



PREDIKSI VOLUME LONGSORAN TAMBANG TERBUKA NIKEL MENGGUNAKAN METODE KESETIMBANGAN BATAS 3 DIMENSI

Prediction of Material Volume of Slope Failure in Nickel Surface Mine Using Limit Equilibrium Method 3D

Masagus Ahmad Azizi*, Razak Karim², Irfan Marwanza¹, dan Muhammad Kemal Ghifari¹

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi, Universitas Trisakti, Jakarta 11440, DKI Jakarta, Indonesia

²Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Maluku Utara, Jakarta 11440, Ternate, Indonesia

Artikel masuk : September 2019 , Artikel diterima : Oktober 2019, Artikel terbit : November 2019

Kata kunci:
Volume
longsor,
dampak
longsor,
metode
kesetimbangan
batas,
analisis 3D

Keywords:
Volume of
slope
failure,
impact of
slope
failure, limit
equilibrium
method, 3D
analysis

ABSTRAK

PT X TELAH MENGALAMI KEJADIAN LONGSOR YANG MENGAKIBATKAN KEMATIAN DAN CIDERA SEJUMLAH PEKERJA TAMBANG, SERTA TERTIMBUNNYA BEBERAPA ALAT BERAT DALAM KEGIATAN OPERASI PENAMBANGAN YANG DIKIBATKAN OLEH TIMBUNAN MATERIAL LONGSOR DALAM JUMLAH YANG CUKUP BESAR SEHINGGA MENYEBABKAN PERUSAHAAN MENGALAMI KERUGIAN SECARA FINANSIAL. OLEH KARENANYA PENTING PADA OPERASI TAMBANG TERBUKA UNTUK MENGANALISA KESTABILAN RENCANGAN GEOMETRI LERENG DAN MEMPREDIKSI JUMLAH VOLUME LONGSORAN UNTUK MENGANTISIPASI DAMPAK RISIKO KEMATIAN DAN KERUGIAN YANG AKAN DIALAMI OLEH PERUSAHAAN. PENELITIAN INI BERTUJUAN UNTUK MEREKONSTRUKSI TINGKAT KESTABILAN LERENG SEBELUM LONGSOR DAN MEMPREDIKSI VOLUME LONGSOR YANG MUNGKIN AKAN TERJADI DAN MENENTUKAN DAERAH KRITIS LONGSORAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE KESETIMBANGAN BATAS 3 DIMENSI "BISHOP DISEDERHANAKAN", MEMVALIDASI HASIL PREDIKSI DENGAN PERHITUNGAN VOLUME AKTUAL MENGGUNAKAN METODE CUT AND FILL. HASIL PENELITIAN MENUNJUKKAN KONDISI LERENG SEBELUM LONGSOR DALAM KONDISI TIDAK STABIL, VOLUME LONGSORAN AKTUAL SEBESAR 8.629 M³ DAN VOLUME LONGSORAN YANG DIPREDIKSI SEBESAR 10.559 M³ SEHINGGA DIDAPATKAN PERSEN KESALAHAN PERHITUNGAN 18,3% .

ABSTRACT

PTX had an accident of slope failure that caused fatalities and injuries experienced by labor mining, and also some heavy mining equipments buried by materials that causing companies got financial loss. therefore important to analyze the slope stability of surface mining operation, and predicting total volume of slope failure to anticipate the impact of fatalities/ injuries and financial risks. This research aim is to analyze slope stability before failure conditions, predicting volume of slope failure, and determine position of critical zone using limit equilibrium "Simplified Bishop" method 3-dimensional, then doing validation with calculation of actual volume by comparing results of topography maps before and after failure using the cut and fill method. From the result of research, the slope on unstability conditions, actual and predicted volume of slope failure is 8,629 m³ and 10,559 m³, so percent of calculation error is 18.3% .

