkan estimasi stabilitas lereng batuan vulkanik. Stabilitas lereng batuan vulkanik diestimasi dengan menggunakan pendekatan model klasifikasi massa batuan *rock mass rating system* (RMR) (Bieniawski, 1989). Analisis sifat keteknikan batuan dilakukan di Laboratorium Geologi Teknik, Jurusan Teknik Geologi, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, Yogyakarta. Analisis data struktur kekar dilakukan di Laboratorium Geologi Dinamik, Jurusan Teknik Geologi, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, Yogyakarta. Observasi data lapangan berupa data geomorfologi, struktur kekar dan batuan dilakukan di tebing pada posisi koordinat 7°59'20,88" LS 110°19'19,09" BT.

PEMBAHASAN

Litologi penyusun lereng tebing di posisi koordinat 7°59'20,88" LS 110°19'19,09" BT berupa perselingan breksi andesit dan lava andesit yang didominasi breksi andesit terutama bagian lereng bawah. Lava andesit mempunyai ciri warna segar abu-abu kemerah-merahan, warna lapuk abu-abu kecoklat-coklatan; berstruktur *platy joint* dengan kedudukan N172°E/38°; afanitik, derajat kristalisasi hipokristalin, bentuk kristal subhedral, hubungan antar kristal inequigranular; komposisi mineral plagioklas, hornblenda, piroksen dan gelas. Kontak kedudukan lava andesit dan breksi andesit searah dengan

kedudukan struktur lembar atau *platy joint* pada lava andesit yaitu N170°E/32°. Breksi andesit berwarna abu-abu kemerah-merahan, warna lapuk kecoklatan sampai kemerahan; struktur masif dan beberapa skoria; fragmen berukuran 5 hingga 18 cm, kemas terbuka, sortasi buruk; komposisi fragmen dan matrik andesit, semen silika. Fragmen andesit berwarna abu-abu kemerah-merahan; berstruktur masif; afanitik, derajat kristalisasi hipokristalin, bentuk kristal anhedral-subhedral, hubungan antar kristal inequigranular; komposisi mineral plagioklas, hornblenda, piroksen dan gelas.

Hasil analisis *scanline* kekar batuan di tebing tersebut menunjukkan nilai RQD sebesar 43,37%, dimana kekar mempunyai frekuensi diskontinuitas per meter rata-rata yaitu 19 kekar/meter. Kekar pada breksi andesit berjarak spasi kekar 4 hingga 6 cm; permukaan bidang kekar halus, menerus, renggang 1 - 5 mm, agak lapuk (*smooth, planar*); kondisi keairan rekahan kekar kering. Keberadaan 2 *joint set* pada breksi andesit berkedudukan kekar N35°E/66° dan N188°E/65°. Kedudukan planar bidang kekar mempunyai arah jurus N202°E dengan kemiringan 26°, berimpit dengan arah orientasi lereng dengan besaran jurus dan kemiringan yaitu N210°E dan 76°.



Gambar 2. Longsoran massa batuan vulkanik berupa blok-blok lava andesit dan breksi andesit di tebing pada posisi koordinat 7°59'20,88" LS 110°19'19,09" BT.

