ANALISIS KUALITAS MASSA BATUAN DENGAN METODE *ROCK MASS RATING* (RMR) PADA BATUGAMPING

Bryan Caesar Mahaputra Beko[1], Jackie Angkie[1], Dahniel Mahmud[1], Johanis Aristo Rawul[1], Patrick Andreas Guna[1], Yudho Dwi Galih Cahyono[1]
[1]Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknologi Mineral dan Kelautan
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
Jl. Arif Rahman Hakim No. 100
e-mail: bryancaesar191120@gmail.com

ABSTRAK

Batugamping adalah batuan sedimen yang sebagian besar disusun oleh kalsium karbonat yang berasal dari sisa-sisa organisme laut seperti kerang, siput laut, dan koral yang sudah mati. Batugamping terbentuk secara organik, secara mekanik maupun secara kimia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kualitas massa batuan berdasarkan metode RMR pada Batugamping. Rock Mass Rating (RMR) adalah salah satu metode klasifikasi massa batuan yang digunakan untuk mengetahui kualitas suatu massa batuan (Bieniawski, 1989). Metode RMR mengacu pada 5 parameter utama yaitu kuat tekan batuan utuh, Rock Quality Designation, spasi diskontinuitas, kondisi diskontinuitas, dan kondisi air tanah sehingga mendapatkan hasil analisis untuk mengetahui kemantapan suatu lereng yang dilihat dari kualitas massa batuannya. Dari hasil penelitian nilai RMR pada tiap lereng batugamping yang didapatkan adalah 52, 57, dan 62, termasuuk dalam kelas massa batuan II dan III.

***Kata kunci**:* RMR, Kualitas Massa Batuan, Batugamping

ABSTRACT

Limestone is a sedimentary rock composed mostly of calcium carbonate derived from the remains of marine organisms such as shells, sea slugs, and dead coral. Limestone is formed organically, mechanically and chemically. The purpose of this study was to analyze the quality of rock mass based on the RMR method on limestone. Rock Mass Rating (RMR) is one of the rock mass classification methods used to determine the quality of a rock mass (Bieniawski, 1989). The RMR method refers to 5 main parameters, namely the compressive strength of intact rock, Rock Quality Designation, discontinuity spacing, discontinuity conditions, and groundwater conditions so as to obtain analysis results to determine the stability of a slope as seen from the quality of the rock mass. From the results of the study, the RMR values for each limestone slope obtained were 52, 57, and 62, including in rock mass classes II and III.

***Keywords**: RMR, Rock Mass Quality, Limestone*

PENDAHULUAN

Batugamping adalah batuan sedimen yang sebagian besar disusun oleh kalsium karbonat yang berasal dari sisa-sisa organisme laut seperti kerang, siput laut, dan koral yang sudah mati. Batugamping terbentuk secara organik, secara mekanik maupun secara kimia. Batugamping yang terjadi secara mekanik tidak jauh berbeda dengan jenis Batugamping yang terbentuk secara organik, perbedaannya yang terjadi diantara keduanya adalah terjadinya perombakan bahan

Batugamping yang kemudian terbawa arus dan biasanya mengendap tidak jauh dari tempat semula.

Metode *Rock Mass Rating* (RMR) diusulkan oleh Bieniawski (1979) dan digunakan untuk menentukan kualitas massa batuan. Metode ini telah dikenal luas dan banyak diaplikasikan pada keadaan dan lokasi yang berbeda-beda seperti tambang batuan, terowongan, tambnag batu bara, kestabilan lereng, dan kestabilan pondasi. Metode ini dikembangan selama bertahun-tahun seiring dengan perkembangannya, studi kasus yangtersedia dan disesuaikan dengan standar dan prosedur yang berlaku secara internasional (Bieniawski, 1997). Tujuan dari sistem RMR adalah untuk mengklasifikasikan kualitas massa batuan dengan menggunakan data-data pada lokasi penelitian berdasarkan lima parameter, yakni kuat tekan batuan utuh (UCS), RQD (dengan melakukan pengukuran atau estimasi), spasi bidang-bidang diskontinu, dan kondisi air tanah.

