

Analisis Kestabilan Lereng dengan Menggunakan Metode Probabilitas pada Penambangan Batu Gamping di PT. Caldomill Indonesia Kabupaten Gunungkidul, Provinsi D.I Yogyakarta

Helmiati Lapuna¹, Dwi Herniti², Heru Dwiriawan Sutoyo³, Rofa Dzulfikri Bulopa⁴

¹ Jurusan Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Yogyakarta

² Jurusan Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Yogyakarta

³ Jurusan Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Yogyakarta

⁴ Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

Korespondensi : helmilpn579@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam, terutama kandungan mineral bukan logam jenis tertentu sehingga merupakan salah satu potensi yang sangat besar. Kabupaten Gunungkidul memiliki potensi bahan galian cukup besar, terutama bahan galian industri yang tersebar di beberapa tempat. PT. Caldomill Indonesia merupakan pertambangan batugamping yang berada di Desa Sidorejo, Kecamatan ponjong, Kabupaten Gunungkidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Perusahaan ini bergerak dalam bidang produksi tepung batugamping sejak tahun 2017 dan memiliki lereng-lereng penggalian dengan tinggi lereng antara 7 meter sampai 22 meter sedangkan untuk sudut kemiringannya yaitu 72° sampai 86° yang cukup curam. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis dan menghitung nilai faktor keamanan pada kondisi kestabilan lereng batugamping, dan menganalisis kondisi kestabilan lereng pada perusahaan berdasarkan probabilitas kelongsoran. Penelitian ini menggunakan metode probabilitas pada penambangan batugamping di PT. Caldomill Indonesia di Kabupaten Gunungkidul. Hasil dari analisis kestabilan lereng dengan simulasi Monte Carlo memperoleh nilai probabilitas kelongsoran sebesar 15-20% dan FK maksimum 1.273 dan FK minimum sebesar 0.480 termasuk aman berdasarkan standarisasi Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 nilai PK 12-50% dan FK >1,1 (aman). Hasil dari analisis Proyeksi Stereografis, lereng lokasi penelitian memiliki potensi longsor baji sebesar 10% dan Guling sebesar 10%. Berdasarkan hasil klasifikasi massa batuan dengan menggunakan empat metode untuk menunjukkan lereng pada lokasi penelitian memiliki kondisi yang baik. Pada perhitungan RMR diperoleh nilai 67 masaa batuan II (kuat). Untuk perhitungan SMR diperoleh nilai 67, kelas massa batuan (II) baik dan stabil dengan probabilitas kelongsoran 20-40%. Sedangkan nilai GSI diperoleh dari parameter SCR bernilai 9 dan SR 60 dan kondisi struktur Bloky. Dan hasil Q-Slope menunjukkan lereng batuan berada dalam kondisi stabil 13.07 pada kemiringan 72°.

Kata Kunci : Kesetabilan Lereng, Batugamping, Probalitas

ABSTRACT

Indonesia is a country that is rich in natural resources, especially the content of certain types of non-metallic minerals so that it is one of the very large potentials. Gunungkidul Regency has a large potential for minerals, especially industrial minerals scattered in several places. PT. Caldomill Indonesia is a limestone mining located in Sidorejo Village, Ponjong District, Gunungkidul Regency, Yogyakarta Special Region Province. This company has been engaged in the production of limestone flour since 2017 and has excavation slopes with slopes ranging from 7 meters to 22 meters while the slope angle is 72° to 86° which is quite steep. The purpose of this study is to analyze and calculate the value of the safety factor on the condition of the stability of the limestone slopes, and analyze the condition of the slope stability of the company based on the probability of landslides. This research uses probability method in limestone mining at PT. Indonesian Caldomill in Gunungkidul Regency. The results of the slope stability analysis with Monte Carlo simulations obtained a landslide probability value of 15-20% and a maximum FK of 1.273 and a minimum FK of 0.480 including safe based on the standardization of the Minister of Energy and Mineral Resources No. 1827 K/30/MEM/2018 PK 12-50% and FK >1.1 (safe). The results of the Stereographic Projection analysis show that the slopes of the study site have a potential for wedge landslides of 10% and

overturning of 10%. Based on the results of rock mass classification using four methods to show the slopes at the research site have good conditions. In the calculation of the RMR obtained a value of 67 rock mass II (strong). For the calculation of SMR obtained a value of 67, rock mass class (II) is good and stable with a landslide probability of 20-40%. While the GSI value is obtained from the SCR parameter of 9 and SR 60 and the condition of the Bloky structure. And the results of the Q-Slope show that the rock slope is in a stable condition at 13.07 at a slope of 72°.