Klasifikasi massa batuan *rock mass rating system* (RMR) menurut Bieniawski (1989) bernilai 28 pada lokasi penelitian menunjukkan tebing pada posisi koordinat 7°59'20,88" LS 110°19'19,09" BT mempunyai stabilitas lereng yang jelek. Rendahnya kestabilan lereng ini dikarenakan nilai RQD: 43,37%, dipengaruhi oleh kondisi kekar dengan frekuensi diskontinuitas per meter rata-rata yaitu 19 kekar/meter. Keberadaan beberapa longsor berupa runtuh blok-blok batuan lava dan breksi andesit searah dengan kemiringan kedudukan bidang planar struktur *platy joint* dan kontak batuan N170°E/32° dan arah kemiringan lereng dan *initial stressnya* (*high anisotropic stresses*) (Barton, dkk., 1974; Goodman, 1976). Intensitas kekar yang rapat diduga mempengaruhi kekuatan batuan yang berdasarkan hasil pengujian UCS sebesar 369,96 kg/cm². Kekar dengan jarak renggang berkisar 1 hingga 5 mm memungkinkan air dapat masuk melalui rekahan batuan mengisi kontak antar batuan dengan *void ratio* sebesar 0,12 berporositas sebesar 10,68%. Air yang masuk mengontrol kekuatan friksi antar butir penyusun batuan (Goodman, 1976). Keberadaan air yang masuk rekahan pada kondisi kejenuhan 90,91% dengan kadar air jenuh 4,47% terestimasi melalui adanya selisih berat dalam kondisi batuan jenuh dan kering sebesar 6,60 gr dan dan bobot isinya sebesar 0,11 gr/cm³. Hasil pengujian sifat keteknikan dan estimasi penilaian stabilitas lereng dengan klasifikasi massa batuan RMR dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian sifat keteknikan batuan untuk sifat indeks

No.	Parameter Sifat Indeks	Nilai
1	Berat conto asli (Wn), gr	153,60
2	Berat conto kering (Wo), gr	147,60
3	Berat conto jenuh (Ww), gr	154,20
4	Berat conto jenuh tergantung dalam air (Ws), gr	92,40
5	Bobot isi asli (natural density), gr/cm ³	2,49
6	Bobot isi kering (dry density), gr/cm ³	2,39
7	Bobot isi jenuh (saturated density), gr/cm ³	2,50
8	"Apperent specific gravity"	2,39
9	"True specific gravity"	2,67
10	Kadar air asli (natural water content), %	4,07

Tabel 1. (Lanjutan)

No.	Parameter Sifat Indeks	Nilai
11	Kadar air jenuh (absorption), %	4,47
12	Derajat kejenuhan, %	90,91
13	Porositas, %	10,68
14	Void ratio	0,12

Lokasi penelitian dekat dengan jalan raya lintas provinsi dimana jalan dapat dilalui oleh beberapa kendaraan alat berat. Terjadinya runtuh batuan dapat dipicu oleh getaran jalan yang dilalui kendaraan. Kondisi demikian menjadi rawan longsor di beberapa pemukiman di bawah tebing atau dekat tekuk lereng sekitar titik lokasi pengamatan.

Pada tabel 2 disajikan hasil pengujian sifat keteknikan batuan untuk sifat mekanik. Sedangkan pada tabel 3 disajikan hasil estimasi klasifikasi massa batuan dengan menggunakan RMR.

Tabel 2. Hasil pengujian sifat keteknikan batuan untuk sifat mekanik

No.	Parameter Sifat Mekanik	Nilai
1	Kuat Tekan Uniaxial (kg/cm ²)	369,96

Tabel 3. Hasil estimasi klasifikasi massa batuan dengan menggunakan RMR

No	Parameter	Besar	Nilai
1	Kuat tekan uniaxial (kg/cm ²)	369,96	15
2	Frekuensi diskontinuitas per meter panjang (kekar/m)	19	8
	RQD = 100(0,1λ.+1)e-0,1λ	43,37	
3	Jarak spasi diskontinuitas / kekar (cm)	4 s.d. 6	5
4	Kondisi permukaan diskontinuitas / Kekar	halus, menerus, renggang 1 - 5 mm, agak lapuk	10
5	Kondisi airtanah	Kering	15
6	Data penilaian orientasi diskontinuitas / kekar untuk kemiringan lereng batuan	Sedang	-25
		Nilai RMR	28
		Kriteria	Jelek

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dan penjelasan analisis di atas dapat disimpulkan bahwa tebing di daerah penelitian mempunyai karakteristik sebagai berikut:

1. Penilaian klasifikasi massa batuan *rock mass rating system* pada tebing di posisi koordinat 7°59'20,88" LS 110°19'19,09" BT di daerah Jelapan, Kecamatan Pundong, Kabupaten

- Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta sebesar 28 (jelek) dipengaruhi oleh kondisi permukaan kekar yang halus, menerus, agak lapuk dengan kerenggangan celah kekar 1 - 5 mm dan jarak spasi kekar kurang dari 60 mm serta intensitas kekar dengan nilai RQD sebesar 43,37%.
2. Ketidakstabilan lereng berupa runtuh blok-blok batuan lava dan breksi andesit dikontrol oleh kedudukan kontak batuan yang searah dengan kemiringan kedudukan bidang planar struktur *platy joint* dan kontak batuan N170°E/32°, terutama pada bagian tebing bagian bawah di sisi tekuk lereng dimana tegangan anisotropiknya tinggi akibat pengaruh *initial stressnya*.
 3. Untuk mengurangi resiko dampak potensi gerakan massa batuan berupa longsoran runtuh batuan, maka pengembangan lahan pemukiman di dekat tekuk lereng perlu dihindari terutama daerah dekat jalan besar yang ramai lalu lintas kendaraan alat berat untukantisipasi dampak getaran dari jalan yang dilalui kendaraan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta (LPPM IST AKPRIND Yogyakarta) yang telah memberi dukungan pendanaan melalui anggaran dana penelitian tahun 2017/2018. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Nike Dwi Ari Laksanawati dan I Gusti Ngurah Made Budayana yang membantu pengambilan data dan pengujian sampel batuan di Laboratorium Geologi Teknik IST AKPRIND Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. (2015A). Retakan di Tebing-tebing Pantai Selatan Yogyakarta Disebabkan Gempa 2006. Detik News 18 Juni 2015. <https://news.detik.com/berita/d-2945862/retakan-di-tebing-tebing-pantai-selatan-yogyakarta-disebabkan-gempa-2006> [10/4/2017].

- Anonim. (2015B). Tebing Retak akibat Gempa 2006. Suara Merdeka 20 Juni 2015. <http://berita.suara.merdeka.com/sm cetak/tebing-retak-akibat-gempa-2006/> [10/4/2017]
- Anonim. (2016A). Lokasi Calon Makam Sultan HB X Retak, Pertanda Apa?. Okezone 23 Februari 2016. Melalui <http://news.okezone.com/read/2016/02/23/510/1319034/lokasi-calon-makam-sultan-hb-x-retak-pertanda-apa>, [10 April 2017].
- Anonim. (2016B). *Diguyur Hujan Deras, Sejumlah Wilayah di Bantul Longsor*. Okezone. 29 November 2016. <http://news.okezone.com/read/2016/11/29/512/1554502/diguyur-hujan-deras-sejumlah-wilayah-di-bantul-longsor> [10/4/2017].
- Anonim. (2016C) Warga Minta Bupati Segera Perbaiki Jembatan. Kedaulatan Rakyat 5 Desember 2016. http://krjogja.com/web/news/read/17767/Warga_Minta_Bupati_Segera_Perbaiki_Jembatan [10/4/2017].
- Anonim. (2017A). Tanah Retak & Longsor Putus Jalan Penghubung Desa di Bantul. Kompas. 07 Februari 2017. <http://tv.kompas.com/read/2017/02/07/b08e148645919505ca5750/tanah.retak.longsor.putus.jalan.penghubung.desa.di.bantul> [10/4/2017].
- Anonim. (2017B). Hujan Deras Munculkan 11 Titik Longsor. Harian Jogja 21 Maret 2017. <http://m.harianjogja.com/baca/2017/03/21/bencana-bantul-hujan-deras-munculkan-11-titik-longsor-803162> [10/4/2017].
- Anonim (2017C). Longsor Bantul: Tebing Setinggi 20 Ambrol, 2 Rumah Rusak Berat. Harian Jogja 4 April 2017. <http://www.harianjogja.com/baca/2017/04/04/longsor-bantul-tebing-setinggi-20-ambrol-2-rumah-rusak-berat-807297> [10/4/2017].
- Astuti, B.S., Rahardjo, W., Listyani, R.A., dan Husein, S. (2009). Morfogenesis Bukit-bukit Inlier Daerah Watuadeg – Pengklik, Prambanan, DIY. *Prosiding Workshop Geologi Pegunungan Selatan 2007*. Bandung: Pusat Survey Geologi.
- Barton, N., Lien, R and Lunde, J. (1974). *Engineering Classification of Rock Masses or The Design of Tunnel*