Kuat tekan batuan adalah kekuatan batuan untuk bertahan menahan gaya hingga pecah. Kekuatan batuan dapat dibentuk oleh suatu ikatan adhesi antar butir mineral atau tingkat sementasi pada batuan tersebut, serta kekerasan mineral yang membentuknya. Hal ini akan sangat berhubungan dengan genesa, komposisi, tekstur, dan struktur batuan. *Rock Quality Designation* (RQD) merupakan sistem klasifikasi massa batuan tertua dan masih digunakan hingga saat ini, setidaknya melahirkan tiga sistem klasifikasi massa batuan yang disempurnakan dan lebih detail. Jarak Diskontinuitas adalah bentuk-bentuk ketidakmenerusan massa batuan, seperti kekar, bedding atau foliasi, shear zones, sesar minor, atau bidang lemah lainnya. Jarak diskontinuitas dapat diartikan sebagai jarak rekahan bidang-bidang yang tidak sejajar dengan bidang-bidang lemah lain. Sedangkan spasi bidang diskontinuitas adalah jarak antar bidang yang diukur secara tegak lurus dengan bidang diskontinuitas. Kondisi kekar dilihat berdasarkan pengamatan beberapa parameter seperti kekasaran, bukaan, kemenerusan, dan pengganggu. Kondisi air tanah pada kekar dilihat dari hasil penelitian secara langsung yang mengalir pada lereng sepanjang 10 m dengan volume kurang dari 10 liter.

TUNJAUAN PUSTAKA

Metode ini *Rock Mass Rating* (RMR) dikembangan selama bertahun-tahun seiring dengan perkembangannya, studi kasus yangtersedia dan disesuaikan dengan standar dan prosedur yang berlaku secara internasional (Bieniawski, 1997). Tujuan dari sistem RMR adalah untuk mengklasifikasikan kualitas massa batuan dengan menggunakan data-data pada lokasi penelitian berdasarkan lima parameter, yakni kuat tekan batuan utuh (UCS), RQD (dengan melakukan pengukuran atau estimasi), spasi bidang-bidang diskontinu, dan kondisi air tanah.

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk menenukan data-data yang diperlukan dalam perhitungan nilai RMR, diantaraya:

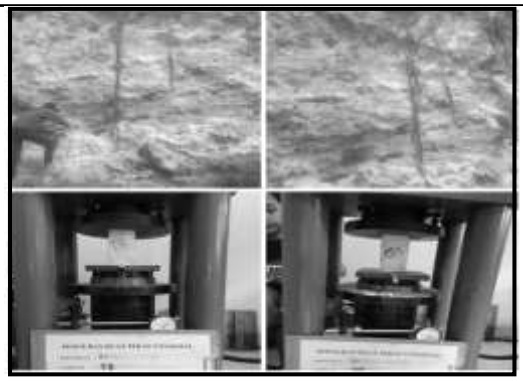
1. Nilai *Uniaxial Compressive Strength* (UCS)
   UCS merupakan kuat tekan uniaksial batuan yang diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium. Sampel batuan diperoleh dari lokasi penelitian, yang tersebar pada 3 lereng batugamping berbeda. Tiap lereng batuan akan diambil 3 sampel dari lokasi berbeda dengan jarak 1-2 m dari titik lokasi sampel sebelumnya. Selanjutnya sampel diuji pada laboratorium untuk mengetahui nilai kuat tekan unaksialnya.
2. Pembobotan *Rock Quality Designation* (RQD)
   Nilai RQD didapatkan dari data strike/dip lereng dan scanline pada lokasi penelitian. Selain itu, ada juga data-data kekar, seperti nilai stike/dip, jarak semu dan pengelompokkan kekar berdasarkan kelompok
   family. Pengambilan data strike/dip menggunakan aplikasi Rocklogger dan dat jarak semunya menggunakan alat pengukur panjang, yaitu meteran. Data yang didapatkan, diolah sesuai dengan perhitungan yang ditetapkan untuk mendapatkan nilai ratio antara jumlah kekar dan scanline (λ). Selanjutnya dapat dihitung nilai RQD, yang didapatkan persamaan :

