

ANALISIS KESTABILAN LERENG BATU DI JALAN RAYA LHOKNGA KM 17,8 KABUPATEN ACEH BESAR

ROCK SLOPE STABILITY ANALYSIS IN LHOKNGA HIGHWAY AT 17.8 KM, ACEH BESAR DISTRICT

**Ibnu Rusydy¹, Nafisah Al-Huda^{1,2}, Khaizal Jamaluddin^{2,3}, Devi Sundary²,
 Gartika Setiya Nugraha¹**

¹ Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

² Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

³ Program Studi Teknik Geofisika Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

ABSTRAK Penelitian kestabilan lereng batuan menggunakan metode analisis kinematik lereng dan klasifikasi massa batuan dilakukan di lereng pinggir jalan Banda Aceh – Calang di Km 17,8 di Kecamatan Lhoknga Kabupaten Aceh Besar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis longsoran yang akan terjadi di masa yang akan datang, menilai kualitas massa batuan pembentuk lereng, dan tingkat kestabilannya berdasarkan klasifikasi SMR. Akuisisi data struktur massa batuan dilakukan di sepanjang lereng menggunakan metode *scanline*. Data yang diambil berupa arah kemiringan bidang diskontinuitas, arah bidang, dan kondisi bidang diskontinuitas bidang berupa kemenerusan, kekasaran, bukaan, isian, luahan air dan tingkat perlapukan. Analisis kinematik lereng didapatkan berdasarkan hasil proyeksi stereografi dan analisis kualitas serta kestabilan lereng batuan berdasarkan parameter RMR dan SMR. Hasil analisis kinematik lereng menunjukkan jenis longsoran yang akan terjadi di lereng 1 berupa longsoran baji dan planar. Di

lereng 2 dimungkinkan terjadinya longsoran gulingan/*toppling* karena bidang *joint set* yang berlawanan dengan arah lereng. Nilai RMR di lereng 1 sebesar 63 dengan kategori batuan Bagus dan RMR lereng 2 sebesar 57 kategori batuan sedang. Nilai SMR terendah di lereng 1 sebesar 29 (kategori Buruk) untuk longsoran planar dan 53 (kategori Sedang) di lereng 2 longsoran gulingan. Lereng 1 memiliki probabilitas kejadian longsor planar sebesar 60%.

Kata kunci: kestabilan lereng, analisis kinematik, klasifikasi massa batuan.

ABSTRACT Rock slope stability was assessed using the slope kinematic analysis method and rock mass classification on the roadside slope of Banda Aceh - Calang at 17.8 Km in Lhoknga Sub-district, Aceh Besar District. This study aims to determine the types of landslides that will occur in the future by determining the Rock Mass Rating (RMR) and analyzing stability based on the Slope Mass Rating (SMR). The data acquisition of rock mass structures performed the scan line method along the slope. The data taken are dip and strike of the discontinuity plane, and the conditions of discontinuity in the form of persistence, aperture, roughness, infilling, weathering and groundwater conditions. Slope kinematic analysis was conducted based on stereographic projection and analyses of both rock slope quality and stability were based on RMR and SMR parameters. The result of the slope kinematic analysis shows that landslides occur in slope 1 will be in wedge and planar forms. On slope 2, possible failure is in the form of toppling due to the joint set positioned

Naskah masuk : 07 April 2017
 Naskah direvisi : 31 Mei 2017
 Naskah diterima : 17 Mei 2017

Ibnu Rusydy
 Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik
 Universitas Syiah Kuala
 Jln. Syech Abdul Rauf No 7 Darussalam Banda Aceh
 23311
 Email : ibnu@unsyiah.ac.id

opposite to the slope direction. The RMR value in slope 1 is 63, categorized as Good rock and the RMR in slope 2 is 57, which is in the medium rock category. The lowest SMR value in slope 1 was 29 as a Bad class for planar failure, and 53 as a Normal category in slope 2 is toppling failure. Slope 1 has a 60 % probability of a planar failure event.

Keywords: slope stability, kinematic analysis, rock mass classification.

PENDAHULUAN

Kestabilan lereng merupakan sebuah keharusan pada setiap pekerjaan jalan raya. Lereng sepanjang jalan yang terdiri dari batuan dan tanah haruslah memiliki kestabilan yang cukup sehingga tidak dimungkinkan untuk terjadinya longsor. Untuk mengetahui kestabilan sebuah lereng batu perlu dilakukan analisis kinematik lereng dan klasifikasi massa batuan yang bertujuan untuk mengetahui jenis longsor yang akan terjadi di masa yang akan datang, menilai kualitas massa batuan pembentuk lereng, dan tingkat kestabilannya berdasarkan klasifikasi *Slope Mass Rating (SMR)*.

Metode analisis kinematik merupakan sebuah upaya mengetahui kestabilan lereng berdasarkan jenis gerakan material lereng tanpa menganalisis gaya penyebab material lereng bergerak (Gurocak, et al., 2008). Dalam metode kinematik analisis, pengaruh struktur geologi berupa bidang diskontinuitas berupa perlapisan, kekar, lipatan, rekahan dan patahan akan dianalisis secara seksama. Aspek struktur geologi bidang diskontinuitas ini sangat mempengaruhi tingkat kestabilan lereng batuan (Rusydy, et al., 2016; Grelle, et al., 2011; Wyllie & Mah, 2004). Berdasarkan hasil analisis kinematik lereng ini, nantinya akan dapat diperkirakan sebuah lereng stabil atau tidak. Apabila sebuah lereng ditemukan tidak stabil, maka berdasarkan analisis kinematik ini akan diketahui jenis longsor yang akan terjadi di masa yang akan datang.

