

Studi Geoteknik pada Lereng Lowwall Pit Lisat PT Teguh Sinar Abadi di Desa Muara Bunyut, Kecamatan Melak, Kabupaten Kutai Barat, Provinsi Kalimantan Timur

Geotechnical Study on Lowwall Slop Lisat Pit PT Teguh Sinar Abadi Muara Bunyut Village, Melak Sub-District, West Kutai District, East Borneo Province

¹Muhamad Iqbal Fauzan Arif, ²Yuliadi, ³Dono Guntoro

^{1,2,3}Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,

Jl. Tamansari No.1 Bandung 40116

Email: ¹Iqbalfauzan3008@gmail.com, ²yuliadi@unisba.ac.id, ³guntoro_mining@yahoo.com

Abstract. PT Teguh Sinar Abadi (PT TSA) is one of coal surface mining in East Borneo. Considering current coal prices, future forecasts and favorable reserves, PT TSA decides to mine in the block of Lisat 2. In order for mining to run optimally, the design of slope geometry covering the angle and height of the slope should be done appropriately in order to stabilize the slope. The stability of the slope is one of the technical aspects of mining that must be considered in the open mining system because it is very influential on other aspects in mining operations. Both technically and economically. Therefore, geotechnical studies are required in the form of slope stability analysis using the Limited Equilibrium Method and Slide probability analysis to obtain the right design so that the slope remains stable and is expected to safely support mining activities. Many factors that influence the stability of the slope, are as follows: Geometry of slope, the height and angle of the slope, Physical-mechanical properties, strength (especially strong shear) and the weight of the mass contents of slope-forming rocks. The general orientation of the structure discontinuity of the slope rock mass to the orientation of the slope of the mine. Groundwater within the mass of slope rock. External factors of the slope system, in the form of external load and / or vibration (earthquake and due to mine blasting). The constituent rocks of the study sites are sedimentary rocks dominated by Siltstone. From the results of laboratory testing, the characteristics of the constituent rocks are categorized into very weak rocks to medium strong rocks. Based on the measurement of groundwater level, the condition of the groundwater level are at a depth of 5-20 meters from the surface. Design pit that has been made, has to redesigned. Because with the geometry, the slope safety factor is in the range of from 0.7 to 1.12 with a probability of 27% -42.7%. The recommended safe geometry for the slopes of the lowwall pit The PT TSA lever is as follows the overall slope angle (OSA) at an angle of 220 or 230 height overall slope at ± 230 meters with safety factor ranging from 1,365 - 1.66 with 0% slope slope probability.

Keywords: Lowwall, Slope Stability, Limited Equilibrium Method

Abstrak. PT Teguh Sinar Abadi (PT TSA) merupakan salah satu tambang terbuka batubara yang berada di Kalimantan timur. Dengan mempertimbangkan harga batubara saat ini dan prakiraan harga kedepan dan jumlah cadangan yang masih menguntungkan, PT TSA memutuskan untuk melakukan penambangan di blok Lisat 2. Agar penambangan berjalan optimal, perancangan geometri lereng yang meliputi sudut dan ketinggian lereng harus dilakukan dengan tepat agar terjadinya kestabilan lereng. Kestabilan lereng adalah salah satu aspek teknis penambangan yang harus diperhatikan pada sistem penambangan terbuka dikarenakan sangat berpengaruh pada aspek lain dalam operasi penambangan. Baik secara teknis dan ekonomis. Maka karena itu, diperlukan adanya studi geoteknik berupa analisis kestabilan lereng dengan menggunakan metode kesetimbangan batas (Limited Equilibrium Method) dan probabilitas kelongsoran untuk memperoleh design yang tepat sehingga lereng tersebut tetap stabil dan diharapkan dapat menunjang kegiatan penambangan dengan aman. Banyak faktor yang berpengaruh terhadap kestabilan lereng, yaitu sebagai berikut: Geometri lereng, yaitu tinggi dan kemiringan lereng. Sifat fisik-mekanik, kekuatan (terutama kuat geser) dan bobot isi massa batuan pembentuk lereng. Orientasi umum struktur diskontinuitas massa batuan lereng terhadap orientasi muka lereng bukaan tambang. Air tanah di dalam massa batuan lereng. Faktor luar sistem lereng, berupa beban luar dan atau getaran (gempa bumi dan akibat peledakan tambang). Batuan penyusun lokasi penelitian adalah batuan sedimen yang didominasi oleh batulanau. Dari hasil pengujian laboratorium, karakteristik batuan penyusun lokasi penelitian termasuk kedalam batuan lemah sekali hingga batuan kuat menengah. Berdasarkan hasil pengukuran muka air tanah, kondisi muka air tanah di lokasi penelitian berada pada kedalaman 5 - 20 meter dari permukaan. Design pit yang sudah dibuat perlu dilakukan redesign karena dengan geometri tersebut, faktor keamanan lereng yang berkisar dari 0.7 – 1.12 dengan probabilitas kelongsoran sebesar 27% - 42.7%. Rekomendasi geometri yang aman untuk lereng

