PENERAPAN METODE KLASIFIKASI MASSA BATUAN (RMR) DAN KRITERIA RUNTUH HOEK & BROWN DALAM MENENTUKAN FAKTOR KEAMANAN PADA ANALISA KESTABILAN LERENG

Raynanda Zulfikar[1*], Nurhakim[1], Romla Noor Hakim[1]
[1] Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
e-mail: * raynanda.zulfikar@gmail.com

ABSTRAK

PT Binuang Mitra Bersama merupakan perusahaan pertambangan batubara yang dalam kegiatan penambangannya dilakukan dengan sistem tambang terbuka. Dalam pembuatan jenjang yang hanya menggunakan pendekatan geometri jenjang yang diaplikasikan tambang yang ada sekitarnya tanpa adanya kajian geoteknik.

Penelitian ini bertujuan untuk menganlisa kestabilan lereng daerah *lowwal* dengan mengggunakan metode keseimbangan batas dengan kriteria runtuh Hoek-Brown dan Klasifikasi Massa Batuan (RMR). Penelitian ini dilakukan pada empat lokasi berbeda, yaitu batulempung di LW-011 dan LW-012, batupasir di LW-013 dan batubara di LW-02.

Nilai RMR yang didapatkn dari pembobotan enam parameter RMR pada masing-masing lokasi adalah LW-011 = 42, LW-012 = 32, LW-13 = 38 dan LW-02 = 58. Nilai GSI merupakan pengurangan 8 dari nilai RMR (Saptono, 2012), sehingga didapatkan nilai GSI pada masing-masing lokasi penelitan adalah LW-011 = 34, LW-012 = 24, LW-13 = 30 dan LW-02 = 50

Untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ) pada massa batuan di lokasi penelitian digunakan pendekatan kriteria keruntuhan Hoek & Brown (2002). Nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ) secara berurutan pada masing lokasi penelitian adalah LW-011 = 29 kN/m^2, 17°, LW-012 = 21 kN/m^2, 13°, LW-13 = 73 kN/m^2, 37° dan LW-02 = 55 kN/m^2, 29°.

Analisis kestabilan lereng untuk mendapatkan faktor keamanan (FK) pada massa batuan dengan RMR tertentu, dilakukan pada berbagai ketinggian dan sudut kemiringan lereng. Hubungan antara RMR, sudut kemiringan dan tinggi lereng diinterpretasikan ke dalam grafik stabilitas lereng berdasarkan klasifikasi massa batuan. Grafik tersebut dibuat untuk mempermudah dalam menentukan geometri lereng yang aman pada lokasi penelitian.

Kata kunci: GSI, Hoek & Brown, Kestabilan Lereng, Rock Mass (RMR)

PENDAHULUAN

Pada saat ini, PT Binuang Mitra Bersama menjalankan aktivitas produksi batubara di beberapa lokasi, antara lain Pit Blok 3. Pit ini awalnya merupakan disposal tambang rakyat, sehingga pada bagian atas terdapat lapisan tanah lepas yang berpotensi longsor. Di samping itu, pembuatan jenjang yang hanya menggunakan pendekatan geometri jenjang yang diaplikasikan tambang yang ada sekitarnya juga menjadi salah satu pemicu meningkatnya potensi longsor.

Kondisi di atas, melatarbelakangi keinginan penulis untuk meneliti kestabilan lereng di Pit Blok 3, khususnya di daerah *low wall*. Adapun metode yang digunakan untuk menentukan klasifikasi massa batuan dan bahan pertimbangan dalam penentuan geometri lereng adalah *rock mass rating* (Bieniawski,1989) dan *geological strength index* (*Modifield* Saptono, 2004).

HASIL PENELITIAN

Pembobotan Parameter *Rock Mass Rating*

Pada tahap ini hasil pengukuran di lapangan terhadap parameter RMR seperti kuat tekan batuan utuh, *rock quality designation* (RQD), sapsi bidang diskontinu dan kondisi umum air tanah pada bidang diskontinu. Pengamatan dan oengukuran parameter tersebut akan diberikan bobot sesuai dengan klasifikasi massa batuan *rock mass rating system* (Bieniawski, 1989).

