

KARAKTERISTIK KESTABILAN LERENG DAERAH JATIGEDE, KABUPATEN SUMEDANG, PROVINSI JAWA BARAT BERDASARKAN ANALISIS KINEMATIK

Characteristics of Slope Stability at Jatigede Area, Sumedang Regency, West Java Province Based on Kinematic Analysis

SOFYAN RACHMAN¹, DICKY MUSLIM², NANA SULAKSANA² dan M. BURHANNUDINNUR¹

¹ Prodi Teknik Geologi – Universitas Trisakti
Jalan Kyai Tapa 1, Grogol, Jakarta Barat 14430
e-mail: sofyan@trisakti.ac.id

² Fakultas Teknik Geologi – Universitas Padjadjaran
Jalan Raya Bandung Sumedang Km 21, Jatinangor 45363

ABSTRAK

Daerah penelitian secara administratif berada di Kecamatan Jatigede, Kabupaten Sumedang, Provinsi Jawa Barat. Berdasarkan sudut pandang geologi, daerah Jatigede memiliki beberapa permasalahan yang timbul akibat kondisi geologi daerah tersebut yaitu berupa pengaruh keberadaan struktur geologi yang berhubungan dengan stabilitas maupun keruntuhan lereng. Untuk dapat mengidentifikasi tipe keruntuhan lereng batuan, dapat dilakukan analisis kinematik menggunakan metode *scanline sampling*. Penelitian ini dibagi menjadi 15 lokasi *scanline sampling*. Pada penelitian, dilakukan juga perhitungan *uniaxial compressive strenght* (UCS) dan *rock quality designation* (RQD) pada lereng tumpuan barat Bendungan Jatigede. Hasil analisis kinematik mendapatkan potensi tipe keruntuhan baji pada lereng *scanline* (SL) 1, 4 – 11 sedangkan pada lereng SL 2 dan 3 tidak memenuhi syarat keruntuhan baji serta didapatkan kualitas massa batuan (RQD) sedang-sangat baik serta penentuan nilai UCS yang menunjukkan kekuatan material batuan yang lemah.

Kata kunci : Bendungan Jatigede, *uniaxial compressive strenght*, keruntuhan lereng, analisis kinematik

ABSTRACT

The research area is administratively located in Jatigede Sub-District Sumedang Regency, West Java. Based on geology perspective, Jatigede has some problems that are arisen due to its geological conditions, namely the presence of a geological structure, including the failure of a slope. To identify the type of slope failure, it can be conducted kinematic analysis logging using a *scanline sampling* method. The research is divided into 15 locations of *scanline sampling*. The study also performed calculations of *uniaxial compressive strenght* (UCS) and *rock quality designation* (RQD) of the slopes at the West bank of Jatigede Dam. Results of kinematic analysis for potential failure of wedge occurs at the slopes of the *scanline* (SL) 1, 4 – 11 while on the slopes of the *scanline* (SL) 2 and 3 does not qualify the wedge failure. Based on the calculation of the RQD of rock mass quality is obtained, fair-very good as well as the determination of UCS values showed the strength of the weak rock material.

Keyword : Jatigede Dam, *Uniaxial Compressive Strenght*, slope failure, kinematic analysis

PENDAHULUAN

Berdasarkan laporan yang disusun oleh Warman dan Indrawan (2015), kondisi geologi teknik Bendungan Jatigede menunjukkan pergerakan lereng yang sangat dekat dengan tubuh bendungan sehingga dikhawatirkan akan memengaruhi kestabilan tubuh bendungan secara keseluruhan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kestabilan lereng batuan tumpuan barat Bendungan Jatigede melalui klasifikasi massa batuan dan perhitungan *slope mass rating* (SMR) (Romana, 1985 dalam Zakaria dkk., 2013). Berdasarkan pemetaan geologi dan geologi teknik permukaan diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam upaya peningkatan kestabilan lereng batuan pada tumpuan barat Bendungan Jatigede.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan kondisi geologi dan geologi teknik daerah penelitian melalui pemetaan geologi dan geologi teknik serta menganalisis kestabilan lereng batuan pada tumpuan barat Bendungan Jatigede melalui *scanline sampling*, klasifikasi massa batuan dan perhitungan SMR (Romana, 1985 dalam Prasetya dkk., 2015), serta memberikan rekomendasi menggunakan perhitungan empiris mengenai penanganan terhadap stabilitas lereng.