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

3. Jarak Antar Kekar
   Data jarak antara kekar diperoleh dari perhitungan secara langsung jarak kekar dengan kekar lainnya yang berada sepanjang scanline pada lereng. Jarak antar kekarnya dihitung menggunakan alat pengukur panjang yaitu meteran, dari ujung kekar yang ada pada scanline hingga ujung lainnya dalam satuan meter.
4. Kondisi Kekar
   Kondisi bidang kekar didapatkan dari deskripsi langsung dilokasi penelitian, berupa kemenerusan kekar *(continuity*) yang diperoleh dari perhitungan panjang tiap kekar dengan menggunakan meteran, bukaan kekar (*separation*) yang diperoleh dari lebar celah kekarnya yang dihitung menggunakan penggaris, kekerasan kekar (*roughness*) yang dperoleh setelah peneliti melakukan pengamatan langsung dengan memegang permukaan batuan, dan material pengganggu *(gouge*) yang diperoleh dengan mengamati kondisi lain disekitar batuan, seperti adanya mineral lain ataupun pelapukannya yang mempengaruhi warna pada batuan.
5. Kondisi Air Tanah
   Data kondisi air tanah didapatkan dari hasil penelitian langsung pada kekar dilokasi, dengan mengamati aliran air yang mengalir dari celah tiap batuan. Aliran air yang mengalir diperkirakan tekanan dan debit air yang keluar per 10 meter. Sehingga didaptakan kondisi pada tiap kekarnya, termasuk dalam kondisi basah, lembab ataupun kering.
6. Orientasi Kekar
   Orentasi kekar merupakan faktor koreksi untuk menentukan nilai RMR. Penentuan orientasi kekar bertujuan untuk menentukan bobot penggalian yang dilihat dari arah orientasi strike/dip kekar yang memiliki efek tegak lurus atau sejajar dengan terowongan yang akan dibentuk. Nilai pembobotan orientasi kekar didapatkan dari hasil analisis yang dilakukan setelah mendapatkan data-data strike/dip yang dibutuhkan.

METEDOLOGI

Metode penelitian dibagi dalam dua tahap. Tahap pertama yaitu pekerjaan lapangan dan tahap kedua adalah penelitian di laboratorium. Lokasi penelitian berada pada lereng Batugamping yang terletak di Desa Dalegan, Kecamatan Paceng, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur, dengan jarak tempuh 69 km dalam waktu 1 jam 47 menit dari Surabaya. Selain data-data perhitungan RMR diatas, penelitian dilapangan juga untuk mendapatkan ketinggian lereng yang akan dipakai dalam perbandingan tiap lereng. Perhitungan tinggi lereng menggunakan prinsip *phytagras* dengan memanfaatankan jarak lereng dengan tempat peneliti melakukan penembakan pada bagian ujung lereng untuk mendapatkan sudut yang terbentuk. Nanti data yang dieroleh akan dipakai pada perhitungan, sehingga mendapatkan tnggi lereng. Cara perhitungan tersebut dilakukan pada tiga lereng yang dipakai.



Gambar 1: Pengambilan data dilapangan dan Pengujian UCS Laboratorium

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai pembobotan RMR berdasarkan parameter di lokasi penelitian pada data tiga lereng, memperoleh hasil berbeda-beda dan dapat dilihat pada tabel 1 untuk data lereng 1, tabel 2 untuk data lereng 2 dan tabel 3 untuk data lereng 3. Pada pengukuran dilapangan, didapati nilai strike/dip dan ketinggian lereng yang memiliki nilai yang bervariasi. Lereng 1 memiliki nilai strike n 314° e dengan kemiringan 76° dan ketinggian 4,3 meter. Lereng 2 memiliki nilai strike n 321° e dengan kemiringan 67° dan ketinggian 4,6 meter. Lereng 3 memiliki nilai strike n 315° e dengan kemiringan 63° dan ketinggian 4,9 meter. Scanline yang dipakai memiliki panjang 5 meter dengan nilai strike n 185° e pada tiap lereng dengan kemiringan 23° untuk mendapatkan posisi kekar yang dibutuhkan.

Pembahasan Lereng 1

Berdasarkan pada tabel 1, diperoleh hasil perhitungan RMR berdasarkan parameternya, diantaranya hasil pengujian UCS di laboratorium, perhitungan RQD berdasarkan data lereng, scanline, data kekar dan kondisi air tanah di lokasi, hingga pembobotan penggalian berdasarkan faktor koreksi orientasi kekarnya. Sehingga didapati nilai total pembobotan massa batuan yaitu 52, dan termasuk dalam kelas III (sedang) dengan rating antara 41- 60 (Fair Rock).