- Support. Rock Mechanics and Rock Engineering*. Norwegia: Norges Geotekniske Institutt, Publikasjon 106.
- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. 251 hal. New York: John Wiley & Sons.
- Bronto, S. (2009). Fosil Gunung Api di Pegunungan Selatan Jawa Tengah. *Prosiding Workshop Geologi Pegunungan Selatan 2007*. Bandung: Pusat Survey Geologi.
- BSN. (2016). *Cara uji kuat tekan batu: SNI 2825:2008*. www.sisni.bsn.go.id, tanggal 15 Maret 2016.
- Deere, D.U., and Deere, D.W. 1988. The Rock Quality Designation (RQD) Index In Practice. Dalam *Rock Classification Systems for Engineering Purposes ASTM STP 984*. Hal 91-101. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- Djakamihardja, A.S. dan Soebowo, W. (1996). Studi Kemantapan Lereng Batuan Pada Jalur Jalan Raya Liwa-Krui, Lampung Barat : Suatu Pendekatan Metoda Empiris. *Seminar Kemantapan Lereng di Pertambangan Indonesia II*, Bandung: ITB.
- Goodman, R.E. (1976). *Introduction to Rock Mechanics*. 2nd ed. Singapore: John Wiley & Sons.
- Husein, S. dan Srijono. 2010. Peta Geomorfologi DIY. *Conference Paper Simposium Geologi Yogyakarta*, IAGI Pengda DIY. DOI: 10.13140/RG.2.2.10627.50726. https://www.researchgate.net/publication/308415694_Peta_Geomorfologi_Daerah_Istimewa_Yogyakarta [3/8/2017].
- Larbi, G., Abderrahmen, B., Ismail, N., dan Mohammed-Laid, B. (2012). The Classification Systems as a Tool to Estimate the Stability of Discontinuous Rock Mass-A Numerical Approach: The Iron Mine of Boukhadra (Algeria) as a Case Study. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EJGE) Vol. 17*. www.ejge.com/2012/Abs12.038.htm [4/10/2017].
- Liu, Y. C., and Chen, C. S. (2007). *A New Approach for Application of Rock Mass Classification on Rock Slope Stability Assessment*, *Engineering Geology*. 89: 129-143.
- 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.
- Romana, M., Serón, J.B., and Montalar, E. (2003). *SMR Geomechanics Classification: Application, Experience and Validation*. International Society for Rock Mechanics (ISRM) 2003-Technology Roadmap for Rock Mechanics. South African Institute of Mining and Metallurgy.
- Selby, M.J. (1991). *Hillslope Materials and Processes*. 2nd ed, Oxford: Oxford University Press.
- Setiadji, D.I., Kaiino, S, Imai, A., dan Watanabe, K. (2006). *Cenozoic Island Arc Magmatism in Java Island (Sunda Arc. Indonesia): Clues on Relationships between Geodynamics of Volcanic Centers and Ore Mineralization*. *Journal of Resources Geology* vol 56, no 3, hal 267 – 292.
- Sidarto. (2009). Geologi Pegunungan di Daerah Gunungkidul dan Sekitarnya Ditafsir pada Citra Alos. *Prosiding Workshop Geologi Pegunungan Selatan 2007*, Publikasi Khusus No 38.
- Soehaimi, Marjiyono dan Setianegara, R. (2009). Seismotektonik dan Zonasi Potensi Resiko Gempabumi di Wilayah Pegunungan Selatan (Parangtritis-Pacitan, Jawa Tengah). *Prosiding Workshop Geologi Pegunungan Selatan 2007*. Bandung: Pusat Survey Geologi.
- Van Bemmelen, R.W. (1949). *The Geology of Indonesia*. Vol IA. Netherland: The Haque Martinus Nijhoff, Government Printing Office.