Keyword : *Slope Stability, Limestone, Probability.*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam, terutama kandungan mineral bukan logam jenis tertentu sehingga merupakan salah satu potensi yang sangat besar. Kabupaten Gunungkidul memiliki potensi bahan galian cukup besar, terutama bahan galian industri yang tersebar di beberapa tempat. PT. Caldomill Indonesia merupakan salah satu perusahaan tambang batugamping yang berada di Desa Sidorejo, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Perusahaan ini bergerak dalam bidang produksi tepung batugamping sejak tahun 2017 dan memiliki lereng-lereng penggalian dengan tinggi lereng antara 7 meter sampai 22 meter sedangkan untuk sudut kemiringannya yaitu 72° sampai 86° yang cukup curam.

Kestabilan Lereng tambang terbuka pada industri pertambangan merupakan salah satu isu penting saat ini mengingat sebagian besar perusahaan tambang di Indonesia meningkatkan produksinya. Pelebaran dan pendalaman penggalian oleh perusahaan tambang adalah akibat dari hal tersebut (Masagus Azizi 2012). Semakin lebar dan dalam tambang terbuka tersebut dilakukan penggalian, maka tentunya akan semakin besar risiko yang akan muncul, atau semakin meningkatkan ketidakpastian pada faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng tambang terbuka tersebut. Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya risiko kelongsoran lereng yang mencakup sifat fisik dan mekanik batuan, kondisi air tanah, karakteristik massa batuan, serta struktur yang ada pada batuan.

Menurut (Zakaria, 2009) dalam Nurhidayat, (2016) Lereng yang alami ataupun lereng buatan memiliki nilai kesetabilan yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu gaya penahan dan gaya penggerak yang bekerja dalam kesetabilan lereng tersebut. Gaya-gaya yang bekerja pada lereng secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu gaya-gaya yang cenderung untuk menyebabkan material pada lereng untuk bergerak ke bawah dan gaya-gaya yang menahan material pada lereng sehingga tidak terjadi pergerakan atau longsor.

