

Analisis Baloklongsoran *Lowwall* Pit B3 di Tambang Batubara PT BJA menggunakan Metode Probabilistik *Monte Carlo*

¹Ginan Ginanjar Kosim, ²Maryanto, ³Dono Guntoro

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

Jl. Tamansari No. 1 Bandung 40116

email: ¹ginan_ginanjarkosim@yahoo.com

Abstrak. Penelitian Back Analysis pada longsor busur di Low wall Pit B3 tambang batubara PT Beringin Jaya Abadi di Desa Sungai Payang, Dusun Beruak, Kecamatan Loa Kulu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur dilakukan dengan metode Probabilistik Monte Carlo. Data awal untuk analisis balik yang digunakan adalah hasil uji sifat mekanik batuan, klasifikasi massa batuan dengan metode RMR dan GSI. Hasil yang didapat dari pemetaan geoteknik ini adalah nilai RMR (Rock Mass Rating) = 26 (Poor Rock); nilai Geological Strength Index (GSI) = 32 (Poor Surface Condition). Data awal nilai parameter kekuatan batuan untuk analisis balik yaitu batuan Mudstone 1 : Kohesi_{min-max} 33.56-258.41 kN/m² dan sudut geser dalam_{min-max} 1.65⁰-14.21⁰; Mudstone 2 : Kohesi_{min-max} 42.24-352.73 kN/m² dan sudut geser dalam_{min-max} 2.95⁰-24.12⁰; Mudstone 3 : Kohesi_{min-max} 40.83-268.02 kN/m² dan sudut geser dalam_{min-max} 2.05⁰-16.59⁰. Hasil yang didapatkan dari analisis balik untuk batuan Mudstone 1 : kohesi 144 kPa dan sudut geser dalam 8.04⁰; Mudstone 2 : kohesi 134.2 kPa dan sudut geser dalam 17.85⁰; Mudstone 3 : kohesi 124.9 kPa dan sudut geser dalam 11.21⁰. Berdasarkan hasil simulasi untuk lereng Low Wall diperoleh geometri yang direkomendasikan yaitu Overall Slope Angle (OSA) 20⁰-25⁰, tinggi lereng keseluruhan ± 47 meter disertakan dengan penanggulangan untuk air berupa paritan dan saluran keliling.

Kata Kunci : RMR, GSI, Probabilistik Monte Carlo, & Analisis Balik.

A. Pendahuluan

PT Beringin Jaya Abadi merupakan salah satu tambang terbuka batubara di Kalimantan Timur yang menggunakan metode penambangan *strip mining*. Optimalisasi produksi penambangan di wilayah pertambangan ini akan dapat dicapai jika proses penambangan yang telah direncanakan berjalan dengan lancar.

Salah satu proses dari kegiatan penambangan yang dapat mengganggu kelancaran produksi yaitu terjadinya kelongsoran. Faktor-faktor penyebab longsor dapat berupa faktor internal yang meliputi geometri lereng, struktur geologi, kondisi air tanah serta faktor eksternal berupa beban dinamik akibat alat-alat tambang, serta akibat adanya ketidakpastian parameter geoteknik yang digunakan dalam desain lereng (Bowles, 1983).

Sehubungan dengan kelongsoran yang terjadi pada *lowwall* Pit B3, PT Beringin Jaya Abadi memutuskan perlu melakukan kajian geoteknik untuk menilai apakah penambangan masih memungkinkan untuk dilanjutkan sampai tahap akhir.

Oleh karena itu diperlukan kajian analisis balik mengenai keterlibatan faktor penyebab longsor untuk memperoleh desain lereng yang stabil sehingga kegiatan operasional penambangan dapat berjalan dengan aman. Dikarenakan kestabilan lereng yang tidak terkendali dapat berdampak pada dua faktor yaitu faktor sosial / keselamatan dan faktor ekonomi (Read & Stacey, 2009).