Kuat Tekan Batuan Utuh

Pengamatan dan pengukuran parameter ini bertujuan untuk memperkirakan nilai kuat tekan batuan batuan dengan bantuan palu geologi, pisau lipat dan kuku yang mendasarkan pada *Index Classification of Rock Material Stregth* (ISRM, 1981). Seperti pada tabel-1

Tabel-1. Hasil Pengamatan Langsung Kuat Tekan Batuan di Lokasi Penelitian

Lokasi	Jenis Batuan	Identifikasi Lapangan	UCS (MPa)	Bobot RMR
LW-011	Batulempung	Batu terurai pecah dengan pukulan mantap dengan pick palu geologi, bisa digores dengan pisau lipat.	1,0 - 5,0	1
LW-012	Batulempung	Batu terurai pecah dengan pukulan mantap dengan pick palu geologi, bisa digores dengan pisau lipat.	1,0 - 5,0	1
LW-013	Batupasir	Tidak dapat tergores atau dikupas dengan pisau lipat, spesimen dapat retak dengan sekali pukulan mantap palu geologi.	5,0 - 25	2
LW-02	Batubara	Tidak dapat tergores atau dikupas dengan pisau lipat, spesimen dapat retak dengan sekali pukulan mantap palu geologi.	5,0 - 25	2

Rock Quality Designation (RQD)

Berdasarkan kerapatan bidang diskontinu yang diukur pada muka lereng dengan metode *scanline*, nilai RQD dapat dihitung dengan persamaan 3.1 yang dikenalkan oleh *Priest* dan *Hudson* (1976). Sebagai contoh untuk mendapatkan nilai RQD adalah sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{1}{\text{Jarak spasi kekar rata-rata sebenarnya}}$$

$$= \frac{1}{0{,}263} = 3{,}802 \text{ kekar/meter}$$

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

$$RQD = 100e^{-0{,}1x3{,}802}x(0{,}1x3{,}802 + 1) = 94\,\%$$

Hasil perhitungan nilai *rock quality designation* (RQD) selengkapnya dapat dilihat pada Tabel-2.

Tabel-2 Hasil Perhitungan Rock Quality Designation (RQD)

Lokasi	Jumlah Kekar	Panjang Scanline (meter)	Spasi Kekar Rata-Rata (meter)	RQD (%)	Kualitas Batuan	Bobot RMR
LW-011	55	5.9	0.263	94.4	Baik	20
LW-012	59	5	0.167	87.8	Baik	17
LW-02	29	5.9	0.343	96.5	Baik	20
LW-013	30	3	0.294	95.4	Baik	20

Spasi Bidang Diskontinu

Jarak spasi antar bidang diskontinu yang didapatkan dari pengukuran di lapangan kemudian dikoreksi menggunakan yang dikemukakan oleh Kramadibrata (1996) untuk mendapatkan jarak rata-rata spasi antar bidang dikontinu sebenarnya. Hasil perhitungan jarak spasi rata-rata spasi antar bidang diskontinu ditunjukkan pada Tabel-3.

Tabel-3 Hasil Perhitungan Spasi Rata-Rata Antar Bidang Diskontinu

Lokasi	Spasi Rata-Rata Bidang Diskontinu (meter)	Deskripsi	Kondisi Massa Batuan	Bobot RMR
LW-011	0.263	Sedang	Pecah	10
LW-012	0.167	Rapat	Pecah	8
LW-02	0.343	Sedang	Pecah	10
LW-013	0.294	Sedang	Pecah	10

Kondisi Bidang Diskontinu

Kondisi bidang dikontinu didapatkan dari hasil pengamatan di lokasi penelitian. Parameter bidang diskontinu yang diamati adalah kemenerusan bidang diskontinu (*persistence*), kekasaran bidang diskontinu (*roughness*), lebar bukaan (*aperture*), tebal pemisah/pengisi celah (*width filled/gouge*) serta pelapukan (*weathered*). Hasil pembobotan kondisi bidang diskontinu dapat dilihat pada tabel-4.