Rai, et al., (2014) menyatakan bahwa klasifikasi massa batuan berkembang ketika pada tahun 1879 Ritter berusaha memformulasikan pendekatan empiris untuk perancangan terowongan, terutama untuk keperluan sistem penyangga. Banyak klasifikasi massa batuan menggunakan multiparameter yang dikembangkan dari kasus pekerjaan sipil dan komponen sifat geologi massa

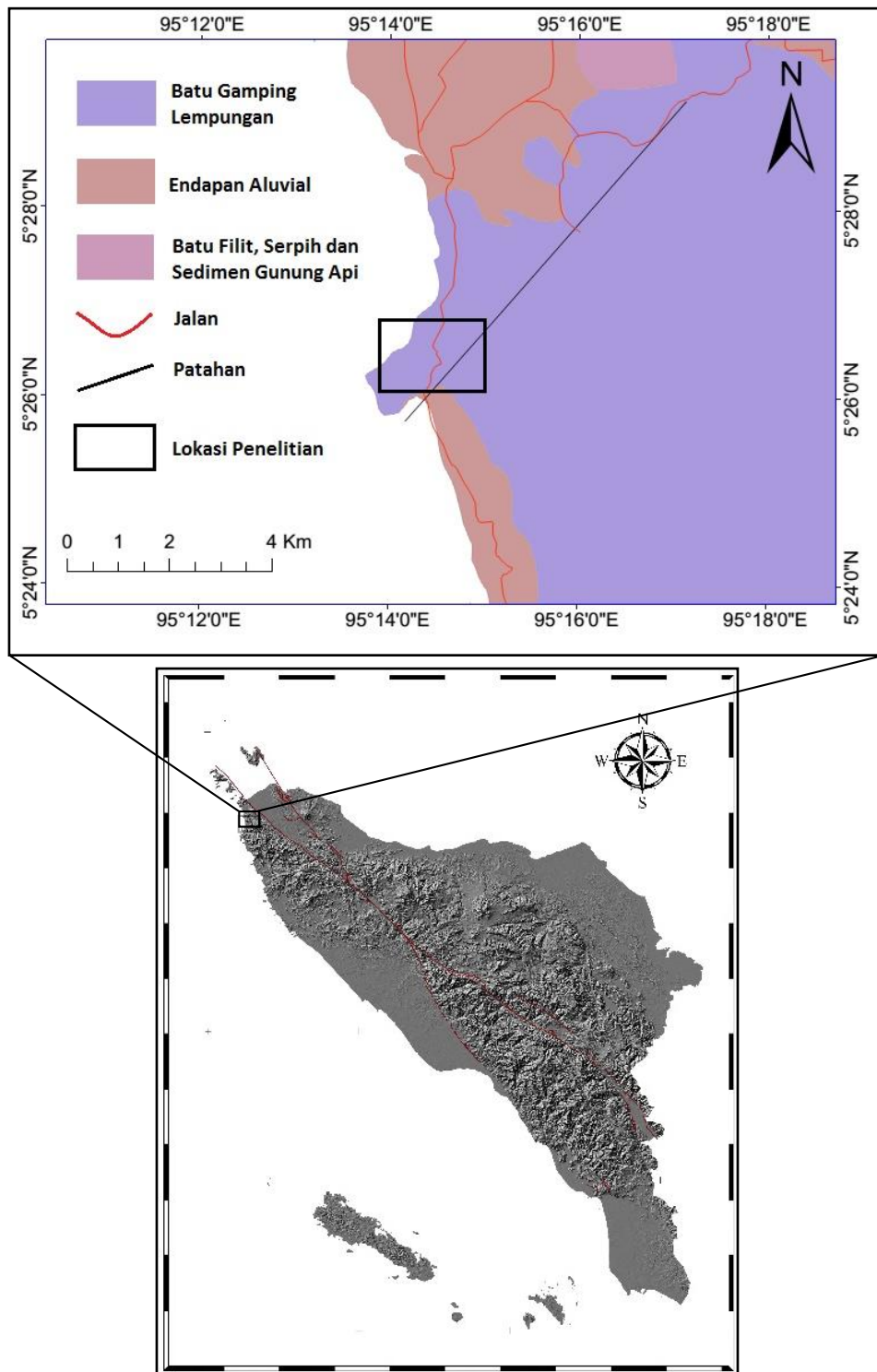
batuan seperti RMR (*Rock Mass Rating*) yang dikembangkan oleh Bieniawski (1989), SMR (*Slope Mass Rating*) yang dibuat oleh Romana (1985), Q-System oleh Barton, et al., (1974) dan masih banyak klasifikasi massa batuan lainnya. Klasifikasi massa batuan digunakan untuk menilai kualitas massa batuan untuk pekerjaan sipil dan pertambangan termasuk didalamnya dalam perancangan terowongan dan lereng. Dalam penelitian ini, klasifikasi massa batuan digunakan bertujuan untuk menilai kualitas dan kestabilan sebuah lereng di jalan raya.

Pengambilan data struktur massa batuan dan klasifikasi massa batuan dilakukan menggunakan metode *scanline* dengan cara membentangi meteran sepanjang lereng yang akan dianalisis. Metode *scanline* merupakan metode objektif yang sangat efektif untuk merekam/mendata dan mendiskripsikan rekahan pada sebuah singkapan massa batuan (Brown, 1981). Lereng yang dianalisis dalam makalah ini adalah lereng batu jalan Banda Aceh – Aceh Jaya, tepatnya di Km 17,8 Kecamatan Lhoknga, Aceh Besar seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Lereng pada Km 17,8 tersebut dipotong untuk pelebaran jalan raya Banda Aceh – Aceh Jaya oleh pihak USAID pada masa rehabilitasi dan rekonstruksi Aceh pasca tsunami 2004. Di beberapa tempat sepanjang jalan tersebut, sudah sering terjadi longsor baik itu longsor tanah maupun jatuhnya batu. Dalam upaya penilai kestabilan lereng di Km 17,8, sehingga penyelidikan menggunakan metode analisis kinematik lereng dan analisis klasifikasi massa batuan (rock mass classification), termasuk didalamnya *Rock Mass Rating (RMR)* dan *Slope Mass Rating (SMR)*.

LOKASI DAN GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Berdasarkan peta Geologi lembar Banda Aceh yang dibuat oleh Bennet, et al., (1981) dikatakan bahwa kawasan Lhoknga terbentuk oleh batugamping lempungan yang berwarna gelap dan berlapis-lapis yang terbentuk pada zaman Jura hingga Kapur. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, pada lereng batuan ditemukan bidang ketidakteraturan berupa perlapisan, kekar dan sesar. Batugamping lempungan tersebut merupakan bagian dari formasi batugamping Raba dan termasuk dalam group Woyla.