*Penulis Koresponden: masagus.azizi@trisakti.ac.id

Doi :

PENDAHULUAN

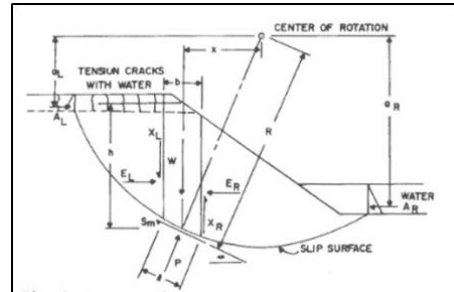
PT X adalah pemegang IUP penambangan bijih nikel yang terletak di kecamatan Weda Utara, kabupaten Halmahera Tengah, provinsi Maluku Utara, Indonesia. Dalam melakukan kegiatan operasi penambangannya, PT X mengalami peristiwa longsor yang terjadi pada daerah pit penambangannya yang sebagian besar disebabkan oleh air hujan yang jatuh keatas permukaan tanah dan kemudian memicu pergerakan material yang ada di atas permukaan lereng dan mengakibatkan terhentinya proses operasi produksi dan mengakibatkan perusahaan mengalami kerugian finansial dalam menangani dampak dari longsor yang terjadi. Tingkat dari dampak longsor yang terjadi sebanding dengan jumlah volume longsor yang terjadi, sehingga sangat penting untuk mengestimasi jumlah volume longsor yang mungkin terjadi untuk memitigasi lereng tambang tersebut, untuk menentukan nilai dari faktor keamanan dan juga mengestimasi jumlah volume longsor digunakan analisis 3 dimensi dengan menggunakan metode kesetimbangan batas (MKB) Bishop Disederhanakan dengan menggunakan tipe slip surface sphere dengan metode pencarian cuckoo search.

Hasil estimasi jumlah volume longsor perlu diuji keakuratannya, untuk itu dilakukan perbandingan pada perhitungan volume aktual longsor menggunakan metode cut and fill pada daerah topografi longsor terhadap jumlah volume prediksi hasil analisis 3 dimensi metode kesetimbangan batas (MKB) pada daerah topografi yang terjadi longsor dari kedua hasil perbandingan tersebut maka akan didapatkan persen kesalahan.

METODE

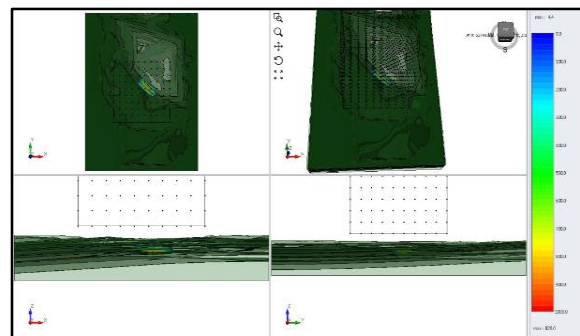
Analisa longsor tipe rotasional dapat menggunakan metode massa ataupun metode irisan. Metode irisan sendiri dapat dibagi menjadi 2 yaitu metode yang memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan momen (Spencer, Morgenstern-Price, dan Kesetimbangan Batas Umum) dan yang tidak memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan momen (Irisan Biasa, Bishop Yang Disederhanakan, dan Janbu Yang Disederhanakan). Metode ini dapat dinyatakan dengan persamaan-persamaan keseimbangan dari satu atau beberapa blok yang diasumsikan tidak terdeformasi, dan mengurangi gaya-gaya yang tidak diketahui (reaksi dari bagian stabil massa batuan atau gaya antara blok), khususnya gaya geser yang bekerja pada permukaan longsor yang dipilih sebelumnya. Dalam metode ini, lereng dibagi dalam beberapa segmen dengan pusat gaya di titik tertentu, kemudian menganalisis gaya yang berkerja pada lereng, saat terjadi longsor dan setiap

bagian pada kondisi keseimbangan statis Lereng akan runtuh karena kuat geser material pada permukaan bidang gelincir tidak cukup untuk menahan tegangan geser aktual.