Geologi Umum

Menurut Bemmelen (1949) secara fisiografi, daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Bogor bagian timur. Zona ini merupakan antiklinorium yang cembung ke utara dengan arah sumbu lipatan barat-timur. Djuri (1973) menyebutkan stratigrafi daerah penelitian mulai dari batuan tertua sampai termuda pada daerah penelitian adalah sebagai berikut:

1. Formasi Halang yang terdiri dari anggota Halang Bawah berupa breksi gunungapi bersifat andesitik sampai basaltik, batulempung, tufa dan konglomerat. Anggota Halang Atas terdiri dari batupasir tufaan, batulempung dan konglomerat. Formasi ini berumur Miosen Tengah sampai Miosen Atas.
2. Di atas Formasi Halang, secara tidak selaras, terdapat Breksi Terlipat (Qob) yang terdiri dari breksi gunungapi bersifat

andesitik, breksi tufaan, batupasir kasar, batulempung tufaan dan *graywacke*. Batuan ini berumur Pleistosen Bawah.

3. Endapan Hasil Gunungapi Tua (Qvu) yang menutupi breksi terlipat secara selaras. Endapan Gunungapi Tua terdiri dari breksi lahar, lava andesitik sampai basaltik. Endapan ini berumur Pleistosen Tengah sampai Pleistosen Atas.

Produk termuda stratigrafi ini adalah endapan alluvium (Qa) yang diendapkan di atas formasi-formasi lainnya.

METODE

Pada penelitian ini dilakukan pemetaan geologi dan geologi teknik untuk menentukan kondisi geologi dan geologi teknik daerah penelitian. Selanjutnya berdasarkan data tersebut dilakukan pengamatan diskontinuitas pada lereng batuan di daerah penelitian menggunakan metode *scanline sampling*. Data tersebut digunakan untuk menentukan kestabilan lereng batuan menggunakan metode kinematik untuk menentukan tipe keruntuhan batuan (Hoek dan Bray, 1981 dalam Sophian dkk., 2019) dan perhitungan kelas massa batuan. Kedua data tersebut akan digunakan untuk menentukan tingkat kestabilan lereng batuan pada daerah penelitian (Bieniawski, 1989) dengan perhitungan SMR (Romana, 1985).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pemetaan geologi daerah penelitian, geomorfologi daerah penelitian dibagi menjadi tiga satuan geomorfologi, yaitu Satuan Geomorfologi Perbukitan Berlereng Curam Struktural, Satuan Geomorfologi Perbukitan Berlereng Miring Denudasional, dan Satuan Geomorfologi Perbukitan Rendah Berlereng Sedikit Miring Fluvial (Verstappen dan van Zuidam, 1975). Stratigrafi daerah penelitian dibagi menjadi empat satuan batuan, yaitu dari yang tertua ke yang muda adalah satuan breksi vulkanik sisipan batupasir yang secara selaras diendapkan satuan batulempung. Di atasnya, secara tidak selaras diendapkan satuan breksi tufa. Satuan paling muda pada daerah penelitian adalah endapan alluvial. Struktur geologi daerah penelitian berupa Sesar turun mengiri Sungai

Cimanuk (Rikard, 1972 dalam Djuri, 1995), dengan orientasi baratdaya – timurlaut serta antiklin Sungai Cimanuk dengan orientasi sumbu relatif baratlaut – tenggara.

Geologi Teknik Daerah Penelitian

Klasifikasi satuan geologi teknik daerah penelitian untuk tingkat pelapukan mengacu kepada klasifikasi *International Society for Rock Mechanics* (Barton, 1978 dalam Shang, Hencher dan West, 2015) seperti terlihat pada Tabel 1. Secara garis besar keteknikan batuan lapuk merupakan upaya untuk mengetahui adanya urutan perubahan akibat adanya

proses pelapukan fisik dan kimia yang berperan dalam individu atau kombinasinya, beserta sifat – sifat keteknikan pada masing – masing derajat pelapukannya.