Menurut Barber & Crow (2005), batuan grup Woyla yang terbentuk pada akhir Jura hingga



Gambar 1. Peta Geologi dan Lokasi Penyelidikan (modifikasi dari Bennet *et al.*, 1981).

Kapur membentang sepanjang Bukit Barisan dari Aceh sampai dengan Sumatra Barat, namun paling banyak ditemukan di Aceh. Batuan ini merupakan bagian dari kumpulan batuan samudra yang memiliki banyak patahan, kekar dan perlipatan, hal ini dikarenakan sebagian batuan grup Woyla

merupakan batuan akresi akibat proses subduksi. Selain itu, beberapa batuan di grup Woyla pada awalnya merupakan batuan yang berasal dari benua kecil Sikuleh yang terbentuk di sisi utara benua Gondwana dan terus bergerak menabrak Sundaland atau lempeng Eurasia (Barber, 2000).

Proses akresi akibat subduksi ini yang menyebabkan kawasan lereng yang diteliti memiliki pola bidang ketidakmenerusan berupa perlapisan batuan yang menegak, saling berpotongan dan banyak kekar. Kondisi ini menjadikan kawasan lereng Km 17,8 menjadi tidak stabil dan harus dilakukan penelitian analisis kinematik lereng, penilaian *Rock Mass Rating (RMR)*, dan *Slope Mass Rating (SMR)*. Hasil dari penelitian ini akan didapatkan jenis longsoran yang mungkin terjadi di lereng tersebut berdasarkan analisis struktur batuan, klasifikasi massa batuan berdasarkan Bieniawski (1989) dan tingkat kestabilan lereng berdasarkan kriteria yang dikeluarkan oleh Romana (1985). Hasil akhir dari penelitian ini adalah rekomendasi kestabilan lereng Km 17,8 yang dapat berupa penguatan lereng atau re-profiling lereng.

METODE

a. Akuisisi Data Struktur Massa batuan

Akuisisi data struktur massa batuan dilakukan di sepanjang lereng menggunakan metode *scanline*. Metode *scanline* diaplikasikan dengan membentangkan meteran sepanjang lereng dan struktur massa batuan yang diambil adalah struktur masa batuan yang melewati garis *scanline* (Brown, 1981). Semua parameter RMR yang tercantum pada Tabel 1 dilakukan pengambilan datanya berupa orientasi bidang ketidakmenerusan (*diskontinuitas*) menggunakan kompas geologi, kondisi lereng dan estimasi kekuatan batuan utuh pada sebuah lereng. Estimasi kekuatan batuan utuh dilakukan menggunakan palu geologi berdasarkan Hoek (2007) dan pengukuran Schmidt Hammer jenis N/NR. Estimasi ini sangat efisien dilakukan di lapangan, dan tidak menjadi masalah yang berarti karena nilai bobot RMR Bieniawski (1989) dibuat dalam bentuk data range.

Nilai kualitas inti bor atau *Rock Quality Designation (RQD)* merupakan parameter kedua yang dihitung dalam survei struktur massa batuan. RQD pertama sekali dikembangkan oleh Deere, et al., (1967), untuk menilai kualitas batuan dari kerapatan kekar di sebuah lubang bor. Untuk data bidang diskontinuitas pada sebuah lereng, persamaan yang dibuat oleh Deere, et al., (1967) tidak bisa digunakan karena data lubang bor tidak tersedia. Perhitungan nilai RQD sebuah lereng menggunakan metode *scanline* diusulkan oleh Priest (1993) menggunakan persamaan (1).

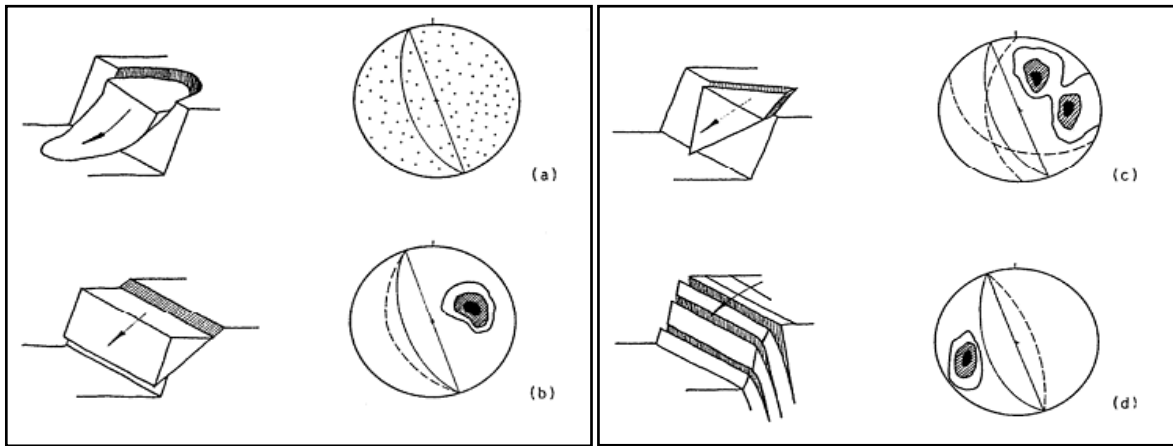
$$RQD = 100e^{-0,1\lambda} (0,1\lambda + 1) \quad (1)$$

λ merupakan frekuensi bidang diskontinuitas yang terdapat pada sebuah lereng batuan. Perhitungan λ dilakukan dengan cara membagikan jumlah kekar-kekar yang terdapat dalam lereng terhadap panjang *scanline* pengukuran. Parameter yang ketiga yang akan didapatkan berdasarkan hasil akuisisi data lapangan adalah spasi bidang diskontinuitasnya. Perhitungan spasi dilakukan pada masing-masing kekar (*joint set*) dengan membagikan panjang *scanline* terhadap jumlah kekar pada masing-masing kekar dengan memperhitungkan arah kekar, kemiringan kekar, dan arah lereng.