Gambar 1. Analisis Metode Kesetimbangan Batas

Analisis dengan menggunakan metode Bishop disederhanakan cocok diaplikasikan pada tambang nikel mengingat material pada daerah tersebut cenderung memiliki karakteristik kekuatan seperti tanah sehingga tipe longsor yang paling mungkin adalah longsor busur. Dalam menganalisa kestabilan geometri lereng penting untuk memperhatikan data spasial yaitu lebar lereng untuk mengkoreksi analisis kesetimbangan gaya dan momen yang diproyeksikan hanya pada sumbu vertical dan horizontal pada analisis 2 dimensi, analisis yang dilakukan secara 3 dimensi memasukan data spasial permukaan yang dapat mewakili geometri lereng aktual. Model kestabilan lereng 3 dimensi lebih perspektif dan baik dibandingkan model 2 dimensi, karena analisis yang dilakukan secara 3 dimensi tidak hanya memproyeksikan longsor kearah kaki lereng (toe) secara massive tetapi juga di permukaan, sehingga memungkinkan dalam menganalisis resiko longsor secara menyeluruh dan dapat menentukan daerah mana yang paling kritis. Untuk perhitungan analisis menggunakan metode kesetimbangan batas 3 dimensi bisa dibaca pada (Cheng, Y.M. and Yip, C.J. 2007. Three-Dimensional Asymmetrical Slope Stability Analysis Extension of Bishop's, Janbu's, and Morgenstern-Price's Techniques, ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 133(12), 1544-1555).



Gambar 2. Analisis 3 Dimensi

Volume longsoran adalah sejumlah massa batuan atau tanah yang mengalami perpindahan dan terakumulasi membentuk timbunan akibat adanya proses pelepasan tegangan untuk menemukan keseimbangan baru akibat adanya gangguan yang disebabkan oleh proses penggalian maupun faktor eksternal lainnya. Volume longsoran dapat menjadi indikasi parameter tingkat dampak yang dapat ditimbulkan akibat adanya peristiwa longsoran yang selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan tingkat risiko kelongsoran lereng tambang dalam menentukan zona dan level terendah dari suatu area tambang yang berpotensi paling besar untuk terjadinya peluang longsor.

Risiko kelongsoran lereng tambang dan/atau alami dapat ditentukan berdasarkan nilai probabilitas kelongsoran dikalikan dengan dampak kelongsoran. Matriks risiko yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada modifikasi matriks risiko semi kuantitatif dari DIIS Australia (2016). Contreras dkk (2006), Tapia dkk (2006), Kramadibrata dkk (2012), serta Azizi dkk (2014) telah menelaah mengenai pengukuran risiko lereng tambang terbuka.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel dibawah merupakan data statistik parameter masukan yang diperoleh dari hasil uji laboratorium sifat fisik dan mekanik untuk batuan dan tanah, yang selanjutnya analisis statistik dasar dengan menentukan rata-rata dan standar deviasinya.

Tabel 1 Parameter Statistik Sifat Fisik & Mekanik Saprolite dan Limonite

Jenis Litologi	Parameter Statistik	Berat Spesifik (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	Sudut Gesek Dalam (°)
Limonite	Jenis distribusi	Lognormal	Lognormal	Normal
	Rata-rata	17.1	41.1	15.6
	Sta.Deviasi	2.2	26.6	14.1
	Minimum	12.8	8.8	10.2
	Maksimum	22.2	89.5	38.3
Saprolite	Jenis distribusi	Normal	Lognormal	Normal
	Rata-rata	15.7	38.0	12.5
	Sta.Deviasi	1.01	37.3	3.1
	Minimum	13.7	6.8	7.2
	Maksimum	18.2	75.5	19.4

Tabel 2 Hasil Uji Sifat Fisik & Mekanik Batuan Dasar (Bedrock)

No	Berat Spesifik (kN/m ³)	Uji Geser Langsung	
		C (MN/m ²)	φ der-
1	28.4	3.31	40.5
2	31.0	3.42	41.4
3	29.7	3.08	42.2
4	27.0	3.23	41.7
5	28.3	3.36	43.2
6	29.4	3.22	40.6

Perubahan rona pada permukaan topografi sebelum dan setelah terjadinya longsoran merupakan indikasi adanya pergerakan massa batuan atau tanah yang menjadi bukti terjadinya longsoran. Dalam menentukan volume longsoran aktual yang terjadi pada topografi digunakan metode cut and fill dimana konsep dari perhitungan ini adalah menentukan jumlah perbandingan volume dari data permukaan topografi sebelum dan setelah terjadinya longsoran yang didapatkan dari hasil survey. Dimana pengertian dari cut adalah volume permukaan topografi setelah terjadinya longsor yang terpotong pada permukaan sebelum sehingga dapat dikatakan volume yang tidak berubah, sedangkan fill adalah volume yang tidak terpotong sehingga menjadi isian pada topografi permukaan sebelum longsor. Dalam melakukan perhitungan jumlah volume longsoran aktual dengan metode cut and fill maka dilakukan triangulasi pada permukaan daerah topografi longsoran