Berdasarkan klasifikasi tersebut, geologi teknik daerah penelitian dibagi menjadi enam satuan geologi teknik, yaitu satuan Batuan Lapuk Ringan (SW), Batuan Lapuk Sedang (MW), Batuan Lapuk Kuat (HW), Tanah Pasir – Kerikil Lapuk Sempurna (CW), dan Tanah Lempung – Pasir Lapuk Sangat Sempurna (XW).

Tabel 1. Klasifikasi derajat pelapukan ISRM (Shang, Hencher dan West, 2015)

Klasifikasi	Pemerian	Karakteristik					
		Kenampakan		Rekahan		Ketahanan Terhadap Pemisahan	Suara Pukulan
		Batuan	Mineral dan Batuan	Ikatan	Isian		
FR	Tidak terlihat tanda-tanda pelapukan pada mineral batuan: mungkin sedikit terjadi dari perubahan warna dari kenampakan utama pada permukaan	Sangat segar dan keras	Tidak ada pelapukan dan alterasi	Sangat Kuat	Tidak ada	-	Nyaring
SW	Perubahan warna menjadi indikasi pelapukan material batuan dan permukaan. Semua material mungkin mengalami perubahan warna akibat pelapukan atau hal lain yang terbentuk dari luar dari kondisi awal yang segar	Segar dan keras	Sebagian sedikit pelapukan dan alterasi	Kuat	Tidak ada	-	Nyaring
MW	Kurang dari setengah mineral batuan mengalami dekomposisi atau disintegritas dengan <i>soil</i> . Kondisi batu segar atau berubah warna hadir sebagai kerangka atau inti batuan	Relatif keras	Sedikit lapuk kecuali kuarsa	Sedikit Terbuka	Limanit atau mineral lempung	Lepas dengan pukulan kuat palu geologi	Kuat Nyaring
HW	Lebih dari setengah material batuan mengalami dekomposisi dengan <i>soil</i> . Kondisi batu segar atau berubah warna hadir sebagai kerangka atau inti batuan	Sedikit lunak	Sedikit lapuk kecuali kuarsa dan agak lunak	Terbuka	Mineral lempung	Mudah dipisahkan dengan pukulan sedang palu geologi	Agak Lebam
CW	Semua material batuan mengalami dekomposisi atau disintegrasi dengan <i>soil</i> . Masa batuan asal tetap utuh	Lunak	Lapuk sedang dan lunak	Terbuka	Mineral lempung	Mudah dipisahkan dengan pukulan ringan palu geologi	Lebam
XW	Semua material batuan berubah menjadi <i>soil</i> . Masa struktur batuan dan mineral fabrik telah hancur. Ada perubahan besar pada volume, namun jumlah <i>soil</i> yang tertransportasi tidak signifikan	Hancur	Lapuk kuat dan perubahan (dekomposisi)	Terbuka	Mineral lempung	Sangat mudah dilepaskan dengan pukulan ringan palu geologi	Sangat Lebam