Kondisi Air Tanah Pada Bidang Diskontinu

Pengamatan kondisi air tanah pada bidang diskontinu dilakukan dengan memperhatikan kondisi umum dengan kategori kering (*dry*), basah (*wet*), lembab (*damp*), menetes (*dripping*), dan mengalir (*flowing*). Hasil pengamatan terhadap kondisi air tanah pada bidang diskontinu di lokasi penelitan dapat dilihat pada Tabel-5.

Orientasi Bidadng Diskontinu

Pengukuran orientasi bidang diskontinu dinyatakan dengan *dip/dip direction*. Dari analisis stereografis dapat diketahui arah penggalian lereng tambang dan arah umum dari bidang diskontinu. Tabel-6 menunjukkan arah umum bidang diskontinu dan arah lereng pada setiap lokasi penelitian.

Pembobotan Klasifikasi Massa Batuan

Dari hasil perhitungan dan pembobotan parameter RMR, selanjutnya dilakukan pembobotan atau penilaian untuk mendapatkan klasifikasi massa batuan RMR untuk setiap lokasi penelitian yang dapat dilihat pada Tabel-6.

Perhitungan GSI Saptono

Nilai GSI diperoleh dari nilai RMR – 8, persamaan ini merupakan hubungan GSI terhadap RMR pada massa batuan lunak pada tambang batubara di daerah tropis (Saptono, 2012). Berdasarkan dari hasil perhitungan dengan persamaan tersebut dapat dilihat pada tabel-8.

Penentuan Nilai kohesi (c) dan Sudut Gesek Dalam (φ)

Untuk menganalisis kestabilan lereng di lokasi penelitian didasarakan pada kriteria keruntuhan Hoek & Brown. Parameter yang digunakan untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ) yaitu nilai GSI, mi, kuat tekan batuan, dan faktor kerusakan batuan (D) yang dapat dilihat pada Tabel-9.

Tabel-4 Pengamatan Kondisi Bidang Diskontinu

Lokasi	Parameter	Ket	Bobot RMR
LW-011	1. Kemenerusan (*persistence*)	< 1 meter	6
	2. Lebar bukaan (*aperture*)	0,1 meter	5
	3. Kekasaran (*roughness*)	Halus	1
	4. Pengisi celah (*gouge*)	*None*	6
	5. Pelapukan (*weathering*)	Sedang	3
	Bobot Total		**21**
LW-012	1. Kemenerusan (*persistence*)	< 1 meter	6
	2. Lebar bukaan (*aperture*)	< 0,1 mm	5
	3. Kekasaran (*roughness*)	Halus	1
	4. Pengisi celah (*gouge*)	*None*	6
	5. Pelapukan (*weathering*)	Sedang	3
	Bobot Total		**21**
LW-013	1. Kemenerusan (*persistence*)	< 1 meter	6
	2. Lebar bukaan (*aperture*)	< 0.1 meter	5
	3. Kekasaran (*roughness*)	Sedikit Kasar	3
	4. Pengisi celah (*gouge*)	*None*	6
	5. Pelapukan (*weathering*)	Tinggi	1
	Bobot Total		**21**
LW-02	1. Kemenerusan (*persistence*)	< 1 meter	6
	2. Lebar bukaan (*aperture*)	< 1,0 mm	5
	3. Kekasaran (*roughness*)	Kasar	5
	4. Pengisi celah (*gouge*)	*None*	6
	5. Pelapukan (*weathering*)	Sedang	3
	Bobot Total		**25**

Tabel-5 Hasil Pengamatan Kondisi Air Tanah pada Bidang Dikontinu

Lokasi	Kondisi Air	Bobot RMR
LW-011	Kering	15
LW-012	Lembab	10
LW-013	Lembab	10
LW-02	Basah	7

Tabel-6 Hasil Pengaruh Orientasi Arah Umum Bidang Diskontinu dengan Arah Lereng

Lokasi	Batuan	Arah Umum Bidang Diskontinu	Arah Lereng Penggalian	Deskripsi
				Bobot RMR
LW-011	Batulempung	64°/N263°E	55°/N336°E	Sedang
				-25
LW-012	Batulempung	70°/N40°E	45°/N19°E	Sedang
				-25
LW-013	Batupasir	76°/N314°E	55°/N325°E	Sedang
				-25
LW-02	Batubara	81°/N21°E	45°/N315°E	Menguntungkan
				-5