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui klasifikasi massa batuan pada dinding tambang yang longsor, mengetahui nilai parameter geoteknik pada dinding tambang berdasarkan hasil analisis balik dengan metode probabilistik *Monte Carlo*,

merekomendasikan geometri lereng *Low Wall* yang stabil dan aman, dan merekomendasikan penanggulangan pada dinding tambang yang longsor.

B. Landasan Teori

Kelongsoran Lereng

Longsor merupakan pergerakan massa batuan atau tanah yang menggelincir karena pengaruh secara langsung dari gaya gravitasi (West, 1995). Jadi, longsor terjadi akibat terganggunya kestabilan lereng tersebut sehingga mengalami pergerakan untuk mencapai kesetimbangan. Hoek dan Bray (1981) menyebutkan kestabilan lereng akan tercapai jika gaya penahan longsor lebih besar daripada gaya penggerak longsor. Ada beberapa jenis longsor yang umum dijumpai pada massa batuan di tambang terbuka (Hoek and Bray, 1981) yaitu longsor bidang, longsor baji, longsor guling, dan longsor busur.

Kestabilan Lereng

Kemantapan atau kestabilan suatu lereng tergantung pada besarnya gaya penahan dan gaya penggerak yang terdapat pada bidang gelincirnya. 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, menurut Gde Suratha (1994), dapat dikelompokkan menjadi 5 faktor utama, yaitu geometri lereng, sifat fisik-mekanik batuan, orientasi umum struktur diskontinuitas, adanya air tanah di dalam massa batuan, dan faktor luar sistem lereng.

Klasifikasi Massa Batuan

Pada dasarnya pembuatan klasifikasi massa batuan bertujuan (Bieniawski, 1989) untuk mengidentifikasi parameter-parameter penting yang mempengaruhi perilaku massa batuan, membagi formasi massa batuan kedalam grup yang mempunyai perilaku sama menjadi kelas massa batuan, memberikan dasar-dasar untuk pengertian karakteristik dari setiap kelas massabatuan, menghubungkan pengalaman dari kondisi massa batuan di satu lokasi dengan lokasi lainnya, mengambil data kuantitatif dan pedoman untuk rancangan rekayasa (engineering), dan memberikan dasar umum untuk kemudahan komunikasi diantara para insinyur dan geologiwan. Parameter utama yang harus dikumpulkan untuk mendukung klasifikasi sistem RMR, yaitu *Strength of Intact Rock*, *RQD*, *Spacing of Discontinuities*, *Condition of Discontinuities*, dan *Groundwater Condition*.

Dengan menggunakan klasifikasi massa batuan akan diperoleh paling tidak tiga keuntungan bagi perancangan kemantapan lereng (Bieniawski, 1989) yaitu meningkatkan kualitas hasil penyelidikan lapangan dengan data masukan minimum sebagai parameter klasifikasi, memberikan informasi/data kuantitatif untuk tujuan rancang, dan penilaian rekayasa dapat lebih baik dan komunikasi lebih efektif pada suatu proyek.

Menaksir Kekuatan Massa Batuan dengan *Geological Strength Index (GSI)*

GSI adalah sebuah tabel panduan untuk mengukur tingkat kekuatan massa batuan berdasarkan penampakan visual lereng. Metode ini dikembangkan oleh Hoek dan Brown. Untuk menentukan parameter massa batuan dengan pendekatan Mohr-Coulomb, maka Hoek bersama Rocscience mengembangkan sebuah perangkat lunak (software) yang disebut *RocLab* untuk menentukan Kohesi (c_M) dan Sudut geser dalam (ϕ_M) massa batuan yang dapat digunakan untuk analisis kemandapan lereng menggunakan Metode Kestimbangan Batas (LEM). Selain itu dapat dihasilkan juga modulus deformasi massa batuan (E_M), dimana parameter ini digunakan untuk analisis menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM).

Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Kestimbangan Batas

Analisis kestimbangan batas merupakan metode analisis kestimbangan dari massa yang berpotensi bergerak dengan membandingkan gaya penggerak dan gaya penahan sepanjang bidang gelincir longsor. Perbandingan kedua gaya tersebut akan menghasilkan nilai faktor keamanan (FK) lereng, yang kondisi batas kestimbangan akan dicapai saat nilai $FK = 1$ (de Vallejo dan Ferrer, 2011). Nilai FK pada suatu lereng merupakan nilai terkecil hasil perhitungan pada semua bidang gelincir yang berpotensi menghasilkan longsor pada lereng tersebut. Metode kestimbangan batas dapat diklasifikasikan menjadi 2, yaitu metode analisis yang menggunakan total blok atau total massa dan metode analisis dengan menggunakan massa yang dibagi menjadi beberapa irisan (*slices*).

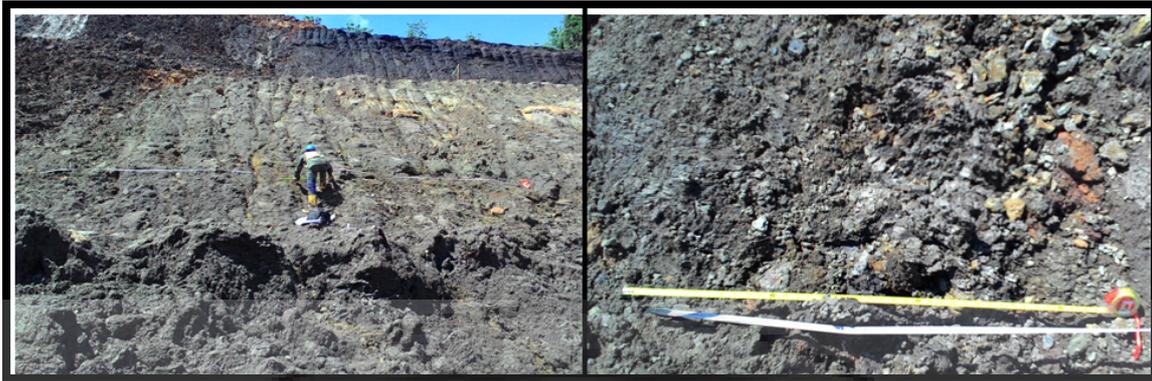
Analisis Probabilistik Monte Carlo dalam Metode Kestimbangan Batas

Fungsi distribusi probabilitas menggambarkan penyebaran suatu variabel acak yang digunakan untuk memperkirakan nilai probabilitas kemunculan suatu parameter. Fungsi distribusi probabilitas memiliki sifat-sifat penyebaran yang khas dan unik yang menjadikan fungsi yang satu akan berbeda dengan fungsi yang lainnya. Tetapi hal ini tidak menutup kemungkinan bahwa suatu fungsi distribusi merupakan turunan dari fungsi yang lainnya. Dalam metode kestimbangan batas dapat menunjukkan beberapa nilai yaitu SF (*Safety Factor*), PF (*Probability Failure*), dan RI (*Reliability Index*).

C. Hasil Penelitian

Metode RMR dan GSI

Penyelidikan geoteknik yang dilakukan yaitu pemetaan geoteknik menggunakan klasifikasi massa batuan berdasarkan RMR (*RockMassRating*) dan GSI (*GeologicalStrengthIndex*). Pemetaan tersebut dilakukan pada area yang sudah tersingkap atau terbuka, di area *Low Wall*. Metode ini dilakukan pada daerah jenjang yang longsor sepanjang 80 meter dengan pengambilan sampel data per meter setiap 10 meter. Hasil dari kegiatan ini yaitu klasifikasi massa batuan berdasarkan Bieniawski (1989) dan klasifikasi keadaan permukaan menggunakan *Geological Strength Index* berdasarkan Hoek Brown (1997).