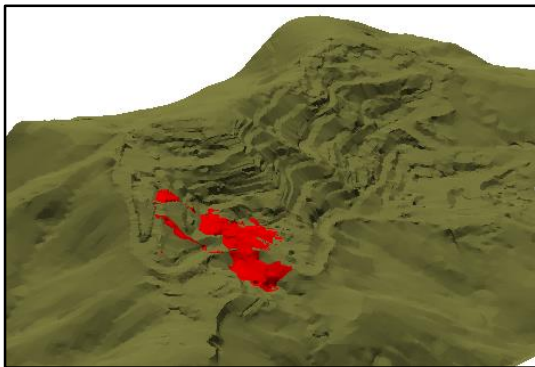


Gambar 3. Triangulasi Sebelum Longsor



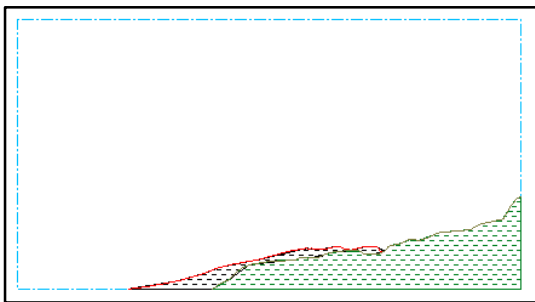
Gambar 4. Triangulasi Setelah Longsor

Gambar 5 dibawah merupakan hasil perbandingan layer hasil trianguasi antara permukaan topografi sebelum dan setelah terjadinya longsor yang ditandakan dengan indikasi perbedaan warna, untuk warna coklat adalah topografi sebelum terjadinya longsor dan warna merah adalah topografi setelah terjadinya longsor. Warna merah merupak fill atau isian yang dapat diasumsikan adalah pergerakan massa tanah atau batuan yang menimbun topografi pada rona awal yang diakibatkan longsor. Dari perhitungan dengan metode cut and fill maka didapatkan volume untuk *cut* adalah sebesar 8.629 m³ dan untuk volume fill adalah 14.668 m³



Gambar 5. Cut And Fill Pit PT X

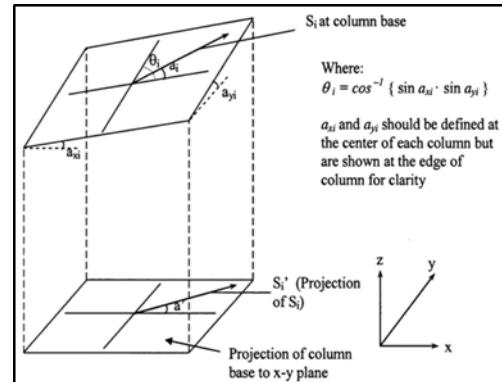
Gambar 6 dibawah adalah penampang 2 dimensi yang ditarik tegak lurus pada daerah topografi longsor dengan indikasi warna merah adalah layer fill dari permukaan timbunan longsor, sedangkan warna hijau adalah layer cut pada permukaan topografi



Gambar 6 Penampang 2 Dimensi Daerah Longsor

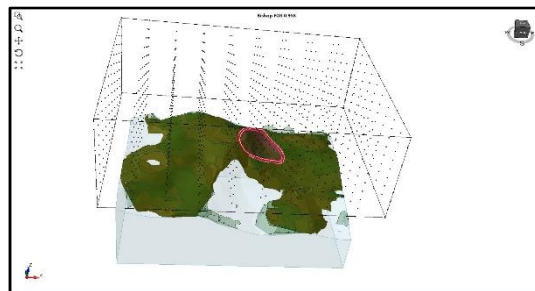
Pendekatan analisis MKB secara 3 dimensi merupakan penyempurnaan dari pendekatan 2 dimensi untuk mendapatkan FK, lokasi potensi longsor dan estimasi perkiraan volume longsor. Untuk slip surface yang pernah dinyatakan dalam Azizi dkk (2019), karena penggunaan Grid Search dalam menentukan slip surface dalam analisis 3 dimensi tidak efektif dan jumlah titik dalam kotak grid menentukan akurasi, Cuckoo Search digunakan pada analisis ini dan dengan menggunakan surface type ellipsoid.