lowwall pit Lisat PT TSA adalah sebagai berikut overall slope angle (OSA) pada sudut 220 atau 230 tinggi keseluruhan lereng pada ± 230 meter dengan faktor keamanan berkisar dari 1.365 – 1.66 dengan probabilitas kelongsoran lereng 0%..

Kata Kunci: *Lowwall, Kestabilan Lereng, Limited Equilibrium Method*

A. Pendahuluan

PT Teguh Sinar Abadi (PT TSA) merupakan salah satu anak perusahaan dari PT Bayan Resource Tbk. yang bergerak di bidang pertambangan batubara di Kalimantan Timur. Sistem penambangan yang digunakan adalah tambang terbuka dengan metode strip mining.

PT TSA telah mengkaji rencana operasi penambangannya. Dengan mempertimbangkan harga batubara saat ini dan prakiraan harga kedepan dan jumlah cadangan yang masih sebesar 15.232.000 ton, PT TSA memutuskan untuk melakukan penambangan di blok Lisat 2.

Agar penambangan berjalan optimal, perancangan geometri lereng yang meliputi sudut dan ketinggian lereng harus dilakukan dengan tepat. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam perancangan geometri lereng adalah karakteristik batuan penyusun lereng baik fisik maupun mekanik, struktur yang muncul, dan pengaruh tekanan air tanah, kegiatan penggalian, pembangunan infrastruktur, penggunaan alat berat dalam pengangkutan material, penggunaan bahan peledak, dan kegiatan lainnya yang dapat mengganggu distribusi gaya pada lereng. Hal-hal tersebut perlu diperhatikan agar terjadinya kestabilan lereng.

Kestabilan lereng adalah salah satu aspek teknis penambangan yang harus diperhatikan pada sistem penambangan terbuka. Lereng-lereng tersebut perlu mendapat perhatian dalam perancangan tambang dikarenakan sangat berpengaruh pada aspek lain dalam operasi penambangan. Baik secara teknis dan ekonomis.

Kestabilan lereng tambang terbuka dipengaruhi oleh gaya-gaya penggerak dan gaya-gaya penahan pada lereng. Apabila gaya penahan lebih besar daripada gaya penggeraknya, maka lereng akan stabil. Sedangkan apabila gaya penggerak lebih besar daripada gaya penahannya maka lereng tidak stabil dan akan terjadi longsor. Perbandingan antara gaya yang menahan dengan gaya yang menggerakkan lereng dikenal dengan istilah Faktor Keamanan (safety factor).

Maka karena itu, diperlukan adanya studi geoteknik berupa analisis kestabilan lereng dengan menggunakan metode kesetimbangan batas dan probabilitas kelongsoran untuk memperoleh design yang tepat sehingga lereng tersebut tetap stabil dan diharapkan dapat menunjang kegiatan penambangan dengan aman.