Tabel-6 Klasifikasi *Rock Mass Rating*

Parameter		Lokasi Penelitian			
		LW-011	LW-012	LW-013	LW-02
Kekuatan Batuan Utuh (UCS)	Nilai (Mpa)	1 - 5	1 - 5	5 - 25	5 - 25
	Bobot	1	1	2	1
Rock Quality Deagnation (RQD)	Nilai (%)	94	88	95	96
	Bobot	20	17	20	20
Jarak Antar Bidang Diskontinu	Jarak (m)	0.26	0.16	0.29	0.34
	Bobot	10	8	10	10
Kondisi Bidang Diskontinu	Kekasaran permukaan, spasi dan tingkat pelapukan	Kemenerusan < 1 meter, Lebar bukan < 0,1 mm, Permukaan Halus, Tidak Ada Isian dan Pelapukan Sedang	Kemenerusan < 1 meter, Lebar bukan < 0,1 mm, Permukaan Halus, Tidak Ada Isian dan Pelapukan Sedang	Kemenerusan < 1 meter, Lebar bukan < 0,1 mm, Permukaan Sedikit Kasar, Tidak Ada Isian dan Pelapukan Tinggi	Kemenerusan < 1 meter, Lebar bukan < 0,1 mm, Permukaan Kasar, Tidak Ada Isian dan Pelapukan Sedang
	Bobot	21	21	21	25
Kondisi Air Tanah	Kondisi Umum	Kering	Lembab	Lembab	Basah
	Bobot	15	10	10	7
Arah/Kemiringan Bidang Diskontinu	Arah jurus dan kemiringan bidang diskontinu terhadap arah galian	Sedang	Sedang	Sedang	Menguntungkan
	Bobot	-25	-25	-25	-5
RMR	Bobot	42	32	38	38
	Kelas	III	IV	IV	III
	Deskripsi	Batuan Sedang	Batuan Buruk	Batuan Buruk	Batuan Sedang

Tabel-8 Hasil Perhitungan Nilai GSI menurut Saptono (2012)

Lokasi	Nilai RMR	Nilai GSI
LW-011	34	26
LW-012	32	24
LW013	38	30
LW-02	59	51

Tabel-9. Nilai Kuat Tekan, GSI, mi dan D

Lokasi	Jenis Batuan	UCS (MPa)	GSI	Mi	D
LW-011	Batulempung	1 – 5	34	4	0,7
LW-012	Batulempung	1 – 5	24	4	0,7
LW-013	Batupasir	5 – 25	30	17	0,7
LW-02	Batubara	5-Jan	50	8	0,7

Penambangan di daerah penelitian dilakukan dengan metode gali bebas maka faktor terganggunya batuan (D) adalah 0. Berdasarkan kriteria runtuh Hoek & Brown untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut gesek dalam menggunakan parameter nilai GSI, mi, Kuat Tekan Uniaksial dan nilai D, dengan menggunakan parameter tersebut maka diapat nilai mb, s dan a yang kemudian digunakan untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut gesek dalam.

$M_b = m_i \exp\{\frac{GSI-100}{28-14D}\}$

$= 4 \exp\{\frac{34-100}{28-14(0.7)}\}$

$= 0.106$

$S = \exp\{\frac{GSI-100}{9-3D}\}$

$= \exp\{\frac{34-100}{9-3(0.7)}\}$

$= 0.00007$

$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}(e^{-GSI/15} - e^{-20/3})$

$= \frac{1}{2} + \frac{1}{6}(e^{-34/15} - e^{-20/3})$

$= 0.517$

$$\sigma'_{cm} = \sigma'_{ci} \frac{(mb+4s-a(mb-8s))\left(\frac{Mb}{4}+s\right)a-1}{2(1+a)(2+a)}$$

$$=1. \frac{(0.106+4(0.00007)-0.517(0.106-8(0.00007))\left(\frac{0.106}{4}+0.00007\right)0.517-1}{2(1+0.517)(2+0.517)}$$