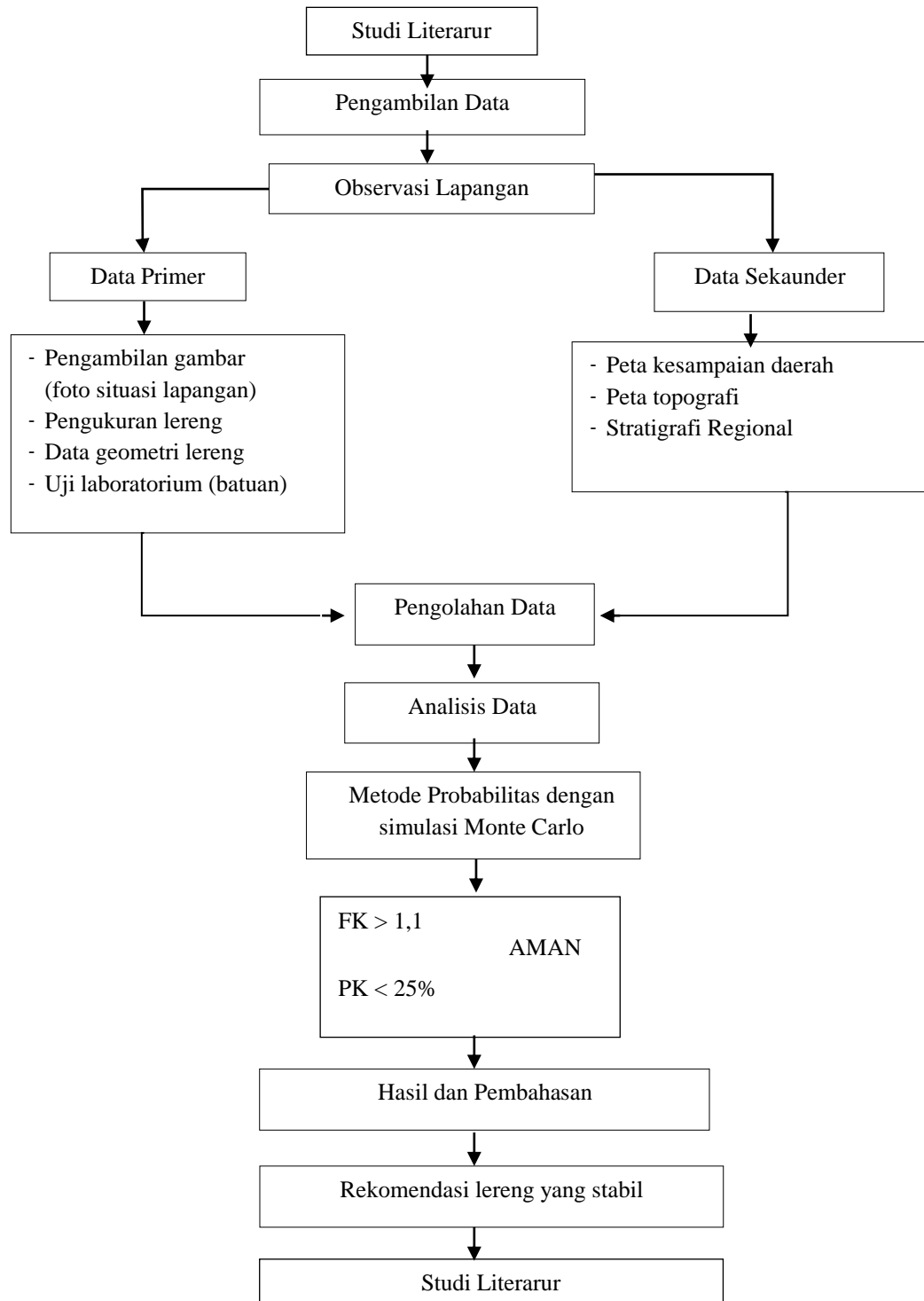
Kestabilan lereng dapat dianalisis melalui perhitungan Faktor Keamanan Lereng dengan melibatkan data sifat fisik tanah, mekanika tanah dan batuan serta bentuk geometri lereng (Pangalar, 1985). Secara khusus, analisis dapat dipertajam dengan melibatkan aspek fisik lain secara regional, yaitu dengan memperhatikan kondisi lingkungan fisiknya, baik berupa kegunaan, iklim, vegetasi, morfologi, batuan/tanah maupun situasi setempat. Kondisi lingkungan tersebut merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi gerakan tanah dan merupakan karakter perbukitan rawan longsor (Anwar & Kesumadharna, 1991; Hirnawan, 1993, 1994).

Oleh karena itu, sebagai salah satu langkah untuk mencapai optimalisasi dalam kegiatan penambangan batugamping pada PT. Caldomill Indonesia maka penulis menentukan kestabilan lereng dengan menggunakan nilai FK. Namun nilai FK saja tidak cukup, karena lereng yang dikatakan stabil juga dapat terjadi longsor jika memiliki nilai PK yang tinggi. Sehingga, penentuan nilai PK sangatlah penting. Untuk sebab itu, pada penelitian ini penulis menggunakan metode probabilitas dengan didukung simulasi Monte Carlo sebagai bahan penilaian potensi longsor untuk menjamin kelancaran dan keselamatan operasional penambangan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan dalam penyusunan penulisan ini diantaranya

1. Tahap Studi Literatur berupa buku, jurnal atau laporan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya tentang alisis kesetabilan lereng maupun yang berhubungan dengan geoteknik.
2. Tahap Observasi Lapangan melakukan pengamatan secara langsung di lapangan untuk mengetahui kondisi aktual serta pengambilan sample dan dokumentasi yang akan di bahas.
3. Tahapan Penelitian