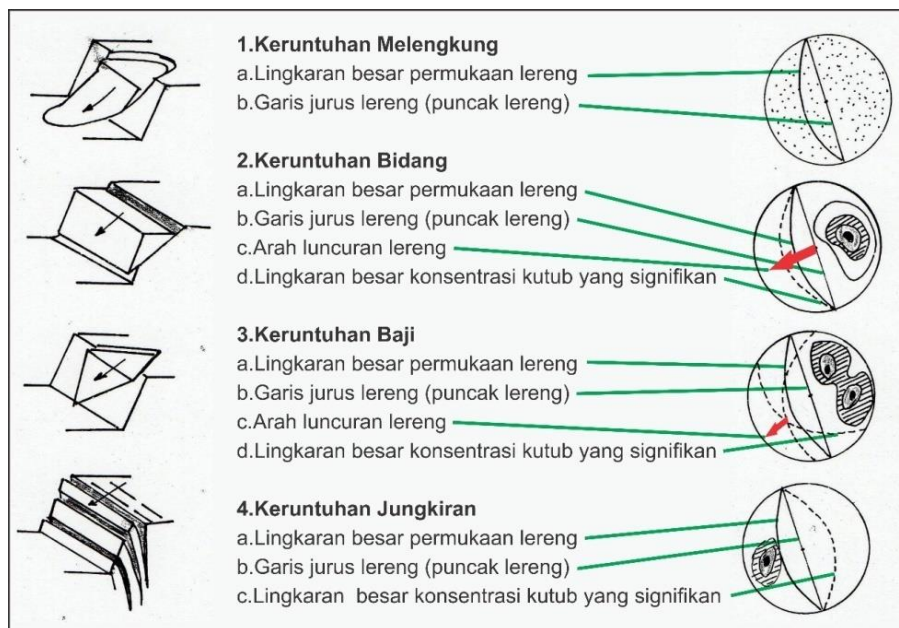
Analisis Kinematik

Berdasarkan peta geologi dan geologi teknik yang telah dibuat, lereng yang dijadikan obyek penelitian terletak pada tebing barat Sungai Cimanuk lama di bagian barat *spillway* Bendungan Jatigede yaitu pada satuan breksi vulkanik sisipan batupasir. Pada lereng tersebut terdapat banyak diskontinuitas yang dikhawatirkan akan menyebabkan terjadinya runtuhnya batuan. Pada lereng tersebut terdapat 15 segmen *scanline*, yaitu SL1 – SL15. Panjang tiap segmen *scanline* 10 m

tercantum pada Tabel 2. Dalam penelitian ini, metode kinematik yang digunakan untuk mengetahui potensi keruntuhan lereng batuan menggunakan teknik stereografis berdasarkan klasifikasi tipe keruntuhan batuan (Hoek dan Bray, 1981 dalam Sophian *dkk.*, 2019), seperti tercantum pada Gambar 1. Teknik stereografis merupakan metode grafis yang digunakan untuk menunjukkan jurus dan kemiringan dari suatu bidang. Pengeplotan secara bersamaan antara jurus dan kemiringan, muka lereng maupun bidang lemah akan segera dapat mengetahui jenis dan arah keruntuhannya.

Tabel 2. Rekapitulasi hasil analisis kinematik seluruh segmen *scanline*

Scanline	Potensi Keruntuhan	Set Diskontinuitas Terlibat
SL1	Baji	JS1 dan JS2
SL2	Baji	JS1 dan JS2
SL3	Baji	JS1 dan JS2
SL4	Baji	JS1 dan JS2
SL5	Baji	JS1 dan JS2
SL6	Baji	JS1 dan JS2
SL7	Baji	JS1 dan JS2
SL8	Baji	JS1 dan JS2
SL9	Baji	JS1 dan JS2
SL10	Baji	JS1 dan JS2
SL11	Baji	JS1 dan JS2
SL12	Baji	JS1 dan JS2
SL13	Baji	JS1 dan JS2
SL14	Baji	JS1 dan JS2
SL15	Baji	JS1 dan JS2



Gambar 1. Tipe keruntuhan batuan (Hoek dan Bray, 1981 dalam Abbas dan Konietzky, 2017)

Berdasarkan analisis kinematik tipe keruntuhan batuan maka pada seluruh segmen *scanline* didapat tipe keruntuhan baji dengan bidang diskontinuitas yang berperan dalam potensi keruntuhan tersebut berupa *fracture* (kekar).

Metode Rock Mass Rating (RMR)

Klasifikasi geomekanika atau *Rock Mass Rating* merupakan salah satu pengklasifikasian massa batuan yang bertujuan untuk mengetahui perilaku massa batuan untuk berbagai jenis rekayasa dan jenis perkuatan yang dibutuhkan atas dasar basis data empiris (*support requirements based on empirical database*).