Perhitungan volume prediksi longsor untuk analisis 3 dimensi ditentukan berdasarkan pada jumlah volume tiap irisan yang mengalami slide atau dikatakan tidak stabil sehingga dari total volume tiap irisan ini akan menjadi total volume dengan total berat longsor didapatkan dengan mengalikannya dengan bobot isi dari materialnya.



Gambar 7 Volume column base

Hasil analisis kestabilan lereng 3 dimensi memberikan nilai FK sebesar 0,96 pada daerah topografi longsor dengan posisi daerah kritis berada pada daerah selatan dengan prediksi volume longsor sebesar 10.559 m³ (Gambar 8).



Gambar 8 Analisa kestabilan MKB 3 dimensi menggunakan Cuckoo Search

Dari hasil analisis dengan MKB 3 dimensi didapatkan volume prediksi longsor sebesar 10.559 m³ sedangkan hasil perhitungan volume aktual dengan menggunakan metode cut and fill didapatkan volume longsor aktual sebesar 8.629 m³ sehingga didapatkan perbedaan antara volume prediksi dengan volume aktual yaitu sebesar 1.930 m³ dengan nilai persen kesalahan sebesar 18,27%. Hal ini memberikan arti yang cukup signifikan bagi para praktisi dan pengambil keputusan untuk menjadikan metodologi ini sebagai alternatif. Namun perlu upaya studi tambahan agar hasil ini dapat diterima secara menyeluruh dengan

melakukan kajian yang sama pada beberapa kasus longsoran sejenis.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

- Hasil analisis kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas 3 dimensi "Bishop disederhanakan" menunjukkan lereng sebelum longsor dalam kondisi tidak stabil dengan nilai FK sebesar 0,96.
- Prediksi volume longsoran dengan metode yang sama diperoleh sebesar 10.559 m³ dengan arah longsoran utara-selatan.
- Hasil perhitungan volume longsoran aktual dengan metode cut and fill sebesar 8.629 m³.
- Perbedaan hasil penentuan volume longsoran antara prediksi dan aktual sebesar 1.930 m³ dengan persen kesalahan 18,3%.

Berdasarkan hasil penelitian dapat disarankan bahwa:

- Perlu studi tambahan beberapa kasus longsoran yang telah terjadi untuk dapat digunakan sebagai referensi validitas hasil penelitian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT X yang telah memfasilitasi dalam pengambilan data lapangan, serta Laboratorium Komputasi tambang Prodi Teknik Pertambangan FTKE Universitas Trisakti yang telah memfasilitasi penulis dalam menggunakan perangkat lunak yang digunakan dalam pemodelan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardhi, H.A.; Azizi, M.A.; Marwanza, I.; Hartami, P.N.; Nugroho, B.; Saptono, S. 2017. Perbandingan analisis stabilitas lereng metode kesetimbangan batas dengan metode elemen hingga menggunakan pendekatan probabilistik. *Seminar Nasional Geomekanika 4 (SNG4) Padang*: 179-185.
- Azizi, M.A.; Kramadibrata, S.; Wattimena, R.K.; Sidi, I.D. 2013. Probabilistic analysis of physical models slope failure. *International Symposium on Earth Science and Technology, CINEST 2012, Procedia Earth and Planetary Science* 6: 411-418.
- Purawijaya, J.A. 2017. Analisis Dilusi Gas Karbon Monoksida di Developing Front pada Raise Vertical-Inclined Jalur Lurus Skala

Laboratorium. Tugas Akhir Program Studi Teknik Perterowongan Institut Teknologi Bandung.