Parameter keempat yang didata di lapangan adalah kondisi bidang diskontinuitas lereng. Kondisi bidang diskontinuitas meliputi kemenerusan, bukaan, kekasaran, pengisi, dan tingkat perlapukan. Nilai kemenerusan, bukaan dan pengisi merujuk kepada bobot yang dikeluarkan oleh Bieniawski (1989), sedangkan nilai kekasaran kekar dan derajat perlapukan, deskripsinya ditentukan berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh Brown (1981). Parameter terakhir yang diambil di lapangan adalah kondisi keairan di lereng, penilaian dimulai dari kondisi tanpa air (kering) sampai mengalir.

b. Analisis Kinematik Lereng (*Slope Kinematic Analysis*)

Metode analisis kinematik lereng yang dilakukan berdasarkan pada metode proyeksi stereografi yang diperkenalkan oleh Hoek & Bray (1981) dan Goodman (1989). Semua data geologi yang didapatkan di lapangan berupa arah kemiringan dan bidang kemiringan sebuah rekahan, patahan, kekar, dan perlapukan. Data tersebut akan diplotkan dalam proyeksi stereografi untuk selanjutnya dianalisis tingkat kestabilan lereng dan jenis longsoran yang akan terjadi. Proyeksi stereografi sendiri merupakan sebuah metode memproyeksikan kondisi struktur geologi tiga dimensi menjadi bidang datar dua dimensi. Dengan memahami distribusi bidang-bidang lemah yang sudah diproyeksikan, maka kita akan bisa mengetahui sudut relatif sebuah batuan yang selanjutnya digunakan untuk tujuan analisis kinematik. Metode analisis proyeksi stereografi ini biasa digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng dan terowongan (Lee & Wang, 2011). Berdasarkan proyeksi stereografi Hoek and Bray (1981) dan Goodman (1989), mereka membagi 4



Gambar 2. Kondisi kinematik ketidakstabilan lereng berdasarkan bidang rekahan, sebelah kiri bentuk jenis longsorannya dan sebelah kanan berupa bentuk proyeksi stereografinya; (a) Kegagalan jenis rotasional, (b) kegagalan jenis planar, (c). Kegagalan jenis baji/wedge, (d) Kegagalan jenis gulingan/toppling (Hoek & Bray, 1981).

jenis kegagalan lereng atau longsor yang akan terjadi; (i) kegagalan jenis planar, (ii) kegagalan jenis baji/wedge, (iii) kegagalan jenis gulingan, dan (iv) kegagalan jenis rotasional. Kegagalan jenis rotasional terjadi pada lereng dengan tingkat pelapisan tinggi atau lereng tanah dan tidak dibahas dalam makalah ini. Makalah ini hanya membahas kegagalan lereng yang terjadi pada batuan. Keempat jenis kegagalan lereng pada batuan beserta pola proyeksi stereografi, dapat dilihat pada Gambar 2.

Wyllie & Mah (2004) mencatat bahwa longsor jenis planar terjadi ketika ada blok batuan yang meluncur keluar dari muka lereng. Untuk bisa terjadinya longsor jenis ini, arah bidang planar minimal $\pm 20^\circ$ dari arah lereng, sudut kemiringan lereng (β_s) harus lebih besar dari sudut kemiringan bidang planar (β_j), dan sudut kemiringan bidang (β_j) harus lebih besar dari sudut geser dalam (ϕ) batuan pembentuk lereng sebagaimana pada Gambar 2b. Untuk longsor jenis baji akan terjadi apabila dua buah bidang rekahan batuan saling memotong satu sama lain sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2c. Kemiringan bidang plunge (β_i) yang dihasilkan dari bidang yang saling berpotongan tersebut harus lebih landai dibandingkan dengan kemiringan lereng (β_s) akan tetapi kemiringan bidang plunge tersebut harus lebih besar dari sudut geser dalam (ϕ). Kegagalan yang ketiga adalah jenis gulingan, dimana kegagalan ini melibatkan perputaran blok batuan yang memiliki arah rekahan berlawanan arah dengan arah lereng. Analisis stereografi dan

bentuk longsorannya dapat dilihat pada Gambar 2d. Kegagalan jenis gulingan pertama sekali diperkenalkan oleh Muller (1968, dalam Wyllie & Mah, 2004). Apabila tingkat pelapukan sangat tinggi dan banyak bidang diskontinuitas maka jenis longsor rotasional akan terjadi sebagai ditunjukkan oleh Gambar 2a.

c. Klasifikasi Massa Batuan (Rock Mass Classification)

Metode klasifikasi massa batuan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode klasifikasi struktur massa batuan *Rock Mass Rating (RMR)* berdasarkan paramater Bieniawski (1989) dan *Slope Mass Rating (SMR)* berdasarkan paramater yang dikembangkan oleh Romana (1985). SMR atau pembobotan massa lereng merupakan sebuah sistem klasifikasi massa batuan untuk menyempurnakan sistem klasifikasi massa batuan yang sebelumnya sudah pernah diperkenalkan oleh Bieniawski (1989) yang dikhususkan untuk menilai kualitas lereng dan rekomendasi kemiringan pengupasan lereng yang aman.

Untuk menghitung nilai SMR sebuah massa batuan, terlebih dahulu harus dilakukan perhitungan nilai klasifikasi massa batuan (Rock Mass Rating/RMR) sesuai dengan Tabel 1 di bawah ini.

Apabila nilai RMR berdasarkan Tabel 1 telah didapatkan, maka selanjutnya dilakukan perhitungan nilai SMR menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Romana (1985).

Tabel 1. Paramater klasifikasi RMR_{basic} dan pembobotannya berdasarkan Bieniawski (1989).