Klasifikasi ini dikembangkan oleh Bieniawski (1989) dengan pertimbangan bahwa sebuah klasifikasi massa batuan memiliki parameter yang harus diukur dan diamati, yaitu kuat tekan uniaksial material batuan, nilai *rock quality designation* (RQD), spasi diskontinuitas, kondisi diskontinuitas, serta kondisi keairan yang memiliki bobot yang berpengaruh terhadap nilai klasifikasi masa batuan (Tabel 3).

Berdasarkan klasifikasi RMR 15 segmen *scanline* daerah penelitian, didapat hasil perhitungan kelas massa batuan Lereng SL1, SL2, SL3, SL4, SL5, SL6 memiliki lereng yang lebih stabil dengan kelas II (*good rock*) dengan nilai RMR berkisar antara 61-63, sementara segmen lainnya memiliki nilai RMR sebesar 51-58 yang masuk dalam kelas III (*fair rock*) (Tabel 4).

Tabel 3. Parameter klasifikasi RMR dan nilai pembobotannya (Bieniawski, 1989 dalam Sophian dkk., 2019)

Parameter		Tipe Massa Batuan			
		Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3	Tipe 4
Kekuatan Batuan Utuh(UCS)	Nilai (Mpa) Peringkat	100-250 -	25-50 -	25-50 -	10-25 -
Rock Quality Designation (RQD)	Nilai (%) Peringkat	- -	- -	- -	- -
Jarak Antar Bidang Diskontinyu	Jarak (m) Peringkat	- 20	- 20	- 10	- 10
Kondisi Bidang Diskontinu	Kekasaran permukaan Kemenerusan, spasi, dan tingkat pelapukan Peringkat	Permukaan kekar kasar bukaan < 1mm, dindingnya segar, terdapat oksida besi 25	Permukaan kekar kasar bukaan rapat, dindingnya segar 30	Permukaan kekar kasar bukaan < 1mm, dindingnya segar 25	Permukaan kekar kasar bukaan < 5mm, dindingnya segar 18
Kondisi Air Tanah	Aliran (lt/m) Peringkat	Kering 15	Kering 15	Kering 15	Kering 15
Arah/kemiringan Bidang Diskontinyu	Arah jurus dan kemiringan bidang diskontinu terhadap arah galian Peringkat	arah galian lereng (N5°E) dengan kemiringan bidang diskontinyu hingga 70° -10	arah galian lereng dengan kemiringan bidang diskontinyu hingga 85° -10	arah galian lereng dengan kemiringan bidang diskontinyu hingga 86° -10	arah galian lereng dengan kemiringan bidang diskontinyu hingga 76° -10
RMR	Peringkat Kelas Deskripsi	95 1 <i>Very Good</i>	89 1 <i>Very Good</i>	74 2 <i>Good</i>	55 3 <i>Fair</i>
Parameter Geomekanika	Kohesi (kPa) Sudut Geser Dalam (°)	> 0.4 > 45°	> 0.4 > 45°	0.3-0.4 35°- 45°	0.2-0.3 25°- 35°

Tabel 4. Kelas RMR berdasarkan nilai pembobotannya (Bieniawski, 1989 dalam Sophian dkk., 2019)

Pembobotan	100 – 81	80 -61	60 – 41	40 -21	> 21
Nomor kelas	I	II	III	IV	V
Pemerian	Sangat baik	Baik	Sedang	Jelek	Sangat jelek

Metode Slope Mass Rating

Hasil analisis metode kinematik dan perhitungan klasifikasi massa batuan, digunakan untuk perhitungan kelas massa lereng (*slope mass rating*). *Slope mass rating* juga merupakan salah satu sistem klasifikasi massa batuan yang bertujuan untuk mengetahui potensi keruntuhan lereng, tipe keruntuhan lereng dan untuk memilih jenis perkuatan yang sesuai atas dasar basis data empiris dengan persamaan umum yang dipakai:

$$SMR = RMR_{basic} + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

Berdasarkan perhitungan SMR tersebut maka didapat nilai SMR pada 15 segmen *scanline* (Tabel 5).