Gambar 1. Foto Pemetaan Geoteknik di Dinding Low Wall

Tabel 1. Rata-rata Hasil Pemetaan Geoteknik

Parameter	Line (m)	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	Rata-rata
	Total Rating									
- Basic RMR '89		26	26	26	26	26	26	26	26	26.00
- Basic RMR '89 (dry)		37	37	37	37	37	37	37	37	37.00
- GSI		32	32	32	32	32	32	32	32	32.00
Klasifikasi										
- Basic RMR		Poor Rock								
- Basic RMR (dry)		Poor Rock								
- GSI	Surface	Fair								
	Structure	Disintegrated								
Cohesion (MPa)		0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208	0.208
Friction Angle (°)		29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32

Dari hasil penyelidikan geoteknik yang berupa nilai GSI dan RMR dapat diperkirakan untuk nilai kohesi, sudut geser dalam, Elastisitas Modulus dan perkiraan nilai UCS menggunakan *Rocklab* adalah sebagai berikut :

- Nilai kohesi yaitu 0.208 MPa
- Nilai sudut geser dalam yaitu 29.32⁰
- Nilai Modulus Elastisitas yaitu 1145.24 MPa
- Nilai *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) yaitu 0.385 Mpa

Hasil Uji Laboratorium

Kegiatan sampling geoteknik yang dilakukan pada tahun 2011 bertujuan untuk mendapatkan sampel tidak terganggu (*undisturbed sample*) untuk diuji di laboratorium. Hasil uji laboratorium seperti pada tabel 2.

Tabel 2 Hasil Uji Laboratorium Sampel Titik Bor GT-01

No	Kode Sampel	Kedalaman (m)	Litologi	Natural Density (γ _n)	Saturated Density (γ _s)	Compression Strength (MPa)	Elastisitas Modulus (MPa)	Void Ratio	Tensile Strength (MPa)	Cohesion (MPa)		Friction Angle (°)	
										Peak	Residu	Peak	Residu
1	GTS_02	16.07-16.57	Mudstone	1.978	2.133	0.64	1.18	0.28	0.03	0.24	0.2	13.4	11.3
2	GTS_04	25.54-25.94	Sandstone	2.123	2.224	0.87	1.781	0.37	0.04	0.29	0.28	17.8	8.5
3	GTS_06	37.54-38.04	Mudstone	1.989	2.014	1.12	1.432	0.32	0.03	0.33	0.31	22.5	6.3
4	GTS_08	69.29-69.79	Mudstone	1.952	2.022	0.71	1.44	0.21	0.02	0.25	0.2	16	11.3
5	GTS_10	79.88-80.38	Mudstone	1.923	2.035	0.6	1.975	0.38	0.04	0.25	0.23	8.7	6.1
6	GTS_11	84.43-84.93	Mudstone	1.874	2.048	0.77	1.653	0.31	0.03	0.23	0.2	22.2	8.1

Beban Dinamis

Beban dinamis daerah penyelidikan terdapat pada kawasan rawan bencana gempa bumi sangat rendah (< 0.1 g) (USGS, 2008) dan terdapat pada skala II-V Mercalli Modify Intensity (MMI) (Kertapati dkk., 2001) sehingga percepatan gempa untuk daerah penelitian yaitu sebesar 0.05 g

Analisis Kesetimbangan Batas

Analisis kesetimbangan batas ini menggunakan beberapa pendekatan analisis diantaranya yaitu beban dinamik berupa pengaruh kegempaan sebesar 0.05 g, karakteristik material menggunakan hasil analisis balik, muka air tanah menggunakan kondisi MAT 1, MAT 3, dan MAT 5 menurut Hoek and Bray (1981), kriteria kemantapan $FK \Rightarrow 1.3$, dan konsep pemodelan dikaji pada longsor di *Low Wall* yang dibagi menjadi 2 tahapan yaitu analisis balik dan merevisi geometri lereng rencana.