Paramater		Kondisi dan Rentang Penilaian							
1	Kekuatan Batuan Utuh	Indeks Kekuatan Point Load	>10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Kekuatan rendah tidak menggunakan point load test		
		Uniaxial Compressive Strength (UCS)	>250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Bobot		15	12	7	4	2	1	0
2	Nilai Kualitas Inti Bor (RQD)		90-100%	75-90 %	50-75%	25-50%	<25%		
	Bobot		20	17	13	8	3		
3	Spasi Bidang ketidakteraturan		>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
	Bobot		201	15	10	8	0		
4	Kondisi Bidang Ketidakteraturan		Sangat kasar, dinding segar, tidak menerus, rapat	Kasar, terbuka <1mm, dinding sedikit lapuk	Sedikit kasar, <1mm, dinding sangat lapuk	Terisi, tebal <5mm, terbuka 1-5mm, menerus	Terisi material lunak >5mm, terbuka >5mm, menerus		
	Bobot		30	25	20	10	0		
5	Keairan	Aliran per 10 m panjang terowongan	0	<10	10-25	25-125	>125		
		Tekanan Air	0	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
	Bobot	Kondisi Umum	Kering	Lembab	Berair	Basah	Mengalir		
			15	10	7	4	0		

$$SMR = RMR_{basic} + F_1F_2F_3 + F_4 \quad (2)$$

$$F_1 = [1 - \sin(\alpha_s - \alpha_j)]^2 \quad (3)$$

$$F_2 = \tan \beta_j \quad (4)$$

Komponen F_1 , F_2 , F_3 dan F_4 merupakan faktor penyesuaian yang diajukan oleh Romana (1985). Perhitungan F_1 menggunakan persamaan (3) dimana α_s ; arah kemiringan lereng, α_j ; arah kemiringan kekar (*joint*). Untuk menghitung F_2 digunakan persamaan (4) dimana β_j ; sudut kemiringan kekar. Perhitungan F_3 dilakukan menggunakan tabel nilai pembobotan kekar yang dibuat oleh Romana (1985). Tabel pembobotan kekar tersebut bernilai dari 0 s/d -60. Nilai F_3 memperlihatkan hubungan kemiringan kekar (β_j) dengan kemiringan lereng (β_s). Untuk F_4 sendiri dihitung berdasarkan metode pengupasan lereng dan nilainya berkisar antara -8 s/d 15.

HASIL DAN PEMBAHASAN

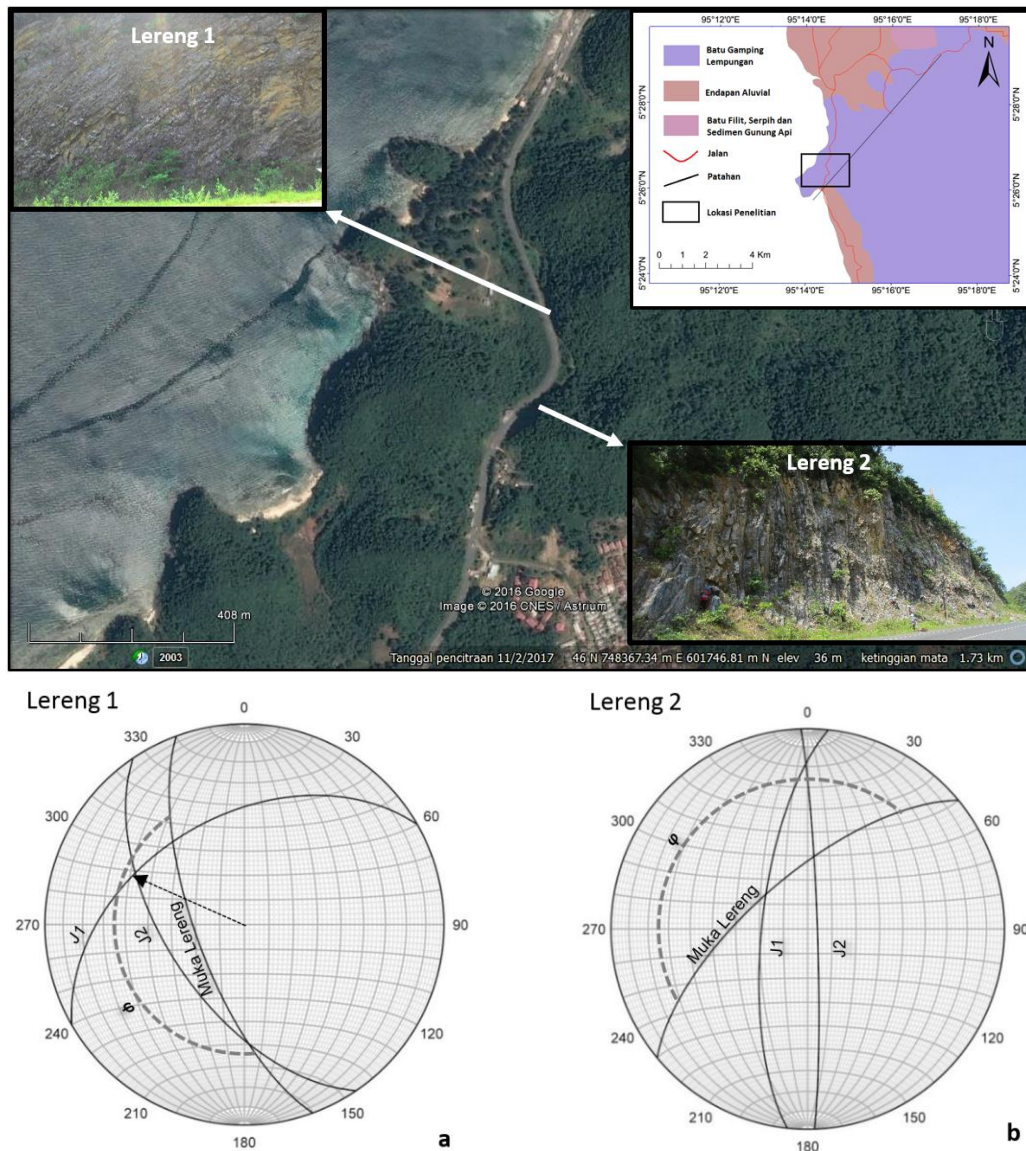
a. Analisis Kinematik Lereng Km 17,8

Berdasarkan hasil akuisisi data struktur massa batuan di lapangan, didapatkan 83 data bidang diskontinuitas dari lintasan *scanline* sepanjang 30 meter di lereng 1 dan 50 meter di lereng 2. Pengolahan data dilakukan menggunakan software *Orient* versi 3.6.3 (Vollmer, 2017). Setelah ke-83 data diplotkan pada software

Orient, selanjutnya dilakukan proses konturing menggunakan metode modifikasi Kamb (Vollmer, 1995). Metode konturing modifikasi Kamb akan memberikan hasil berupa kutub-kutub kekar (*joint set*) untuk kedua lereng yang dianalisis.