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui stratigrafi lokasi penelitian.
2. Mengetahui karakteristik fisik dan mekanik batuan lokasi penelitian.
3. Mengetahui kondisi muka air tanah lokasi penelitian.
4. Mengevaluasi Faktor Keamanan design *pit* yang telah direncanakan.
5. Menentukan geometri lereng dengan nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Kelongsoran yang aman untuk lereng *lowwall pit* Lisat.

B. Landasan Teori

Kestabilan Lereng

Kemantapan atau kestabilan suatu lereng tergantung pada besarnya gaya penahan dan gaya penggerak yang terdapat pada bidang gelincirnya. Gaya penahan adalah gaya yang menahan terjadinya suatu longsoran sedangkan gaya penggerak

merupakan gaya yang menyebabkan terjadinya longsoran. Kestabilan suatu lereng dapat dinyatakan dengan nilai Faktor Keamanan (FK) yang merupakan perbandingan antara gaya penahan dengan gaya penggerak. (Bagus Wiyono, 2006).

Banyak faktor yang berpengaruh terhadap stabilitas atau kelongsoran lereng, yang menurut penulis (Gde Suratha), dapat dikelompokkan menjadi 5 faktor utama, yaitu sebagai berikut:

1. Geometri lereng, yaitu tinggi dan kemiringan lereng.
2. Sifat fisik-mekanik, kekuatan (terutama kuat geser) dan bobot isi massa batuan pembentuk lereng.
3. Orientasi umum struktur diskontinuitas massa batuan lereng terhadap orientasi muka lereng bukaan tambang.
4. Adanya air tanah di dalam massa batuan lereng.
5. Faktor Luar Sistem Lereng

Analisis Kesetimbangan Batas

Metode kesetimbangan batas merupakan metode yang sangat populer untuk digunakan dalam menganalisis kestabilan lereng tipe gelinciran transisional dan rotasional. Metode ini relative sederhana, mudah digunakan, serta telah terbukti keandalannya dalam praktik rekayasa selama bertahun-tahun. Pada metode ini, perhitungan analisis kestabilan lereng hanya menggunakan kondisi kesetimbangan statik dan mengabaikan adanya hubungan tegangan-regangan pada lereng. Asumsi lainnya, yaitu geometri lereng dari bidang runtuh, harus diketahui dan ditentukan terlebih dahulu. Kondisi kestabilan lereng dalam metode kesetimbangan batas dinyatakan dalam indeks faktor keamanan. Faktor keamanan dihitung menggunakan kesetimbangan gaya, kesetimbangan momen, atau menggunakan kedua kondisi kesetimbangan tersebut, tergantung metode perhitungan yang dipakai.

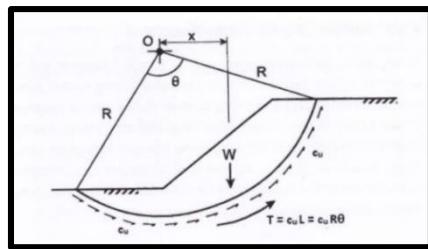
Untuk lereng tanah atau lereng batuan lemah, longsoran terjadi umumnya karena gaya penahan di sepanjang bidang runtuh tidak mampu menahan gaya geser yang bekerja. Pada kasus ini, biasanya bidang runtuh berupa sebuah busur lingkaran atau berupa bidang lengkung. Metode kesetimbangan batas merupakan metode yang sangat populer untuk tipe longsoran tersebut. Secara umum metode untuk menganalisis longsoran tipe rotasional dapat dibagi menjadi dua, yaitu metode massa dan metode irisan. Metode analisis kestabilan lereng terbagi menjadi 2 metode yaitu:

1. Metode Massa

Pendekatan yang digunakan dalam metode ini ialah massa di atas bidang runtuh dianggap sebagai sebuah benda kaku, bidang runtuh dianggap berupa sebuah busur lingkaran, dan parameter kekuatan geser hanya ditentukan oleh kohesi. Metode ini sangat cocok digunakan pada lereng dengan material lempung.