$= 0.039$

$$\sigma'_{3max} = \sigma'_{cm}(0.72)\left(\frac{\sigma'cm}{\gamma H}\right)^{-0.91}$$

$$= 0.039\ (0.72)\left(\frac{0.039}{(0.021)(10)}\right)^{-0.91}$$

$= 0.207$

$\sigma'_{3n} = \sigma_{3max} / \sigma_{ci}$

$= 0.207 / 1$

$= 0.207$

$$\theta = \left[\frac{6.a.mb\,(s+mb.\sigma 3n')a-1}{2\,(1+a)(2+a)+6.a.mb(s+mb.\sigma 3n)a-1}\right]$$

$$= \left[\frac{6\,(0.517)(0.106)[(0.00007+(0.106)(0.207)]0.517-1}{2\,(1+0.517)(2+0.517)+6\,(0.517)(0.106)[(0.00007+(0.106)\,(0.207)]0.517-1}\right]$$

$= 12^0$

$$C = \frac{\sigma ci\,[(1+2a)s+(1-a)mb.\sigma 3n'](s+mb.\sigma 3n)a-1}{(1+a)(2+a)\sqrt{1+\frac{[6a.mb(s+mb.\sigma 3n')a-1]}{[(1+a)(2+a)}}}$$

$$= \frac{2\,[(1+(2(0.517))]0.00007+(1-0.517)\,(0.106)(0.207)](0.00007+(0.106)(0.207))0.517-1}{(1+0.517)\,(2+0.517)\sqrt{1+\frac{[6(0.517)(0.106)][0.00007+(0.106)(0.207)]0.517-1]}{[(1+0.517)(2+0.517)}}}$$

$= 20$ kN/m²

Tabel-10 Hasil Perhitungan Kohesi dan Sudut Gesek Dalam

Lokasi	UCS (Mpa)	ϕ (°)	C (kN/m²)	Lokasi	UCS (Mpa)	ϕ (°)	C (kN/m²)
LW-011	1	12	20	LW-013	5	30	52
	2	16	26		10	35	65
	3	18	30		15	38	75
	4	19	34		20	40	83
	5	21	37		25	42	90
	Rata-Rata	**17**	**29**		**Rata-Rata**	**37**	**73**
LW-012	1	9	14	LW-02	1	22	37
	2	12	19		2	27	48
	3	14	22		3	30	57
	4	15	24		4	32	63
	5	16	26		5	33	70
	Rata-Rata	**13**	**21**		**Rata-Rata**	**29**	**55**

Analisa Lereng Tunggal

Analisis kestabilan lereng desain PT Binuang Mitra Bersama pada penelitian dilakukan hanya pada lereng tunggal dengan pendekatan sebagai berikut:

a. Analisis lereng tunggal diasumsikan memiliki satu jenis batuan yang paling dominan.
b. Nilai faktor keamanan (FK) yang dijadikan dasar lereng dalam kondisi aman adalah FK ≥ 1,1 berdasarkan SRK (2010).
c. Percepatan gempa sama dengan nol, karena tidak direncanakan peledakan dan daerah penelitan tidak termasuk dalam zona gempa.
d. Analisis FK menggunakan metode Bishop yang disederhanakan (1955).

Untuk hasil perhitungan nilai faktor kemanan lereng desain dan lereng aktual pada tiap lokasi dapat dilihat pada tabel-11 dimana perhitungan dilakukan dengan *software slide v6.0* berdasrkan kriteria runtuh Hoek & Brown.