- Azizi, M.A.; Marwanza, I.; Kemal, M.G.; Arbi, R.D.;. 2019. Metodologi Pengukuran Tingkat Risiko Kestabilan Lereng Tambang Terbuka. *National Symposium on Geomechanich 5, (WSNG) 2019 Makasar*: 224-231.
- Azizi, M.A.; Marwanza, I.; Hartanti N.A.;.2019. Risk analysis of limestone open pit mine slope stability in Rembang district. *Book of Rock Mechanichs for Natural Resources and Infrastructure Development, 2019* : 228-233.
- Azizi, M.A.; Karim, R.;. 2019. Analisis Stabilitas Lereng Tambang Terbuka Nikel Menggunakan Metode Probabilistik. *National Symposium on Geomechanich 5, (WSNG) 2019 Makasar*: 232-239
- Azizi, M.A.; Kramadibrata, S.; Wattimena, R.K.; Sidi, I.D. 2014. Risk assessment of open pit slope design at PT Adaro Indonesia. *Indonesian Mining Journal* 17 (3): 113-121.
- Saragih, Rogate. 2009. *Penentuan Nilai Koefisien Difusi Gas Karbon Monoksida (CO) pada Simulasi Kebakaran Terowongan di Laboratorium*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Azizi, M.A.; Marwanza, I.; Hartanti, N.A.; Anugrahadi, A. 2018. Three-dimensional slope stability analysis of open pit limestone mine in Rembang District, Central Java. *International Conference on Earth, Science, Mineral and Energy (ICEMINE) 2018, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* (212) 012035, doi:10.1088/1755-1315/212/1/012035.
- Strang, J., Wood, P.M. 1985. *A Manual on Mines Rescue, Safety and Gas Detection*. Australia: Weston & Co.
- Azizi, M.A.; Marwanza, I.; Hartanti, N.A.; Aulianissa, A.; Anugrahadi, A 2019. The influence of number of grid points and radius increments in determining safety factor and estimated sliding volume on three-dimensional slope stability analysis. *The 2nd Mineral Processing and Technology International Conference, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* (478) 012041, doi:10.1088/1757-899X/478/1/012041.
- Cheng, Y.M. and Yip, C.J. 2007. Three-Dimensional Asymmetrical Slope Stability Analysis Extension of Bishop's, Janbu's, and Morgenstern-Price's Techniques, *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(12), 1544-1555. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)10900241\(2007\)133:12\(1544\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)10900241(2007)133:12(1544)).
- Contreras, L.F.; LeSueur, R.; Maran, J. 2006. A case study of risk evaluation at correjon mine. *International Symposium on Stability of Rock Slopes in Open Pit Mining and Civil Engineering, Cape Town, 3-6 April 2006*. Johannesburg: The South African Institute of Mining and Metallurgy.

- Hoek, E..1987. Faktor of Safety and Probability of Failure, Chapter 8 – Practical Rock Engineering.
- Hoek, E..2000. Faktor of Safety and Probability of Failure, Chapter 8 – Practical Rock Engineering (revision).
- Hoek, E..2006. Faktor of Safety and Probability of Failure, Chapter 8 – Practical Rock Engineering (revision).
- Kepmen ESDM No 1827/K/30/MEM/2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik. 2018. Lampiran II Tentang Pedoman Pengelolaan Teknis Pertambangan.
- Kramadibrata, S.; Wattimena, R.K.; Sidi, I.D.; Azizi, M.A. 2012. Open pit mine slope stability and uncertainty. *ISRM Regional Symposium - 7th Asian Rock Mechanics Symposium, Seoul, 15-19 October*. Korea: International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.
- Kramadibrata, S.; Wattimena, R.K.; Sidi, I.D.; Wicaksana, Y.; Azizi, M.a. 2013. Physical modeling and simulation of slope failure by means of centrifuge acceleration. *ISRM International Symposium - EUROCK 2013, Wroclaw, 23-26 October*. Poland: International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.
- Masagus Ahmad Azizi & Rr Harminuke E. Handayani. 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, 26-27 October 2011*. Palembang: Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- Read, J. & Stacey, P. 2009. Guidelines for open pit slope design. Collingwood: CSIRO publishing.
- Tapia, A.; Contreras, L.F.; Jefferies, M.; Steffen, O. 2007. Risk evaluation of slope failure at the chuquicamata mine. In Y Potvin (ed.), *Proceedings of the 2007 International Symposium on Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering, Australian Centre for Geomechanics, Perth*: 477-495.
- Terbrugge, P.J.; Wesseloo, J.; Venter, J.; Steffen, O.K.H. 2006. A risk consequence approach to open pit slope design. *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 106*
- Wattimena, R.K.; Kramadibrata, S.; Sidi, I.D.; Azizi, M.A. 2012. Probabilistic analysis of single bench using new slope stability curves. *ISRM Regional Symposium - 7th Asian Rock Mechanics Symposium, Seoul, 15-19 October*. Korea: International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.
- Wattimena, R.K.; Kramadibrata, S.; Sidi, I.D.; Azizi, M.A. 2013. Developing coal pillar stability chart using logistic regression. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 58 (2013): 55–60.