Faktor keamanan lereng merupakan perbandingan antara momen penahan dan momen guling, yang dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut

$$FK = \frac{\text{Momen Penahan}}{\text{Momen Guling}} = \frac{c_u R^2 \theta}{Wx}$$

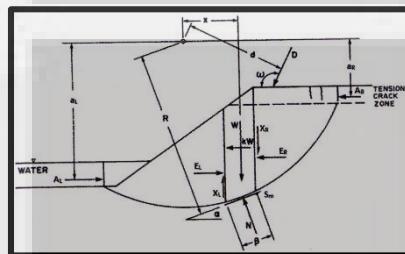
**Gambar 1.** Metode Massa

Sumber: Frendlund, Krahn dan Pufahl, 2004

2. Metode Irisan

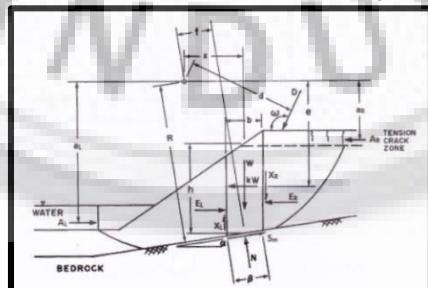
Salah satu karakteristik metode irisan yaitu geometri dari bidang gelinciran harus ditentukan atau diasumsikan terlebih dahulu. Untuk menyederhanakan perhitungan, bidang runtuh biasanya dianggap berupa sebuah busur lingkaran, gabungan busur lingkaran dengan garis lurus, atau gabungan dari beberapa garis lurus. Sketsa model lereng untuk bidang runtuh yang berupa sebuah busur lingkaran dan bidang runtuh gabungan diperlihatkan pada gambar dibawah.

Setelah geometri dari bidang runtuh ditentukan, massa di atas bidang runtuh dibagi menjadi sejumlah irisan tertentu. Tujuannya untuk mempertimbangkan adanya variasi kekuatan geser dan tekanan air pori sepanjang bidang runtuh. Langkah selanjutnya adalah menghitung data-data untuk setiap irisan. Dengan menggunakan data-data pada setiap irisan, besarnya faktor keamanan dapat dihitung menggunakan persamaan kesetimbangan.

**Gambar 2.** Model Lereng dengan Bidang Runtuh yang Berbentuk Busur Lingkaran

Sumber: John Krahn, 2004

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^n [c'\beta + (N - u\beta)\tan\phi']R}{\sum_{i=1}^n [WR \sin\alpha + kW(R \cos\alpha - h_c)] \pm [Dd] \pm [Aa]}$$

**Gambar 3.** Model Lereng dengan Bidang Runtuh Gabungan dari Sebuah Busur dengan Bidang Planar

Sumber: John Krahn, 2004

$$SF_F = \frac{\sum_{i=1}^n [c'\beta + (N - u\beta)\tan\phi']R}{\sum_{i=1}^n [Wx + kW e - Nf] \pm [Dd] \pm [Aa]}$$

Dimana:

- W = total massa dari sebuah bidang irisan yang memiliki lebar b dan tinggi h (Kg)
- N = total gaya normal yang bekerja pada dasar bidang irisan (N)
- S_m = gaya geser yang bekerja pada dasar setiap bidang irisan (N)
- E = gaya normal yang bekerja di antara bidang irisan (*interslice*); L dan R menunjukkan sisi kiri dan kanan sebuah bidang irisan (N)
- X = gaya geser yang bekerja di antara bidang irisan (*interslice*); L dan R menunjukkan sisi kiri dan kanan sebuah bidang irisan (N)
- D = beban eksternal (N)
- kW = beban seismik horizontal yang melalui titik tengah setiap bidang irisan (N)
- R = jari-jari bidang gelincir (meter)
- x = jarak horizontal garis tengah setiap bidang irisan ke pusat rotasi (meter)
- d = jarak tegak lurus dari garis beban (D) menuju pusat rotasi (meter)
- A = resultan gaya eksternal akibat air; L dan R menunjukkan sisi kiri dan kanan sebuah bidang irisan (N)
- a = jarak tegak lurus dari resultan gaya eksternal akibat air (A) menuju pusat rotasi (meter)
- ω = sudut yang dibentuk antara garis horizontal dan garis beban (D) (0)
- α = sudut yang dibentuk antara garis horizontal dan tangen dari dasar bidang irisan (0)