Hasil pengujian UCS sampel batuan pada lereng 1 secara berurutan adalah 40,53 MPa, 33,45 MPa, dan 33,45 MPa. Setelah itu, dilakukan perhitungan rata-rata dari ketiga sampel, sehingga didapatkan nilai rata-rata UCS yaitu 35,81 MPa. Setelah itu, dilakukan perhitungan rata-rata dari ketiga sampel, sehingga didapatkan nilai rata-rata UCS yaitu 36,15 MPa. Nilai RQD yang dihitung dengan data strike/dip lereng dan scanline menghasilkan 29,90%. Jarak antar kekar berkisar antara 0,5 m – 1,5 meter dengan banyaknya kekar yang terbentang sepanjang scanline adalah 15 kekar dan terbagi menjadi 3 family.

Kondisi bidang kekar didapatkan dari deskripsi langsung dilokasi penelitian berupa kemenerusan kekar *(continuity)* dengan panjang 1-3 meter, bukaan kekar *(separation)* dengan dengan lebar 0,1-1 milimeter, kekerasan kekar *(roughness)* dengan kondisi permukaan agak kasar dan material pengganggu *(gouge)* berdasarkan type dari pelapukannya *(weathered).* Kondisi air tanah pada lokasi dilihat dari hasil pengamatan langsung yang memiliki volume kurang dari 10liter sepanjang aliran 10 meter, dengan keadaan area lereng yang lembab.

Dari data-data lapangan, dapat ditentukan nilai untuk pembobotan orientasi kekarnya. Dilihat dari arah kekar yang cenderung tegak lurus dengan keadaan lereng, dan mimiliki nilai

strike diatas 45° sehingga memiliki orientasi yang menguntungkan dengan pembobotan -5. Sehingga didapati nilai akhir perhitungan RMR seperti pada tabel 1.

Tabel 1: Hasil Parameter Rock Mass pada Rating Lereng 1

No.	Parameter	Nilai	Bobot
1.	UCS	35.85 MPa	4
2.	RQD	29.90 %	8
3.	Jarak Antar Kekar	1,1 m	15
4.	Kondisi Kekar	Kemenerusan Kekar, Bukaan Kekar, Kekasaran Kekar, Material Pengganggu, pelapukan	20
5.	Kondisi Air Tanah	Lembab	10
6.	Orientasi Kekar	Sedang	-5
Total Bobot			**52**
Kelas Massa Batuan: Sedang (III)			

Pembahasan Lereng 2

Berdasarkan pada tabel 2, diperoleh hasil perhitungan RMR berdasarkan parameternya, diantaranya hasil pengujian UCS di laboratorium, perhitungan RQD berdasarkan data lereng, scanline, data kekar dan kondisi air tanah di lokasi, hingga pembobotan penggalian berdasarkan faktor koreksi orientasi kekarnya. Sehingga didapati nilai total pembobotan massa batuan yaitu 57, dan termasuk dalam kelas III (sedang) dengan rating antara 41- 60 (Fair Rock).

Hasil pengujian UCS sampel batuan pada lereng 2 secara berurutan adalah 31,00 MPa, 41,08 MPa, dan 36,38 MPa. Setelah itu, dilakukan perhitungan rata-rata dari ketiga sampel, sehingga didapatkan nilai rata-rata UCS yaitu 36,15 MPa. Nilai RQD yang dihitung dengan data strike/dip lereng dan scanline menghasilkan 30,52%. Jarak antar kekar berkisar antara 0,5 m – 1,5 meter dengan banyaknya kekar yang terbentang sepanjang scanline adalah 16 kekar dan terbagi menjadi 3 family.

Kondisi bidang kekar didapatkan dari deskripsi langsung dilokasi penelitian berupa kemenerusan kekar *(continuity)* dengan panjang 1-3 meter, bukaan kekar *(separation)* dengan dengan lebar 0,1-1 milimeter, kekerasan kekar *(roughness)* dengan kondisi permukaan agak kasar dan material pengganggu *(gouge)* berdasarkan type dari pelapukannya *(weathered)*. Kondisi air tanah pada lokasi dilihat dari hasil pengamatan langsung yang memiliki volume kurang dari 10liter sepanjang aliran 10 meter, dengan keadaan area lereng yang lembab.