Gambar 1 Tahapan Penelitian

Tabel 1 Rancangan Penelitian

Tujuan Penelitian	Parameter Penelitian	Teknik Pengumpulan Data	Analisis Data
1. Menganalisa kondisi kestabilan lereng berdasarkan PK batugamping di PT. Caldomill Indonesia. 2. Menganalisa dan menghitung nilai FK pada penambangan batugamping di PT. Caldomill Indonesia. 3. Bagaimana rekomendasi lereng yang stabil pada penambangan batugamping.	1. Geometri Lereng. 2. Pengujian Laboratorium - Sifat fisik - UCS - Kuat geser - Petrogarfi 3. Klasifikasi massa batuan - RMR - SMR - GSI - <i>Q-Slope</i>	Studi Pendahuluan - Data Primer - Data sekunder - Pengolahan data - Analisis data - Hasil - Kesimpulan dan saran.	- $FK < 1,07$ (Longsor biasa/sering) - FK antara 1,07 – 1,25 (Longsor penuh terjadi) - FK diatas 1,25 (Longsor jarang terjadi/stabil).

3. HASIL DAN ANALISIS

Analisis yang digunakan adalah Analisis data lapangan, analisis kuantitatif klasifikasi massa batuan (RMR, SMR, GSI, *Q-Slope*), dan analisis kestabilan lereng (simulasi Monte Carlo dalam *software slide* versi 6.005, maka pembahasan hasil penelitian dibagi kedalam beberapa bagian sebagai berikut.

3.1. Klasifikasi Massa Batuan

Berdasarkan data analisis lapangan, uji kuat tekan uniaksial, uji sifat fisik, uji kuat geser yang kemudian analisis lanjutan berupa klasifikasi massa batuan dengan pembahasan sebagai berikut.

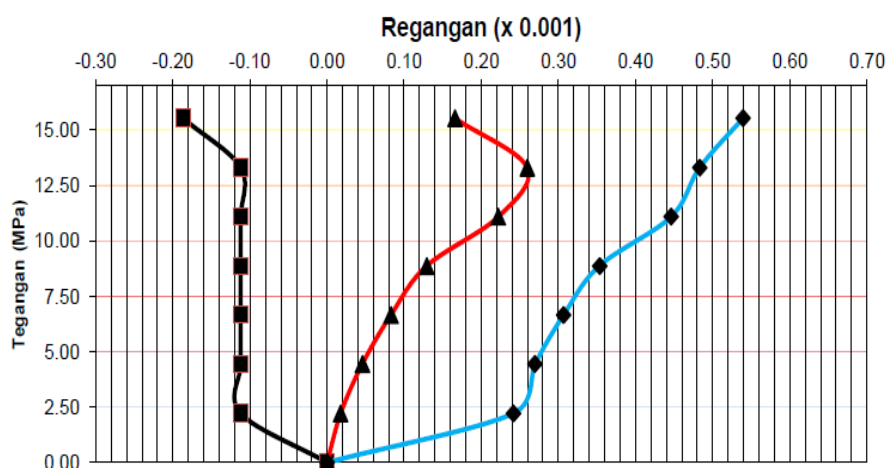
a. Rock Mass Rating (RMR)

Berdasarkan hasil penilaian RMR lereng batuan pada lokasi penelitian memiliki nilai bobot sebesar 67 dengan deskripsi kelas sebagai kelas II (kuat). Hal ini mengindikasikan bahwa lereng batuan pada lokasi penelitian tidak mudah mengalami kelongsoran dengan rincian sebagai berikut :

- Kuat Tekan

Secara umum batuan pada lokasi penelitian terdiri dari batugamping dengan nilai kuat tekan uniaksial sebesar 15,53 MPa dengan nilai bobot 2 pada penilaian RMR yang mengindikasikan batugamping tergolong kedalam batuan yang lemah, terutama dikarenakan sifat batugamping yang mudah mengalami pelarutan oleh air. Dalam hal ini potensi longsor pada daerah penelitian akan sangat bergantung terhadap intensitas hujan. Curah hujan yang tinggi akan meningkatkan potensi kelongsoran, namun pada kondisi kering, maka potensi kelongsoran batuan di lokasi penelitian akan berkurang.