Metode Perhitungan Probabilitas Kelongsoran

Metode yang paling banyak digunakan dalam perhitungan probabilitas kelongsoran (PK) adalah metode kesetimbangan batas dengan simulasi Monte Carlo. Berikut ini dijelaskan perhitungan PK berdasarkan metode ke-setimbangan batas dengan simulasi Monte Carlo. Simulasi Monte Carlo merupakan metode yang banyak digunakan pada analisis probabilitas. Metode ini sangat berguna dalam pemecahan permasalahan yang berkaitan dengan variabel acak. Selain sederhana, metode ini juga lebih fleksibel dalam menggabungkan suatu varietas distribusi probabilitas yang cukup besar tanpa banyak penafsiran serta memiliki kemampuan untuk memodelkan korelasi di antara variabel dengan mudah (Hammah dan Yacoub, 2009). Pada metode kesetimbangan batas (limit equilibrium method) nilai FK merupakan rasio antara gaya penahan dan gaya penggerak, di mana masing-masing parameter merupakan fungsi dari variabel acak yang bersifat tak tentu (uncertain) dan berdistribusi probabilitas tertentu. Oleh karena itu, penggunaan simulasi Monte Carlo sangat cocok untuk menyelesaikan permasalahan ketidakpastian pada nilai FK hingga akhirnya akan didapatkan nilai probabilitas kelongsoran. Stacey (2009) membuat hubungan sederhana untuk kriteria probabilitas kelongsoran pada lereng tambang

Tabel 1. Kriteria PK pada Lereng Tambang Stacey (2009)

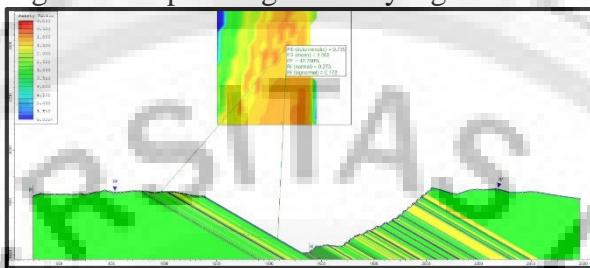
Jenis Lereng	Dampak Kelongsoran	FK min		PK maks
		Statik	Dinamik	
Tunggal/Jenjang (<i>Bench</i>)	Rendah ke Tinggi	1.1	NA	25-50%
Multi Jenjang (<i>Interramp</i>)	Rendah	1.15 – 1.2	1	25%
	Sedang	1.2	1	20%
	Tinggi	1.2-1.3	1.1	10%
Keseluruhan (<i>Overall</i>)	Rendah	1.2-1.3	1	15% – 20%
	Sedang	1.3	1.05	5% - 10%
	Tinggi	1.3 – 1.5	1.1	<5%

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hasil Analisis Kesabilan Lereng Dengan Design Awal

Dengan menggunakan geometri lereng *lowwall* yang didapatkan dari design pit yang telah dirancang oleh PT TSA, yang meliputi sudut kemiringan lereng 30° , elevasi lantai tambang -190 Mdpl dan tinggi = 217.754 meter. Dari Beberapa simulasi yang telah dilakukan, didapatkan FK terendah adalah 0.7 dengan probabilitas kelongsoran 42.7%.