Hasil pengukuran lapangan menggunakan kompas geologi, lereng 1 memiliki kemiringan lereng sebesar 70° dengan jurus 160° N. Pengolahan data menggunakan metode konturing modifikasi Kamb ditemukan 2 unit *joint set* sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 3 dan Tabel 2. Geometri bidang diskontinuitas J1 pada lereng 1 memiliki arah yang hampir sama dengan patahan yang sebelum dipetakan oleh Bennet, *et al.*, (1981) sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 1. Orientasi bidang diskontinuitas berarah J1 mendominasi lereng 1 sebesar 85%. Demikian juga dengan lereng 2, hasil pengukuran lapangan, lereng tersebut memiliki orientasi jurus 230° dari utara dengan nilai kemiringan lereng sebesar 68° dan memiliki 2 unit *Joint set* sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Bidang diskontinuitas lereng 2 didominasi oleh *joint set* J1 sebesar 75% dari keseluruhan bidang diskontinuitas.

Analisis kinematik lereng (*slope kinematic analysis*) lereng 1 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 (a), menunjukkan bahwa longsoran jenis baji (*wedge*) kemungkinan akan terjadi.



Gambar 3. Peta Google Earth lokasi lereng yang diteliti dan hasil proyeksi *joint set* masing-masing lereng.

- Proyeksi Stereografi Joint set J1, J2 dan Muka Lereng Lereng 1
- Proyeksi Stereografi Joint set J1, J2 dan Muka Lereng Lereng 2

Tabel 2. Data geometri lereng dan *Joint Set* yang terdapat di Lereng 1 & 2 Km 17,8 Lhoknga.

Lereng	Joint Set	Arah Jurus	Kemiringan Bidang (β_j)	Jumlah Data	Sudut Geser Dalam (ϕ)	Kemiringan Lereng (β_s)	Arah Lereng (α_s)
Lereng 1	J1	240° N	45°	23	35°	70°	250°
	J2	146° N	58°	4			
Lereng 2	J1	186° N	71°	62	25°	68°	320°
	J2	358° N	86°	21			

Longsoraji terjadi karena terdapat bidang diskontinuitas J1 dan J2 yang saling memotong. Titik perpotongan bidang J1 dengan J2 masih berada dalam sudut geser dalam (ϕ) dan lebih

landai dari kemiringan lereng (β_s). Kondisi ini menjadikan lereng 1 sangat rentan terhadap terjadinya longsoraji jenis baji. Longsoraji yang akan terjadi di lereng 1 memiliki arah plunge

Tabel 3. Kondisi bidang diskontinuitas di Lereng Km 17,8 Lhoknga.

Lereng	Joint Set	Kondisi dan Bobot	Parameter Kondisi Lereng					Nilai Kondisi Lereng
			Kemenerusan	Bukaan	Kekasaran (Brown, 1981)	Isian	Pelapukan (Brown, 1981)	
Lereng 1	J1	Kondisi Bobot	3-10 m 2	>5 mm 0	Kasar 5	Lunak >5mm 0	Ringan 5	12
	J2	Kondisi Bobot	2 2	>5 mm 0	Kasar 5	0 0	Sedang 3	10
Lereng 2	J1	Kondisi Bobot	10-20 m 1	>5 mm 0	Kasar 5	Lunak >5mm 1	Ringan ke sedang 4	11
	J2	Kondisi Bobot	3-10 m 2	0,1-1 mm 3	Kasar 5	Lunak <5mm 2	Sedang 3	15

Tabel 4. Klasifikasi batuan menggunakan parameter RMR_{basic} di lereng Km 17,8 Lhoknga.

No.	Parameter RMR	Lereng 1		Lereng 2	
		Kondisi	Bobot	Kondisi	Bobot
1.	Kekuatan Batuan Utuh	25 - 50 MPa	4	25 - 50 MPa	4
2.	Nilai Kualitas Inti Bor (RQD)	91%	20	98%	20
3.	Spasi bidang diskontinuitas	0,6-2 m	15	200-600 mm	10
4.	Kondisi Lereng	Lihat Tabel 3.	12	Lihat Tabel 3.	11
5.	Keairan	Lembab s/d kering	12	Lembab s/d kering	12
		Nilai RMR_{basic}	63		57

(α_i) 295° N dengan sudut plunge (β_i) 40° sebagaimana ditunjukkan oleh tanda panah pada Gambar 3 (a). Selain longsoran jenis baji, longsoran jenis planar juga bisa terjadi di lereng 1, hal ini dikarenakan bidang J1 yang hampir sejajar dengan arah lereng. Antara lereng dengan bidang planar J1 memiliki sudut perbedaan sebesar 14° , sudut kemiringan lereng (β_s) lebih besar dari sudut kemiringan bidang planar (β_j), dan sudut kemiringan bidang (β_j) harus lebih besar dari sudut geser dalam (ϕ). Menurut Wyllie & Mah (2004), syarat tersebut sudah cukup memenuhi untuk terjadinya longsoran jenis planar.

Pada lereng ke-2, terdapat 2 bidang *joint set* yaitu J1 dan J2 yang juga saling perpotongan. Sudut bidang *plunge* (β_i) yang dihasilkan dari J1 dan J2 lebih landai dibandingkan dengan kemiringan lereng (β_j) akan tetapi kemiringan bidang *plunge* tersebut lebih kecil dari sudut geser dalam (ϕ). Karena sudut bidang *plunge* lebih kecil dari sudut geser dalam, sehingga longsoran jenis baji tidak terjadi di lereng 2. Namun demikian, bidang J2 memiliki orientasi yang berlawanan arah dengan arah kemiringan lereng sehingga longsoran

gulingan (*toppling*) kemungkinan bisa terjadi di lereng 2 apabila ada gangguan luar seperti gempa bumi.

b. RMR Lereng Km 17,8

Nilai perkiraan UCS menggunakan *Schmidt Hammer* jenis N/NR menunjukkan nilai UCS rata-rata sebesar 31 MPa. Pengujian lapangan menggunakan palu geologi juga menunjukkan bahwa batuan tersebut tidak bisa digores atau dikupas menggunakan pisau namun dapat pecah dalam sekali pukulan dengan palu geologi sehingga nilai perkiraan UCS batuan di lereng tersebut berkisar antara 25 – 50 MPa (Tabel 3).