REKOMENDASI DESAIN STABILITAS LERENG

Untuk memilih jenis perkuatan lereng yang sesuai dalam mencegah terjadinya keruntuhan pada lereng batuan, digunakan sistem SMR. Jenis – jenis perkuatan yang dapat digunakan untuk upaya stabilitas lereng batuan dapat dibagi menjadi sembilan kelas yang berbeda (Romana, 1985 dalam Kundu *dkk.*, 2017).

Berdasarkan Tabel 4, lereng pada SL7, SL8, SL9, SL10, SL11, SL12, SL13, SL14, SL15 yang memiliki kisaran SMR 42 sampai dengan 50 termasuk kategori kelas IIIb. Pada lereng – lereng tersebut dapat digunakan perkuatan jenis paritan pada kaki lereng (*toe ditch*) dan /

atau dengan jala kawat (*nets*), baut batuan (*bolting*) dan beton semprot (*shotcrete*) dengan kombinasi jangkar kabel (*anchor*) dibuat secara sistematis, dengan pembebanan di beberapa bagian kaki lereng.

Lereng pada SL1, SL2, SL3, SL4, SL5, SL6 dengan nilai SMR 52,75 sampai dengan 54,68 termasuk ke dalam kategori kelas IIIa (Tabel 6). Pada lereng ini, jenis perkuatan yang dibutuhkan berupa paritan pada kaki lereng (*toe ditch*), dan / atau penggunaan jala kawat (*nets*), pada beberapa titik lereng atau secara sistematis menggunakan baut batuan (*bolting*), dan beton semprot (*shotcrete*) pada beberapa bagian lereng.

Tabel 6. Nilai SMR pada 15 segmen *scanline*

Scanline	Total Nilai RMR	Kelas SMR	Kelas Penyangga
SCL1	54,68	III (Normal)	IIIa
SCL2	54,68	III (Normal)	IIIa
SCL3	54,68	III (Normal)	IIIa
SCL4	52,75	III (Normal)	IIIa
SCL5	54	III (Normal)	IIIa
SCL6	52	III (Normal)	IIIa
SCL7	50	III (Normal)	IIIb
SCL8	48,75	III (Normal)	IIIb
SCL9	42	III (Normal)	IIIb
SCL10	49	III (Normal)	IIIb
SCL11	42,75	III (Normal)	IIIb
SCL12	49	III (Normal)	IIIb
SCL13	45,75	III (Normal)	IIIb
SCL14	47	III (Normal)	IIIb
SCL15	48,75	III (Normal)	IIIb

Tabel 5. Nilai pembobotan kekar (Romana, 1985 dalam Zakaria *dkk.*, 2013)

z	Kriteria faktor koreksi	Sangat menguntungkan	Menguntungkan	Sedang	Tidak menguntungkan	Sangat tidak menguntungkan
P	$\alpha_j - \alpha_s$	> 30	30 – 20	20 – 10	10 – 5	< 5
T	$\alpha_j - \alpha_s - 180$	> 30	30 – 20	20 – 10	10 – 5	< 5
P/T	F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
P	β_j	< 20	20 – 30	30 – 35	35 – 45	> 45
P	F2	0,15	0,4	0,7	0,85	1
T	F2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	> 10	10 – 0	0	0 – (-10)	< - 10
T	$\beta_j + \beta_s$	< 100	110 – 120	> 120	-	-
P/T	F3	0	- 6	- 25	-50	- 60