Maka dapat dinyatakan bahwa design pit yang dirancang oleh PT TSA perlu dilakukan redesign agar mendapatkan geometri yang aman.



Gambar 4. Hasil Analisis Kestabilan Lereng *Lowwall* Design Awal

Hasil Analisis Kesabilan Lereng dengan Redesign Pit

Sehubungan dengan tidak amannya design pit yang sudah dirancang, maka perlu dikakukannya redesign geometri lereng. Berikut adalah hasil simulasi redesign geometri lereng:

Tabel 2. Hasil Analisis Kesetimbangan Batas Lereng *Lowwall*

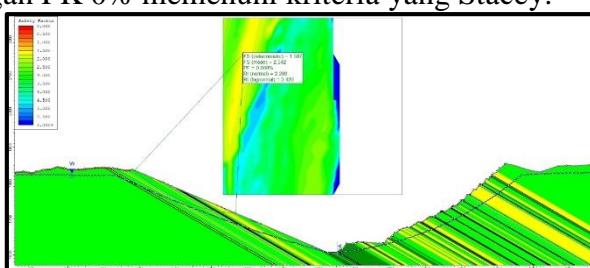
LONGSORAN BIDANG						LONGSORAN BUSUR					
SUDUT ...°	TINGGI m	MAT AKTUAL		MAT JENUH		MAT AKTUAL		MAT JENUH			
		FK	PK (%)	FK	PK (%)	FK	PK (%)	FK	PK (%)	FK	PK (%)
30	217.754	1.129	27.007	0.905	33.8	0.95	24.4	0.735	42.7		
29	216.762	1.146	14.433	0.986	25.1	1.035	12.6	0.753	36.5		
28	217.885	1.179	20.44	1.032	24.3	1.105	6.5	0.825	21.5		
27	223.516	1.205	20.6	1.164	17.3	1.165	2.2	0.938	5.5		
26	231.001	1.239	14.114	1.224	10.6	1.205	0.8	1.072	0.5		
25	232.723	1.296	4.4	1.25	4.6	1.294	1.5	1.141	0		
24	232.758	1.435	3.303	1.277	2.1	1.368	0	1.269	0		
23	231.41	1.58	0	1.386	0	1.307	0	1.365	0		
22	230.715	1.66	0	1.44	0	1.572	0	1.433	0		

Keterangan:

: Longsor

: Rekomendasi

Setelah dilakukannya simulasi kestabilan lereng, maka geometri lereng yang direkomendasikan adalah sebagai berikut: sudut 23° dengan tinggi lereng 231.41 meter. Karena dari semua simulasi analisis kestabilan lereng, Fk yang didapat yang berkisar dari 1,365-1,58 dengan PK 0% memenuhi kriteria yang Stacey.



Gambar 5. Rekomendasi Geometri Lereng *Lowwall*

D. Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:
2. Batuan penyusun lokasi penelitian adalah batuan sedimen yang didominasi oleh batulanau.
3. Dari hasil pengujian laboratorium, karakteristik batuan penyusun lokasi penelitian termasuk kedalam batuan lemah sekali hingga batuan kuat menengah.
4. Berdasarkan hasil pengukuran muka air tanah, kondisi muka air tanah di lokasi penelitian berada pada kedalaman 5 - 20 meter dari permukaan.
5. Design pit yang sudah dibuat perlu dilakukan redesign karena dengan geometri tersebut, faktor keamanan lereng yang berkisar dari 0.7 – 1.12 dengan probabilitas kelongsoran sebesar 27% - 42.7%.
6. Rekomendasi geometri yang aman untuk lereng lowwall pit Lisat PT TSA adalah sebagai berikut overall slope angle (OSA) pada sudut 220 atau 230 tinggi keseluruhan lereng pada ± 230 meter dengan faktor keamanan berkisar dari 1.365 – 1.66 dengan probabilitas kelongsoran lereng 0%.