Dari data-data lapangan, dapat ditentukan nilai untuk pembobotan orientasi kekarnya. Dilihat dari arah kekar yang cenderung tegak lurus dengan keadaan lereng, dan mimiliki nilai strike diatas 45° sehingga memiliki orientasi yang menguntungkan dengan pembobotan -5. Sehingga didapati nilai akhir perhitungan RMR seperti pada tabel 2.

Tabel 2: Hasil Parameter Rock Mass pada Rating lereng 2

No.	Parameter	Nilai	Bobot
1.	UCS	36.15 MPa	4
2.	RQD	30.52 %	8
3.	Jarak Antar Kekar	1,1 m	15
4.	Kondisi Kekar	Kemenerusan Kekar, Bukaan Kekar, Kekasaran Kekar, Material Pengganggu, pelapukan	25
5.	Kondisi Air Tanah	Lembab	10
6.	Orientasi Kekar	Sedang	-5
		Total Bobot	57
		Kelas Massa Batuan: Sedang (III)	

Pembahasan Lereng 3

Berdasarkan pada table 3, diperoleh hasil perhitungan RMR berdasarkan parameternya, diantaranya hasil pengujian UCS di laboratorium, perhitungan RQD berdasarkan data lereng,

scanline, data kekar dan kondisi air tanah di lokasi, hingga pembobotan penggalian berdasarkan faktor koreksi orientasi kekarnya. Sehingga didapati nilai total pembobotan massa batuan yaitu 52, dan termasuk dalam kelas II (sedang) dengan rating antara 61- 80 (Good Rock).

Hasil pengujian UCS sampel batuan pada lereng 3 secara berurutan adalah 36,41MPa, 37,35 MPa, dan 38,65MPa. Setelah itu, dilakukan perhitungan rata-rata dari ketiga sampel, sehingga didapatkan nilai rata-rata UCS yaitu 37,47 MPa. Nilai RQD yang dihitung dengan data strike/dip lereng dan scanline menghasilkan 50,40%. Jarak antar kekar berkisar antara 0,5 m – 1,5 meter dengan banyaknya kekar yang terbentang sepanjang scanline adalah 12 kekar dan terbagi menjadi 3 family.

Kondisi bidang kekar didapatkan dari deskripsi langsung dilokasi penelitian berupa kemenerusan kekar *(continuity)* dengan panjang 1-3 meter, bukaan kekar *(separation)* dengan dengan lebar 0,1-1 milimeter, kekerasan kekar *(roughness)* dengan kondisi permukaan agak kasar dan material pengganggu *(gouge)* berdasarkan type dari pelapukannya *(weathered)*. Kondisi air tanah pada lokasi dilihat dari hasil pengamatan langsung yang memiliki volume kurang dari 10liter sepanjang aliran 10 meter, dengan keadaan area lereng yang lembab.

Dari data-data lapangan, dapat ditentukan nilai untuk pembobotan orientasi kekarnya. Dilihat dari arah kekar yang cenderung tegak lurus dengan keadaan lereng, dan mimiliki nilai strike diatas 45° sehingga memiliki orientasi yang menguntungkan dengan pembobotan -5. Sehingga didapati nilai akhir perhitungan RMR seperti pada tabel 3.

Tabel 3: Hasil Parameter Rock Mass pada Rating lereng 3

No.	Parameter	Nilai	Bobot
1.	UCS	37,47 MPa	4
2.	RQD	50.40 %	13
3.	Jarak Antar Kekar	1,1 m	15

4.	Kondisi Kekar	Kemenerusan Kekar, Bukaan Kekar, Kekasaran Kekar, Material Pengganggu, pelapukan	25
5.	Kondisi Air Tanah	Lembab	10
6.	Orientasi Kekar	Sedang	-5
		Total Bobot	62
		Kelas Massa Batuan: Baik (II)	

Hasil dari nilai RMR pada tiga lereng yang terletak di Desa Dalegan, Kecamatan Paceng, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur, diperoleh bahwa batuan penyusun lereng memiliki kualitas massa batuan pada kelas sedang hingga baik. Lereng 1 dan lereng 2 memiliki massa batuan yang berada pada kelas III (sedang) dengan nilai RMR 41-60, sedangkan lereng 3 memiliki massa batuan yang berada pada kelas II (baik) dengan nilai RMR 61-80. Ketiga lereng tersebut tersusun dari komoditas batuan yang sama, namun terdapat faktor lain yang mempengaruhi pembobotan kualitas massa batuannya. Nilai UCS yang didapati dari hasil pengujian di lapangan menunjukkan perbedaan rata-rata kuat tekan antar tiap lereng adalah 1 hingga 2 MPa. Hal ini dapat disebabkan oleh kondisi diskontinuitas tiap lereng yang disebabkan kondisi pelapukan. Pada lereng 1, pelapukannya cukup tinggi, sehingga nilai UCSnya lebih rendah daripada lereng lainnya. Lereng 2 dan 3 memiliki tingkat pelapukan yang agak menengah, sehingga nilai UCSnya cenderung lebih tinggi daripada lereng 1.