KESIMPULAN

1. Analisis kinematik 15 segmen *scanline* daerah penelitian, pada umumnya terdapat tipe keruntuhan baji pada seluruh segmen *scanline* daerah penelitian.
2. Kelas masa batuan pada SL1, SL2, SL3, SL4, SL5, dan SL6 masuk ke dalam kelas II (*good rock*), sedangkan pada SL7, SL8, SL9, SL10, SL11, SL12, SL13, SL14, dan SL15 masuk dalam kelas III (*fair rock*).
3. Nilai SMR yang berkisar antara 42 – 54,68 terdapat pada seluruh lereng dan diklasifikasikan dalam kelas III (normal) dengan kondisi lereng stabil sebagian (*partially stable*). Kestabilan lereng batuan daerah penelitian juga dipengaruhi oleh struktur geologi, yaitu sesar turun mengiri Sungai Cimanuk. Di area tersebut terdapat diskontinuitas berupa kekar (*fracture*) yang berpengaruh terhadap kedudukan bidang gelincir serta kualitas massa batuan yang juga dipengaruhi oleh litologi penyusun berupa breksi vulkanik sisipan batupasir. Berdasarkan kajian awal desain perkuatan batuan dalam usaha menstabilkan lereng, maka lereng pada SL1, SL2, SL3, SL4, SL5, dan SL6 masuk ke dalam kelas IIIa, sedangkan lereng lainnya kelas IIIb.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Dirjen Dikti, melalui hibah bersaing, yang telah mendukung kegiatan penelitian ini dengan nomer : 100/K3/KM/2015 tanggal 23 Februari 2015, dan PU Jatigede yang telah menyediakan fasilitas berupa tempat tinggal dan data lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, S. M. dan Konietzky, H. (2017) "Rock mass classification systems," in *Introduction to Geomechanics*. 09/2017 Ed. Freiberg: Technical University Freiberg, hal. 1–48.
- Barton, N. R. (1978) "Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses: International Society for Rock Mechanics," *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics*, 15(6), hal. 319–368.

- Bemmelen, R. W. (1949) "General geology of Indonesia and adjacent archipelagos," in *The Geology of Indonesia*. U.S. Government Printing Office, The Hague.
- Bieniawski, Z. T. (1989) *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons.
- Djuri (1973) "Peta geologi lembar Arjawinangun, Jawa." Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, hal. 1.
- Djuri (1995) "Peta geologi Lembar Arjawinangun, Jawa, skala 1:100.000." Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, hal. 1.
- Hoek, E. dan Bray, J. (1981) *Rock slope engineering*. 3rd Ed. Institution of Mining and Metallurgy.
- Kundu, J., Sarkar, K., Tripathy, A. dan Singh, T. N. (2017) "Qualitative stability assessment of cut slopes along the National Highway-05 around Jhakri area, Himachal Pradesh, India," *Journal of Earth System Science*, 126(8), hal. 112. doi: 10.1007/s12040-017-0893-0.
- Prasetya, I., Narenda, R., Wiramsya, A., Sophian, I. dan Muslim, D. (2015) "RMR and SMR as slope stability preliminary studies of Rajamandala limestones mine area," in *10th Asian Regional Conference of IAEG*. Kyoto: IAEG, hal. 1–5.
- Rikard, M. J. (1972) "Fault Classification: Discussion," *CSA Bulletin*, 83(88), hal. 2545 – 2546. doi: 10.1130/0016-7606(1972).
- Romana, M. (1985) "New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes," in *Proceedings of International Symposium on the Role of Rock Mechanics*. Salzburg: International Society for Rock Mechanics, hal. 49–53.
- Shang, J., Hencher, S. dan West, J. (2015) "Tensile strength of incipient rock discontinuities," in Schubert, W. dan Kluckner, A. (ed.) *Proceedings of the SRM Regional Symposium EUROCK 2015 & 64th Geomechanics Colloquium*. Salzburg: White Rose University Consortium, hal. 1–6.
- Sophian, I., Herlinawati, Khairullah, N., Abdurrokhim, Haryanto, I. dan Hendarmawan (2019) "Preliminary geomechanical analysis on limestones in PPSDM Geominerba campus, Padalarang, West Java," *Indonesian Mining Journal*, 22(1), hal. 2019. doi: 10.30556/imj.Vol22.No1.2019.985.

- Verstappen, H. T. dan van Zuidam, R. A. (1975) *ITC textbook of photo-interpretation*. 3rd Ed. International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences.
- Warman, G. I. dan Indrawan, I. G. B. (2015) "Site investigation for construction of emergency spillway at the Jatigede Dam," *Journal of Applied Geology*, 7(1), hal. 20–29.
- Zakaria, Z., Muslim, D., Sophian, I. dan Anisuzzaman, M. (2013) "Correlation between RMR and SMR based on field data: A case study in limestone mining area in Citatah, West Java, Indonesia," *International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences (IJCEBS)*, 1(1), hal. 149–152.