Kondisi bidang diskontinuitas pada lereng 1 mengambil kondisi joint set J1 dengan pertimbangan jumlah data J1 lebih banyak dibanding dengan J2. Kondisi bidang diskontinuitas pada lereng 2 mengambil kondisi terburuk di joint set J1, Jumlah data J1 juga lebih banyak dibandingkan dengan J2. Hasil perhitungan RMR_{basic} berdasarkan parameter Bieniawski (1989) dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 5. Nilai SMR di lereng Km 17,8 Lhoknga berdasarkan Romana(1985).

No.	Parameter SMR	Lereng 1			Lereng 2	
		Kondisi	Bobot Longsor		Kondisi	Bobot longsor Toppling (T)
			Baji/Wedge (W)	Planar (P)		
1.	RMR _{basic}	Kategori batuan bagus	63	63	Kategori batuan sedang	57
2.	F ₁	$(\alpha_i - \alpha_s) = 45^\circ (W)$ $(\alpha_s - \alpha_j) = 14^\circ (P)$	0,15	0,57	$(\alpha_s - \alpha_j - 180) = 52^\circ (T)$	0,15
3.	F ₂	$\beta_i = 40^\circ (W)$ $\beta_j = 58^\circ (P)$	0,84	1	$\beta_j = 86^\circ (T)$	1
4.	F ₃	$\beta_i - \beta_s = -30 (W)$ $\beta_j - \beta_s = -12 (P)$	-60	-60	$\beta_j + \beta_s = 154 (T)$	-25
5.	F ₄	Peledakan normal dan penggalian secara mekanik	0	0	Peledakan normal dan penggalian secara mekanik	0
Nilai SMR			55	29		53

Nilai perhitungan RMR_{basic} pada kedua lereng, tidak berbeda jauh, lereng 1 memiliki nilai RMR sebesar 63 dan lereng 2 sebesar 57. Apabila kita melihat kepada standar pengkelasan batuan berdasarkan nilai RMR, maka lereng 1 berada pada kisaran nilai RMR (80 – 61) kelas II dengan kategori Batuan Bagus (*Good Rock*). Sedangkan lereng 2 berada pada kisaran nilai RMR 60 – 41 dan termasuk kelas III dengan kategori Batuan Sedang (*Fair Rock*). Nilai RMR_{basic} ini didapatkan pada kondisi cuaca tidak hujan dengan kondisi lereng lembab sampai dengan kering. Pada kondisi musim penghujan, kondisi keairan lereng bisa basah sehingga nilai bobotnya menjadi 4 dan RMR-nya menjadi 61 untuk lereng 1 dan 49 untuk lereng 2, kondisi ini tidak merubah kategori dan kelas batuan di kawasan penelitian. Untuk mengetahui tingkat kestabilan lereng tersebut, selanjutnya dilakukan analisis SMR berdasarkan kriteria dari Romana (1985).

c. SMR Lereng Km 17,8

Analisis kinematik lereng menunjukkan bahwa pada lereng 1 Km 14 dimungkinkan untuk terjadinya longsor jenis baji dan planar sedangkan untuk lereng 2 berupa longsor gulingan. Analisis kinematik lereng tersebut menjadi dasar penentuan jenis longsor untuk selanjutnya dilakukan analisis SMR atau pembobotan massa lereng. Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (2), (3), dan (4) serta tabel standar yang dibuat oleh Romana (1985), maka didapatkan nilai akhir RMR lereng 1 sebesar 55 untuk jenis longsor baji (W) dan 29 untuk jenis longsor planar (P). Analisis SMR lereng 2 menunjukkan nilai SMR sebesar 53 untuk jenis longsor gulingan saja (Tabel 5).

Nilai SMR pada lereng 1 jenis longsor baji bernilai 55 dan masih berada dalam kelas III atau normal (41 – 60). Menurut Romana (1985), SMR kelas III memiliki nilai probabilitas longsor sebesar 0,4. Kecilnya probabilitas longsor jenis baji di lereng 1 dikarenakan arah *plunge* baji yang berbeda sebesar 45° dengan arah lereng sehingga tingkat kesejajaran kecil. Tingkat kesejajaran yang kecil ditandaikan dengan kecil angka F₁ untuk jenis longsor baji di lereng 1. Namun demikian, nilai SMR lereng 1 sangat kecil untuk jenis longsor planar dan masuk dalam kelas IV atau buruk (21 – 40) dengan probabilitas longsor jenis planar sebesar 0,6 atau 60%. Kondisi buruk ini dikarenakan arah bidang J2 (α_j) sebesar 256° N dan lerengnya mengarah (α_s) ke 250° N. Tingkat kesejajaran longsor jenis planar di lereng 1 sebesar 14° dengan nilai F₁ 0,57. Selain nilai F₁ yang berada pada kondisi tidak menguntungkan, nilai F₂ dan F₃ juga tergolong tidak menguntungkan.

Nilai SMR lereng 2 didapatkan sebesar 53, termasuk dalam kelas III dengan kategori normal (41 – 60). Analisis nilai SMR lereng 2 hanya dilakukan untuk jenis longsor gulingan yang disebabkan oleh bidang diskontinuitas J2. Nilai SMR lereng 2 yang termasuk kategori normal dikarenakan tingkat kesejajaran antara arah bidang diskontinuitas J2 dengan arah lereng sebesar 52° . Tingkat kesejajaran yang rendah ini menjadikan kemungkinan longsor gulingan di lereng 2 semakin berkurang atau dengan probabilitas sebesar 0,4. Tingkat kesejajaran bidang tersebut ditandai dengan rendahnya nilai F₁ di lereng 2. Sudut perbedaan antara kemiringan lereng (β_s) dengan kemiringan bidang

diskontinuitas (β_j) J_2 154° dan termasuk dalam kategori Sedang (*fair*) dengan nilai F_3 sebesar -25.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian menggunakan metode analisis kinematik lereng, klasifikasi massa batuan RMR, dan klasifikasi massa batuan SMR, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

Analisis kinematik lereng menunjukkan terdapatnya *joint set* di lereng 1 dan 2 *joint set* di lereng 2 jalan raya Km 17,8 Kecamatan Lhoknga Kabupaten Aceh Besar. Kedua *joint set* tersebut mempengaruhi jenis longsoran yang akan terjadi pada kedua lereng tersebut. Longsoran jenis baji dan planar kemungkinan akan terjadi di lereng 1 karena ditemukan bidang longsoran yang memiliki sudut kemiringan lebih besar dari sudut geser dalam batuan pembentuk lereng 1. Di Lereng 2, longsoran jenis gulingan dimungkinkan akan terjadi karena ditemukan bidang *joint set* yang memiliki arah yang berlawanan dengan arah lereng.