Selain karena pengaruh UCS, kondisi kekar dilapangan juga berpengaruh terhadap pembobotan RMR pada tiap lereng. Lereng 1 memiliki jumlah kekar 15 dengan nilai strike/dip yang tidak terlalu menguntungkan dalam perhitungan RQD, sehingga pembobotannya lebih kurang daripada lereng lainnya. Lereng 2 memiliki jumlah kekar 16 dengan nilai strike/dip yang tiidak terlalu menguntungkan dalam perhitungan RQD, namun adanya faktor pelapukan yang lebih rendah, sehingga pembobotannya jauh lebih tinggi daripada lereng 1. Lereng 3 memiliki jumlah kekar 12 dengan nilai strike/dip yang menguntungkan dalam perhitungan RQD, dengan pengaruh pelapukan yang lebih rendah, sehingga pembobotan pada lereng 3 jauh lebih tinggi daripada lereng lainnya.

Berdasarkan hasil yang dipeoleh dari penelitian hingga analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kualitas massa batuan dapat ditunjukkan dengan nilai UCS batuan, kondisi umum lokasi, kondisi kekar yang ada pada lokasi dan juga tingkat pelapukan yang ada pada lereng tersebut.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari hasil analisis kualitas massa batuan pada lereng yang terletak di Desa Dalegan, Kecamatan Paceng, Kabupaten Gresik, Jawa Timur, yang dilakukan dengan metode Rock Mass Rating (RMR), didapatkan nilai RMR batuan pada 3 lereng adalah sebesar 52, 57, dan 62 dengan jenis batuan adalah batugamping.
2. Berdasarkan nilai dari Rock Mass Rating (RMR) yang didapatkan, lereng batugamping yang diteliti termasuk dalam kelas batuan III dengan rating antara 41- 60 (Fair Rock) hingga kelas II dengan rating antara 61- 80 (Goodr Rock).
3. Berdasarkan hasil yang dipeoleh dari penelitian hingga analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kualitas massa batuan dapat ditunjukkan dengan nilai UCS batuan, kondisi umum lokasi, kondisi kekar yang ada pada lokasi dan juga tingkat pelapukan yang ada pada lereng tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, terlebih khusus kepada Dosen Pengampuh Bapak Yudho Dwi Galih Cahyono yang telah membimbing dan mendukung dalam pembuatan paper ini dan kepada semua pihak yang telah membantu dan tidak tersebutkan dalam membantu kelancaran penelitian sampai selesai.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Rai, Made Astawa, dkk., "Mekanika Batuan", Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2012.

[2] Arief. S, "Dasar-dasar Analisis Kestabilan Lereng", Sorowako: PT INCO, 2007.

[3] Singh, B. & Goel, R.K. 2011. *Engineering Rock Mass Classification*. Elsevier Science Ltd. UK.

[4] SNI No 2825, Standar Nasional Indonesia, 2008, *Cara Uji Kuat Tekan Batuan Uniaxial*, Indonesia.

[5] SNI No 6167, Standar Nasional Indonesia, 1999, *Metode Pengukuran Kekar Massa Batuan* di Lapangan, Indonesia.

[6] Bieniawski, z. T.; 1989 *engineering Rock mass classifications*, John wiley & sons, New York.

[7] Hoek, E., dan Bray, J. W., 1981 Rock Slope Engineering. 3rd ed. Institute of Mining and Metallurgy

[8] Arif, I., 2016 *Geoteknik Tambang*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

[9] Giani, G.P., 1992. *Rock slope stability analysis*, 1 ed. Taylor and Francis, Turin

[10] Karnawati, D., 2007. *Mekanisme gerakan massa batuan akibat gempabumi*; Tinjauan dan analisis geologi teknik. J. Din. Tek. Sipil 7, 179–190