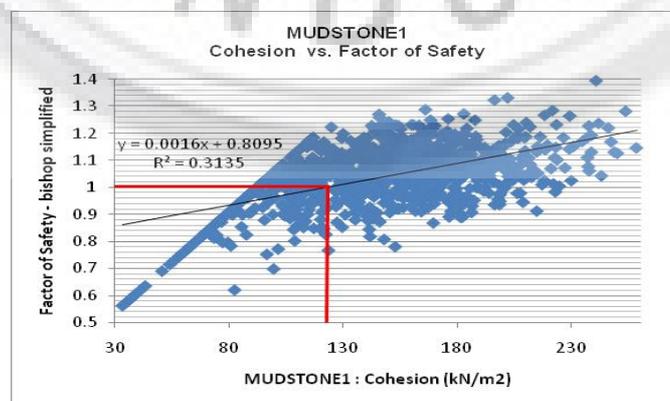
1. Analisis Balik Menggunakan Probabilistik Monte Carlo

Probabilistik Monte Carlo digunakan dalam analisis balik guna mengetahui nilai parameter geoteknik batuan pada saat longsor. Pemodelan dan analisis balik ini bertujuan untuk menentukan dan memverifikasi parameter geoteknik input yang mewakili dari suatu areal lereng bukaan tambang dengan cara memanfaatkan suatu kasus kelongsoran yang pernah terjadi pada areal tersebut. Analisis Probabilistik ini dilakukan dengan 1000 sampel data untuk setiap parameter geoteknik (kohesi dan sudut geser dalam) yang dicari dengan data awal seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Data Awal Probabilistik

Material	Mudstone 1		Mudstone 2		Mudstone 3	
	Cohesion	Friction Angle	Cohesion	Friction Angle	Cohesion	Friction Angle
min	33.56	1.65	42.24	2.95	40.83	2.05
max	258.41	14.21	352.73	24.12	268.02	16.59
stdev	39.80	2.22	53.00	3.61	41.70	2.67

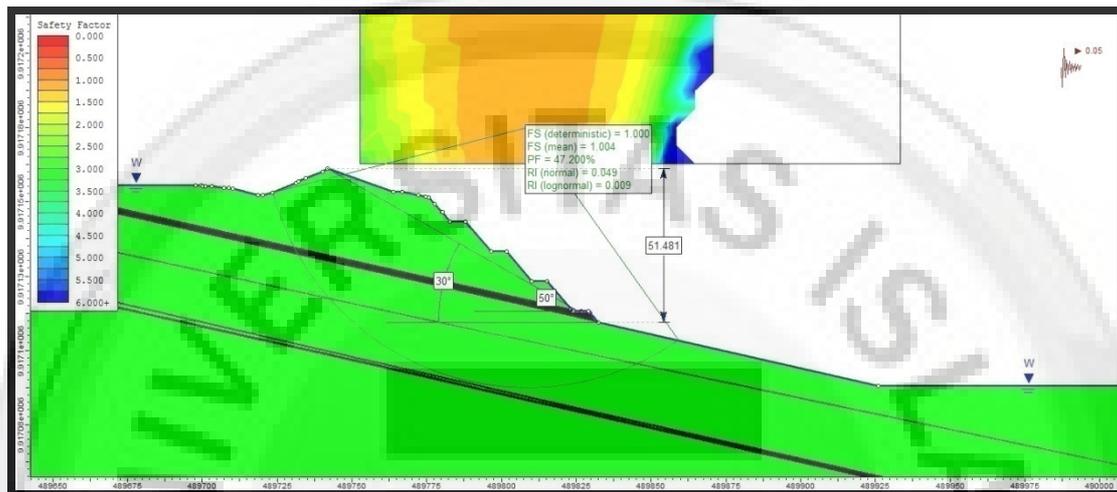
Berikut merupakan contoh nilai parameter geoteknik berdasarkan pendekatan menggunakan metode Monte Carlo dan hasil eksekusi modelnya.



Gambar 2. Korelasi Nilai FK Terhadap Kohesi Material *Mudstone 1*

Tabel 4. Hasil Analisis Balik Menggunakan Probabilistik Monte Carlo

MATERIAL	Natural Unit Weight (kN/m ³)	Saturated Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion (C) (kN/m ²)	Friction Angle (φ) (°)
MUDSTONE1	19.8	21.3	122.4	8.04
MUDSTONE2	19.9	20.1	134.2	17.85
MUDSTONE3	19.5	20.2	124.9	11.21



Gambar 3. Hasil Eksekusi Model Berdasarkan Input Parameter Probabilistik Monte Carlo