Gambar 2 Grafik Regangan dan Tegangan

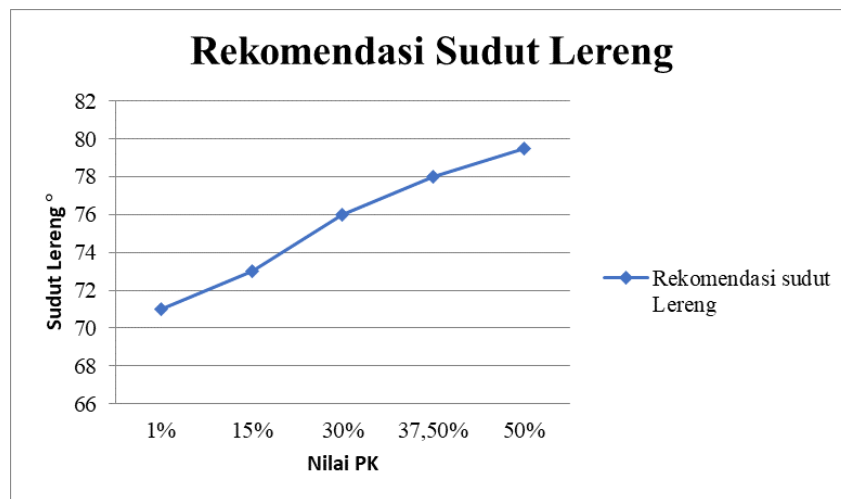


- *Rock Quality Designation (RQD)*
RQD lokasi penelitian memiliki nilai bobot 20 (bobot maksimal) pada penilaian RMR dengan nilai
 $RQD = 110,4 - 3,68 \lambda$
 $RQD = 110,4 - 3,68 \times 4$ (kekar)
 $RQD = 110,4 - 14,72$
 $RQD = 95,68$
RQD sebesar 95,68% yang mengindikasikan bahwa adanya kekar pada batuan memberikan pengaruh yang sangat kecil terhadap kekuatan massa batuan sehingga kekar dilokasi penelitian memberikan dampak yang sangat kecil terhadap potensi kelongsoran dilokasi penelitian.
 - *Spasi Kekar*
Spasi kekar lokasi penelitian memiliki nilai bobot 10 pada penilaian RMR yang mengindikasikan bahwa spasi kekar berada pada kondisi menengah (bobot maksimal 20) yang akan memberikan dampak terhadap kekuatan massa batuan dan cukup memberikan dampak terhadap potensi kelongsoran dilokasi penelitian.
 - *Kondisi Kekar*
Kondisi kekar lokasi penelitian memiliki nilai bobot 20 pada penilai RMR yang mengindikasikan bahwa kekar berada pada kondisi menengah (bobot maksimal 30) yang dapat memberikan pengaruh terhadap kekuatan massa batuan dan cukup memberikan dampak terhadap potensi kelongsoran dilokasi penelitian.
 - *Kondisi Air Tanah*
Kondisi air tanah lokasi penelitian memiliki nilai bobot 15 (bobot maksimal) yang mengindikasikan bahwa kondisi yang kering pada batuan memberikan dampak yang sangat kecil terhadap kekuatan massa batuan dan tidak memberikan dampak terhadap potensi kelongsoran lokasi penelitian, namun kondisi ini bisa sangat berbeda dan sangat bergantung pada kondisi cuaca dilokasi penelitian khususnya pada musim hujan.
- b. *Slope Mass Rating (SMR)*
Berdasarkan penilaian SMR pada lokasi penelitian, lereng batuan berada pada kelas II dengan deskripsi baik dan stabil dengan probabilitas kelongsoran sebesar 0,2 – 0,4 atau 20% - 40% pada bidang kekar. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi kekar memberikan pengaruh yang cukup kecil terhadap potensi kelongsoran dilokasi penelitian.