E. Saran

1. Hendaknya untuk penelitian selanjutnya Sebaiknya dilakukan analisis di section lainnya agar lebih mewakili. Section yang ideal berjarak tiap 100 meter
2. Hendaknya penelitian selanjutnya dapat mengukur muka air tanah dengan berkala lalu melakukan analisis probabilistic kedalaman muka air tanah agar penentuan kedalaman muka air tanah lebih akurat
3. Hendaknya dilakukan pemantauan lereng ketika kegiatan penambangan dilakukan.

Daftar Pustaka

- Arief, Saifuddin. 2007. "Metode-Metode Dalam Analisis Kestabilan Lereng".
- Arif, Irwandy, 2016, "Geoteknik Tambang", Gramedia, Bandung.
- Athanasiou-Grivas, D. 1980. "A Reliability Approach to The Design of Geotechnical Systems", Rensselaer Polytechnic Institute Research Paper, Transportation Research Board Conference, Washington.
- Chowdhury, R.N. and Xu, D. W., 1984, "Recent Development in Landslide Studies: Probabilistic Method – State of Art Report", Proceeding of the 4th International Symposium of Landslides, Toronto Vol.1 pp.209-228.
- Djarwadi, Didiek. 2012. "Pengantar Geoteknik PT. Pamapersada Nusantara", PT. Pamapersada Nusantara.
- Fredlund, D.G., J. Krahn and D.E. Pufahl. 2004. "The Relationship between Limit Equilibrium Slope Stability Method", Dept. of Civil Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.
- Giani, G. P., 1992, "Rock Slope Stability Analysis", Rotterdam: Balkema.
- Hoek, E. and Bray, J.W. 1981. "Rock Slope Engineering", Institution of Mining and Metallurgy, London.
- International Society for Rock Mechanics. 1981. "Rock Characterization, Testing, and Monitoring" Ed. E. T. Brown. Pengamon: Oxford.
- Krahn, J. 2004. "Stability Modeling with SLOPE/W", 1st Edition, GEOSLOPE/W International, Ltd. Canada.

- Kosim, Ginan Ginanjar, 2015," Analisis Balik Longsoran Lowwall Pit B3 di Tambang Batubara PT. BJA Menggunakan Metode Probabilistik Monte Carlo", Universitas Islam Bandung.
- Li, K.S. and Lumb, P., 1987 "Probabilistic Design of Slopes", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 24, pp.520-535.
- Putra, Ade Kurniawan. 2013. "Studi Geoteknik Lereng Lowwall Tambang PT Batu Rantau Energi Kalimantan Selatan", Insitut Teknologi Bandung
- Rai, M.A., Kramadibrata, S., Wattimena, R.K.,2014." Mekanika Batuan", Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang – ITB.
- Read, J. and Stacey, P. 2009. "Guidelines for Open Pit Slope Design", CSIRO Publishing, Australia.
- Rocscience. "2D Limit Equilibrium Slope Stability Analysis", <http://rocsience.com/products/8/Slide>. Diakses pada 19 November 2017
- Suratha, Gde. 1994, "Kemantapan Lereng", Direktorat Jendral Pertambangan Umum Pusat Pengembangan Tenaga Pertambangan, Bandung.
- Tapia, A., Contreras, L.F., Jefferies, M.G., and Steffen, O. 2007. "Risk Evaluation of Slope Failure at Chuquicamata Mine", Int. Symp. Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering, 2007.Perth. Australian Centre for Geomechanics.
- Thompson and Turk, 1997, "Introduction to Physical Geology", Published Brooks Cole, 371h.
- West, Terry, R. 1995, "Geology Applied to Engineering", Waveland Press Inc, USA, 560h.
- Wiyono, Bagus, dkk., 2006, "Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan Jenjang pada Dinding Akhir Penambangan"m PERHAPI, Jakarta.
- Wyllie, Duncan C. & W. Mah, Christopher, 2004, "Rock Slope Engineering 4th Edition Civil and Mining (Based on 3rd Edition by E. Hook & J. Bray)", Spon Pres, London and New York.