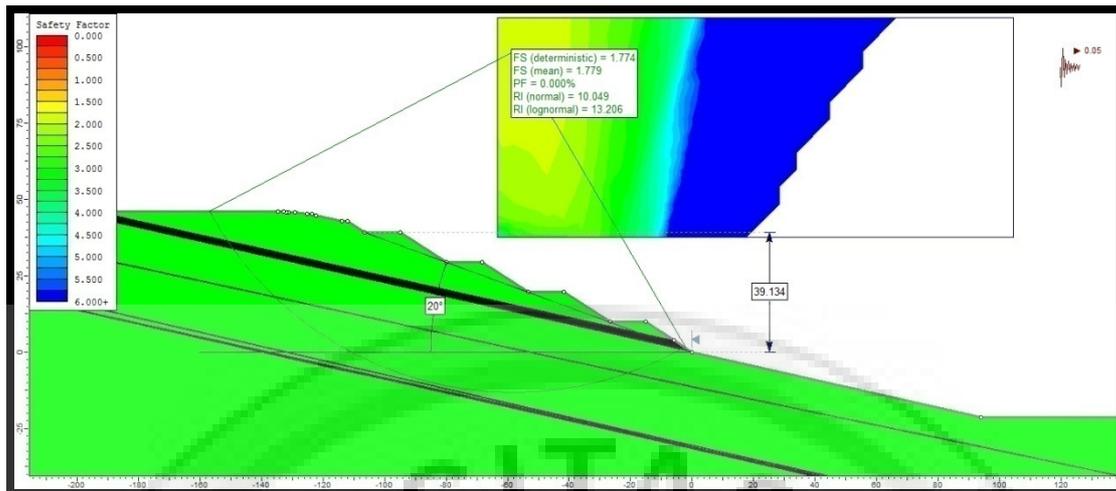
Berdasarkan Gambar 3 didapatkan nilai FK 1.004 pada tinggi lereng keseluruhan 51.481 m, faktor kegempaan 0.05g dan sudut lereng keseluruhan 30°. Pada nilai FK tersebut menunjukkan lereng pada keadaan siap longsor karena FK = 1.004 dengan nilai Probabilitas Kelongsoran (PK) yaitu 47.2%.

2. Analisis Kesetimbangan Batas pada *Low Wall*

Berdasarkan hasil simulasi pada analisis balik lereng *low wall*, maka langkah selanjutnya akan dilakukan simulasi lanjutan untuk mencari alternatif desain lereng yang stabil menggunakan input parameter geoteknik seperti yang terdapat pada Tabel 5.

Tabel 5. Input Parameter Model *Low Wall*

MATERIAL	Natural Unit Weight (kN/m ³)	Saturated Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion (C) (kN/m ²)	Friction Angle (φ) (°)
COAL	12,6	13	241	25,2
MUDSTONE1	19,8	21,3	122,4	8,04
MUDSTONE2	19,9	20,1	134,2	17,85
MUDSTONE3	19,5	20,2	124,9	11,21
MUDSTONE4	19,5	20,2	250	16
MUDSTONE5	18,7	20,5	230	22,2



Gambar 4. Hasil Analisis Model *Low Wall* Sudut 20° MAT 1

Tabel 6. Rekapitulasi Faktor Keamanan

Sudut (0°)	Tinggi (m)	MAT 1		MAT 3		MAT 5	
		FK	PK (%)	FK	PK (%)	FK	PK (%)
20	39.134	1.779	0	1.382	0.2	1.327	0.5
21	42.853	1.781	0	1.392	0.3	1.332	0.2
22	43.741	1.755	0	1.362	0.3	1.332	0.4
23	44.834	1.751	0	1.358	0.3	1.336	0.4
24	40	1.744	0	1.369	0.1	1.328	0.2
25	47.532	1.729	0	1.366	0.1	1.313	0.4