Table 2 Hasil Perhitungan *Slope Mass Rating*

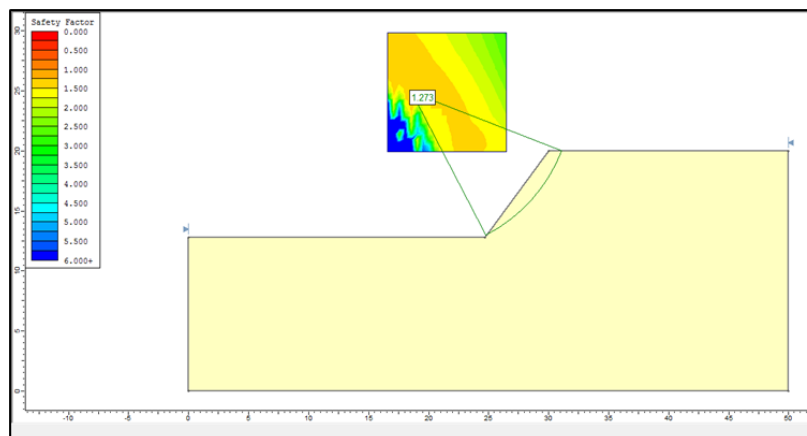
Bidang	Tipe longsoran	RMR	F1	F2	F3	F4	SMR
K1	Baji	67	0,15	1,0	0	0	68,15
K3	Baji	67	0,15	1,0	0	0	68,15
K4	Guling	67	0,15	1,0	-25	0	43,15

- c. *Geological Strength Index (GSI)*
Berdasarkan penilaian GSI lokasi penelitian, lereng batuan tergolong kedalam *kategori very large block* dan deskripsi GSI sebagai bloky dengan nilai SCR sebesar 9 dan J_v sebesar 0,064. Hal ini mengindikasikan bahwa lereng batuan berada pada kondisi yang masif dan tidak terdisintergrasi akibat adanya kekar.
- d. *Q-Slope*
Berdasarkan penilaian *Q-slope* lokasi penelitian, lereng batuan berada dalam kondisi yang stabil dengan nilai *Q-Slope* sebesar 13,07. *Q-slope* menghasilkan rekomendasi sudut lereng sebesar $71,5^\circ$ untuk nilai *probabilitas* longsor 1%, sudut lereng 74° untuk nilai *probabilitas* longsor 15% , sudut lereng 77° untuk nilai *probabilitas* longsor 30%, sudut lereng $78,5^\circ$ untuk nilai *probabilitas* longsor 37,5%, sudut lereng 80° untuk nilai *probabilitas* longsor 50%.



Gambar 3 Rekomendasi Sudut Lereng Penelitian Berdasarkan *Q-Slope*

3.2. Analisis Kestabilan Lereng



Gambar 4 Hasil Analisis Kestabilan Lereng FK

Lereng batuan pada lokasi penelitian berdasarkan simulasi Monte Carlo pada software slide versi 6.005 memiliki nilai FK max sebesar 1,273 dan FK min sebesar 0,480. Bila mengacu pada rekomendasi nilai FK dan PK berdasarkan Kepmen ESDM No.1827 K/30/MEM/2018 maka nilai FK Maksimum sudah termasuk kedalam kriteria FK yang dapat di terima untuk jenis lereng keseluruhan dengan probabilitas kelongsoran sebesar 15-20% atau dengan tingkat keparahan longsor kecil atau berupa rendah.

4. KESIMPULAN

Probabilitas kelongsoran pada kondisi kestabilan lereng dilokasi penelitian memperoleh nilai 15-20% dinyatakan aman dan memiliki nilai faktor keamanan 1,273 maksimum serta FK minimum 0,480 termasuk aman berdasarkan standarisasi Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 nilai PK <25-50% dan FK >1,1 (aman).. Untuk rekomendasi lereng yang aman memiliki tinggi 7,2 meter dengan kemiringan 72°.

5. SARAN

1. Perlunya pemantauan terhadap bidang lereng untuk mengetahui pergeseran dan tekanan massa batuan akibat kegiatan pertambangan seperti pengeboran bongkahan batuan dan alat angkut (*dump truck*).
2. Perlunya analisis klasifikasi massa batuan setiap satu atau dua tahun sekali agar dapat mengetahui potensi longsor yang di akibatkan oleh cuaca (hujan atau kemarau).