Klasifikasi massa batuan (RMR) menunjukkan bahwa batuan pembentuk lereng 1 masuk dalam kategori kualitas massa batuan bagus dan lereng 2 masuk kategori kualitas massa batuan sedang. Walaupun beda kategori, nilai RMR kedua lereng tersebut hanya berbeda 6 sehingga bisa dikatakan kondisinya hampir sama. Nilai RMR yang tidak berbeda jauh tidak menjadikan kedua lereng tersebut memiliki nilai SMR atau pembobotan massa lereng yang sama. Perbedaan nilai SMR kedua lereng tersebut dikarenakan perbedaan jenis longsoran yang akan terjadi, geometri lereng, dan geometri bidang diskontinuitas.

Berdasarkan hasil analisis SMR, ditemukan bahwa lereng 1 lebih tidak stabil dibandingkan dengan lereng 2 dan memiliki nilai SMR sebesar 29 atau masuk dalam kelas IV kategori kualitas buruk (21 – 40) dengan probabilitas longsoran jenis planar sebesar 60%. Kondisi ini mengharuskan dilakukannya stabilisasi di lereng 1. Lereng dengan kategori kualitas buruk harus dilakukan penguatan lereng berupa pemasangan *shotcrete* secara menyeluruh; pemasangan dinding penahan, atau dilakukan pelandaian lereng dan perbaikan sistem drainase di lereng. Lereng 2 memiliki nilai SMR kategori kualitas normal, walaupun demikian di beberapa bagian kekar bisa dikuatkan dengan memasang baut batu (*rockbolt*), *shotcrete* dan dinding penahan.

Analisis kinematik lereng mampu memperkirakan jenis longsoran akan terjadi pada lereng batuan dan tidak mampu menganalisis tingkat kestabilannya. Kualitas massa batuan pembentuk lereng berhasil diklasifikasi menggunakan klasifikasi kualitas massa batuan metode RMR dan SMR. Walaupun demikian, penelitian ini belum mampu menganalisis faktor keamanan lereng 1 dan lereng 2. Di masa yang akan datang, diharapkan adanya penelitian analisis kestabilan lereng menggunakan metode keseimbangan batas (*limit equilibrium*) untuk mengetahui faktor keamanan lereng tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada mahasiswa Teknik Pertambangan dan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala yang telah membantu kami dalam melakukan akuisisi data di lapangan. Kepada saudara Agus dan Mahlil yang telah membantu dalam proses akuisisi data di lapangan dan kepada semua pihak yang telah memberi dukungan sehingga penelitian ini bisa berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Barber, A. J., 2000. The Origin Of The Woyla Terranes In Sumatra And The Late Mesozoic Evolution Of The Sundaland Margin. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(6), 713-738.
- Barber, A. J., and Crow, M. J., 2005. Pre-Tertiary stratigraphy. dalam: A. J. Barber, M. J. Crow & J. S. Milson. *Sumatra: Geology, Resources, and Tectonic Evolution*. London: Geological Society, 40 pp.
- Barton, N. R., Lien, R., and Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech*, 6(4), 189-239.
- Bennet, J. D., et al., 1981. Peta Geologi Lembar Banda Aceh, Sumatra, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classification*. New York: John Wiley & Sons.
- Brown, E. T., 1981. *Rock Characterization, Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods*. Oxford: Published for the Commission on Testing

- Methods, International Society for Rock Mechanics by Pergamon Press.
- Deere, D. U., Hendron, A. J., Patton, F. D., and Cording, E. J., 1967. Design of Surface and Near-Surface Construction in Rock. dalam: C. Fairhurst. Failure and Breakage of Rock. New York: Society of Mining Engineers of ALME, 237-302.
- Goodman, R. E., 1989. Introduction to Rock Mechanics. 2nd. New York: Wiley.
- Grelle, G., Revellino, P., Donnarumma, A. and Guadagno, F. M., 2011. Bedding control on landslides: a methodological approach for computer-aided mapping analysis. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, V(11), 1395–1409.
- Gurocak, Z., Alemdag, S. and Zaman, M. M., 2008. Rock slope stability and excavatability assessment of rocks at the Kapikaya dam site, Turkey. *Engineering Geology*, 96, 17-27.
- Hoek, E., 2007. *Practical Rock Engineering*. 1st. Canada: Rock Science.
- Hoek, E., and Bray, J. W., 1981. *Rock Slope Engineering*. 3rd. London: Institute of Mining and Metallurgy.
- Lee, C.-Y., and Wang, I.-T., 2011. Analysis of Highway Slope Failure by an Application of the Stereographic Projection. Taiwan, World Academy of Science, Engineering and Technology.
- Priest, S. D., 1993. *Discontinuity Analysis for Rock Engineering*. London: Chapman and Hall.
- Rai, M. A., Kramadibrata, S. dan Wattimena, R. K., 2014. *Mekanika Batuan*. Bandung: Penerbit ITB.
- Romana, M., 1985. New Adjustment Ratings for Application of Bieniawski Classification to Slope. Mexico, ISRM, 59-68.
- Rusydy, I., Sugiyanto, D., Satrio, L., Zulfahriza, Rahman, A., Munandar, I., 2016. Geological Aspect of Slope Failure and Mitigation Approach in Bireun-Takengon Main Road, Aceh Province, Indonesia. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 5(1), 30-37.
- Vollmer, F. W., 1995. C program for automatic contouring of spherical orientation data using a modified Kamb method. *Computers & Geosciences*, 21, 31-49.
- Vollmer, F. W., 2017. Orient: Spherical projection and orientation data analysis software. [Online] Available at: <http://www.frederickvollmer.com/orient/> [Diakses 26 March 2017].
- Wyllie, D. C., and Mah, C. W., 2004. *Rock Slope Engineering (Civil and Mining)*. 4th ed. Spon Press, London and New York.