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Klasifikasi massa batuan yang didapatkan berdasarkan pemetaan geoteknik pada dinding tambang di line 1-80 diklasifikasikan menurut RMR yaitu termasuk batuan yang lemah (*poor rock*), sedangkan untuk klasifikasi menurut GSI kondisi permukaan di lapangan termasuk permukaan yang cukup lemah (*fair surface condition*) dan untuk kondisi struktur diklasifikasikan pada *disintegrated structure* yaitu suatu kondisi struktur yang membuat batuan terdeformasi.
2. Nilai parameter geoteknik berdasarkan hasil analisis balik menggunakan probabilitas Monte Carlo adalah sebagai berikut batuan Mudstone 1 : kohesi 144 kPa dan sudut geser dalam 8.04° ; Mudstone 2 : kohesi 134.2 kPa dan sudut geser dalam 17.85° ; Mudstone 3 : kohesi 124.9 kPa dan sudut geser dalam 11.21° .
3. Berdasarkan hasil simulasi rekomendasi untuk lereng *Low Wall* dapat menggunakan sudut lereng keseluruhan dari sudut $20^{\circ} - 25^{\circ}$ dengan tinggi lereng keseluruhan maksimum 47 meter
4. Penanggulangan yang dilakukan berupa pembuatan paritan di setiap jenjang dan dibuat saluran keliling di area *boundary pit*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonym, Slide ver.6 Software, Rockscience.
- Anonym, 2001, Introduction to Seismology, IISSE.
- Anonym, 2001, Earthquake Magnitude Comparisons.
- Anonym, 1981, International Society of Rock Mechanic.
- Anonym, 2014, PT Beringin Jaya Abadi, Technical Department, Kalimantan Timur.
- Anonym, 2010, *International Slope Stability Research*, Published SRK Newsletter, SRK Consulting, Australia.
- Bieniawski, Z.T., 1989, *Engineering Rock Mass Classification*, John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 257h.
- Bishop, A.W., 1971, *The Influence Of Progressive Failure On The Method Of Stability Analysis Geotechnique*, 21: 168-172.
- Bowles, J E , 1984, *Physical and Geotechnical Properties of Soil 2nd Ed.* **, Mc Graw-Hill I-nc.
- De Vallejo, L., I., G. dan Ferrer, M., 2011, *Geological Engineering*, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, Leiden, 678h.
- Deere. D. U., 1989, *Rock Quality Designation (RQD) after Twenty Years*, U.S. Army Corps of Engineers Contract Report GL-89-1, Waterways Experiment Station Vicksburg.
- Duncan C. Wyllie., dan Cristopher W. Mah, 2004, *Rock Slope Engineering Civil and Mining*, Spon Press, London and New York.
- Suratha, Gde., 1994, *Kemantapan Lereng*, Direktorat Jenderal Pertambangan Umum Pusat Pengembangan Tenaga Pertambangan, Bandung.
- Hasan. M. Igbal, 2002, *Pokok-Pokok Materi Teori Pengambilan Keputusan*, Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Goodman, R.E., 1993, *Engineering Geology*, New York.
- Hoek, Ever and Bray, J.W., 1980, *Rock Slope Engineering*, Chapter-8, Revised, The Institution of Mining and Metallurgy London.
- Hoek, Ever. dan Bray, J.W., 1981, *Rock Slope Engineering*, 3rd Ed, The Institution of Mining and Metallurgy London.
- Laubscher, D.H., 1977, *Geomechanics Classification of Jointed Rock Masses – Mining Applications*, Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Read, J. dan Stacey, P., 2009, *Guidelines for Open Pit Slope Design*, CSIRO Publishing, Collingwood VIC 3066, Australia, 485.

S. Supriatna *et al.*, 1995, *Peta Geologi Lembar Samarinda*, P3G, Bandung

Thompson dan 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 Tinggi Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan Jenjang pada Dinding Akhir Penambangan*, PERHAPI, Jakarta.

Yeh. T.M, Sun, J.J., 2011, *Preventive Maintenance Model with FMEA and Monte Carlo Simulation for The Key Equipment in Semiconductor Foundries [electronic version]*, Scientific Research and Essays. 6(26) :5534-5547.