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terimakasih PT. Caldomill Indonesia yang suah memberikan ijin dan berkesempatan melakukan penelitian, serta mendapatkan arahan selama berada di perusahaan,

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Abramson, Lee W A et al. (2002), Slope Stability and Stabilization Methods, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc
- [2]. Adnan, Fadjar, (2008), “Aplikasi Simulasi Monte Carlo Dalam Estimasi Biaya Proyek”, Jurnal Smartek.
- [3]. Akbar W. N, 2020. Analisis Kestabilan Lereng Metode Q-Slope Kesenjangan Batas Dan Probabilitas Longsor Pada Tambang Andesit. Yogyakarta: Prosiding TPT XXIX Perhapi. 689-700
- [4]. Alkilicgil, C. 2010. Development of A New Method for Mode I Fracture Toughness Test on Disc Type Rock Specimens. Turkey: Middle East Technical University.
- [5]. Amnirullah, M. F. Et al. 2019. Optimasi Kestabilan Lereng Tunggal Lapisan Overburden Rencana Tambang Mahayung Dengan Pendekatan Probabilistik. Bandung: Padjadjaran Geoscience Journal. 3(6) : 480-488.
- [6]. Anwar, H.Z., dan Kesumadhama, S., 1991, Konstruksi Jalan di daerah Pegunungan tropis, Makalah Ikatan Ahli Geologi Indonesia, PIT ke-20, Desember 1991, hal. 471- 481
- [7]. Azizi, Masagus, 2011. Karakterisasi Parameter Masukan untuk Analisis Kestabilan Lereng Tunggal (Studi Kasus di PT. Tambang Batubara Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan). Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3. Oktober 2011 ISBN : 979-587-395-4
- [8]. Barton, N. R., Lien, R. dan Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, Vol. 6, hal. 189-239. DOI:10.1007/BF01239496
- [9]. Barton, N. R., Lien, R. dan Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, Vol. 6, hal. 189-239. DOI:10.1007/BF01239496
- [10]. Barton, N., Bar, N., 2015. Introducing the Q-Slope Method and its intended use within Civil and Mining Engineering Projects. EUROCK 2015 & 64th Geomechanics Colloquium, Schubert (ed).
- [11]. Barton, N., Bar, N., 2017. The Q-Slope Method for Rock Slope Engineering. Rock Mech Rock Eng. ©Springer-Verlag GmbH Austria 2017.
- [12]. Bemmelen Van, R.W. 1949. The Geology of Indonesia. Martinus Nyhoff, Netherland: The Haque.
- [13]. Bieniawski, T. Z., 1973, Engineering Classification of Jointed Rock Masses,
- [14]. Bieniawski, Z. T. 1989. Engineering Rock Mass Classifications : A Complete Manual for Engineers and Geologist in Mining, Civil and Petroleum Engineering. Wiley-Interscience.
- [15]. Bowles, J.E. 1989. Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. Erlangga. Jakarta
- [16]. Chowdhury, R.N. (1978), Slope Analysis, Elsevier Scientific Publishing Company.
- [17]. Das, M. Braja, dkk, 1994, Mekanika Tanah II. Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis. Jilid 1 dan 2, Erlangga, Jakarta.
- [18]. Deere, D. U. dan Deere, D. W., 1988. The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. Rock Classification Systems for Engineering Purposes, Kirkaldie, L. (Ed.). American Society for Testing and Material: Philadelphia. Hal. 91-101.
- [19]. Ducan, Wyllie, C., dan Christopher W. Mah. 2004. Rock Slope Engineering: Civil and Mining, 4rd. (ed). New York : Spoon Press. London.
- [20]. Dunham, R.J., 1962. Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture, American Association of Petroleum Geologist Memoir 1., 108 – 121.
- [21]. Hirnawan, R. F., 1994, Peran faktor-faktor penentu zona berpotensi longsor di dalam mandala geologi dan lingkungan fisiknya Jawa Barat, Majalah Ilmiah Universitas Padjadjaran, No. 2, Vol. 12, hal. 32-42.
- [22]. Hirnawan, R.F., 1993, Ketanggapan Stabilitas Lereng Perbukitan Rawan Gerakan tanah atas Tanaman Keras, Hujan & Gempa, Disertasi, UNPAD, 302pp.
- [23]. Hoek, E. dan Bray, J. (1981) Rock slope engineering. 3rd Ed. Institution of Mining and Metallurgy.
- [24]. Hoek, E., Brown, E.T., dan Bawden, W.F., 1995. Support of Underground Excavations in Hard Rock. Rotterdam, Balkema.
- [25]. Hudson, J. A. dan Harrison, J. P. 1997. Engineering Rock Mechanics: an Introduction to the Principles. Elsevier Science, Ltd. Kidlington. United Kingdom.
- [26]. Irwandy, Arif., 2016. Geoteknik Tambang, Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [27]. ISRM (1981). Rock Characterization, Testing and Monitoring. International Society for Rock Mechanics, Suggested Methods.
- [28]. ISRM Commission On Testing Methods. 1988. Suggested Methods for Determining the Fracture Toughness of Rock. Great Britain : Pergamon Press plc.
- [29]. Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018, Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik, 7 Mei 2018, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- [30]. Made Astawa Rai, Kramadibrata S., Watimena R. K. 2012. Mekanika Batuan. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

- [31]. Masagus, A.Azizi, dkk., (2012), “Analisis Resiko Kestabilan Lereng Tambang Terbuka”, Prosiding Simposium dan Seminar Geomekanika Ke-1 Tahun 2012, Jakarta.
- [32]. Napurri, Jukka. 1988. Surface Drilling and Blasting. Tamrock
- [33]. Nurhidayat, T. R.I Sophian (2016). Influence Groundwater Levels to Safety Factor of Slope Mining Case Study: Area “X”, South Sumatera Province, Indonesia. Bandung : Seminal Nasional Ke III Fakultas Geologi Universitas Padjadjaran no.1.20
- [34]. Pangular, D., 1985, Petunjuk Penyelidikan & Penanggulangan Gerakan Tanah, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan, Balitbang Departemen Pekerjaan Umum, 233 hal.
- [35]. Pettijohn, F.J. 1975. Sedimentary Rock. New York: Harper and Row
- [36]. Prastyo, R.D dan Hambali, R. 2014. Analisis Potensi Longsor Pada Lereng Galian Timah (Studi Kasus Area Penambangan Timah Di Jelitik, Kabupaten Bangka). Jurnal Fropil. 1 (2): 69-79
- [37]. Romana, M. 1993. A Geomechanical Classification for Slopes : Slope Mass Rating. Comprehensive Rock Engineering, Editor : Hudson, J.A. Pergamon
- [38]. Romana, M., 1985. New Adjustment ratings for application of Bienawski classification to slopes. In International Symposium on the Role of Rock Mechanics. Zacatecas, Mexico.
- [39]. Santosa, F. H Putra dan Cahyono, Y.D, Galih. 2020. Analisis Kestabilan Lereng Berdasarkan Probabilitas Kelongsoran Pada Tambang Di PT Gunung Bale, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur. Kabupaten Malang : PROSIDING, Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan (SEMITAN II). 2 (1) : 423-428.
- [40]. SKR Cosulting, 2010. Ambang Batas Nilai FK dan PK Lereng Tambang Terbuka. <http://www.scribd.com/doc/134464137/probabilitas>
- [41]. Sonmez, H. and Ulusay, R. (1999). Modification to the Geological Strength Index (GSI) and Their Applicability to Stability of Slopes. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 36, 743-760
- [42]. Steffen, O.K.H., Contreras, L.F., Terbrugge, P.J., Venter, J., 2008, “A Risk Evaluation Approach for Pit Slope Design”, the 42nd US Rock Mechanics Symposium and 2nd US-Canada Rock Mechanics Symposium, San Francisco.
- [43]. Sukandarrumidi, (1998), Bahan Galian Industri, Gadjah mada University Press, Yogyakarta.
- [44]. Sukartono (2013) Buku panduan praktikum geologi struktur. Yogyakarta: Sekolah Tinggi Teknologi Nasional.
- [45]. Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. 1990. Applied Geophysics Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press. Trans S. Afr. Inst. Civ. Engrs.