Tabel-11 Nilai Faktor Keamanan Variasi Lereng Tunggal

Tinggi (m)	Sudut Lereng (°)	Faktor Keamanan		Tinggi (m)	Sudut Lereng (°)	Faktor Keamanan	
		Kondisi Asli	Kondisi Jenuh			Kondisi Asli	Kondisi Jenuh
LW-011 (Claystone)							
10	40	1.721	1.639	15	40	1.357	1.299
	45	1.605	1.526		45	1.253	1.199
	50	1.506	1.433		50	1.062	1.099
	55	1.422	1.351		55	-	-
12.5	40	1.489	1.423	17.5	40	1.246	1.196
	45	1.373	1.311		45	1.151	1.104
	50	1.299	1.237		50	1.06	1.01
	55	1.209	1.147		55	-	-
LW-012 (Claystone)							
10	40	1.304	1.226	15	40	1.027	0.973
	45	1.126	1.141		45	0.949	0.898
	50	1.141	1.07		50	-	-
	55	1.077	1.01		55	-	-
12.5	40	1.127	1.065	17.5	40	0.943	0.896
	45	1.039	0.981		45	0.871	0.827
	50	-	-		50	-	-
	55	-	-		55	-	-
LW-013 (Sandstone)							
10	40	4.315	4.237	15	40	3.395	3.34
	45	4.029	3.953		45	3.135	3.085
	50	3.78	3.709		50	2.885	2.836
	55	3.567	3.5		55	2.714	2.667
12.5	40	3.727	3.665	17.5	40	3.115	3.068
	45	3.44	3.381		45	2.878	2.833
	50	3.257	3.198		50	2.609	2.609
	55	3.027	2.97		55	2.457	2.416
LW-02 (Coal)							
10	40	3.088	3.057	15	40	2.473	2.415
	45	2.88	2.849		45	2.251	2.23
	50	2.702	2.674		50	2.068	2.047
	55	2.549	2.522		55	1.945	1.926
12.5	40	2.673	2.648	17.5	40	2.239	2.22
	45	2.465	2.441		45	2.068	2.05
	50	2.331	2.307		50	1.906	1.889
	55	2.164	2.141		55	1.762	1.745

Analisa Lereng Keseluruhan

Analisa kestabilan lereng keseluruhan ini bertujuan untuk mendapatkan geometri-geometri lereng keseluruhan yang memenuhi kriteria aman. Pada simulasi kestabilan lereng keseluruhan ini peneliti menggunakan pendekatan sebagai berikut:

a Nilai faktor keamanan (FK) yang dijadikan dasar lereng dalam kondisi aman adalah FK $\geq$ 1,2.

b Percepatan gempa sama dengan nol, karena tidak direncanakan peledakan dan daerah penelitan tidak termasuk dalam zona gempa.

c Simulasi kestabilan lereng dilakukan dengan memvariasikan tinggi dan sudut lereng pada tiap jenjangnya.

d Analisis FK menggunakan metode Bishop yang disederhanakan (1955).

Untuk hasil perhitungan nilai faktor kemanan lereng desain dan lereng aktual pada tiap lokasi dapat dilihat pada tabel-12 dimana perhitungan dilakukan dengan *software slide v6.0* berdasrkan kriteria runtuh Hoek & Brown.

Tabel-12 Nilai Faktor Keamanan Variasi Lereng Keseluruhan

Tinggi Jenjang (m)	Kemiringan Sudut (°)							
	40		45		50		55	
	Asli	Jenuh	Asli	Jenuh	Asli	Jenuh	Asli	Jenuh
5	1.519	1.484	1.411	1.38	1.358	1.324	1.331	1.295
6	1.373	1.343	1.331	1.298	1.321	1.281	1.32	1.3
7	1.312	1.283	1.273	1.238	1.287	1.25	1.245	1.228
8	1.24	1.198	1.186	1.148	1.083	1.046	-	-
10	1.239	1.196	1.166	1.142	1.064	1.044	-	-
Kombinasi Tinggi Aktual & Variasi								
16,8 & 5	1.285	1.264	1.263	1.242	1.245	1.224	1.225	1.207
16,8 & 6	1.235	1.215	1.213	1.193	1.202	1.181	1.064	1.044

PEMBAHASAN

Pengaruh Klasifikasi Massa Batuan (RMR), *Geological Strength Index* (GSI) Terhadap Kestabilan Lereng

Sistem klasifikasi massa batuan dilakukan dengan tujuan untuk mengelempokkan massa batuan berdasarkan perbedaan karakteristik massa batuan. Pada penelitian ini dilakukan dengan dua sistem klasifikasi massa batuan, yaitu *rock mass rating* (Bieniawski, 1989) dan *geological strength index* (Hoek, dkk, 2002).

Tabel-13 Pengaruh Massa Batuan terhadap Kestabilan Lereng

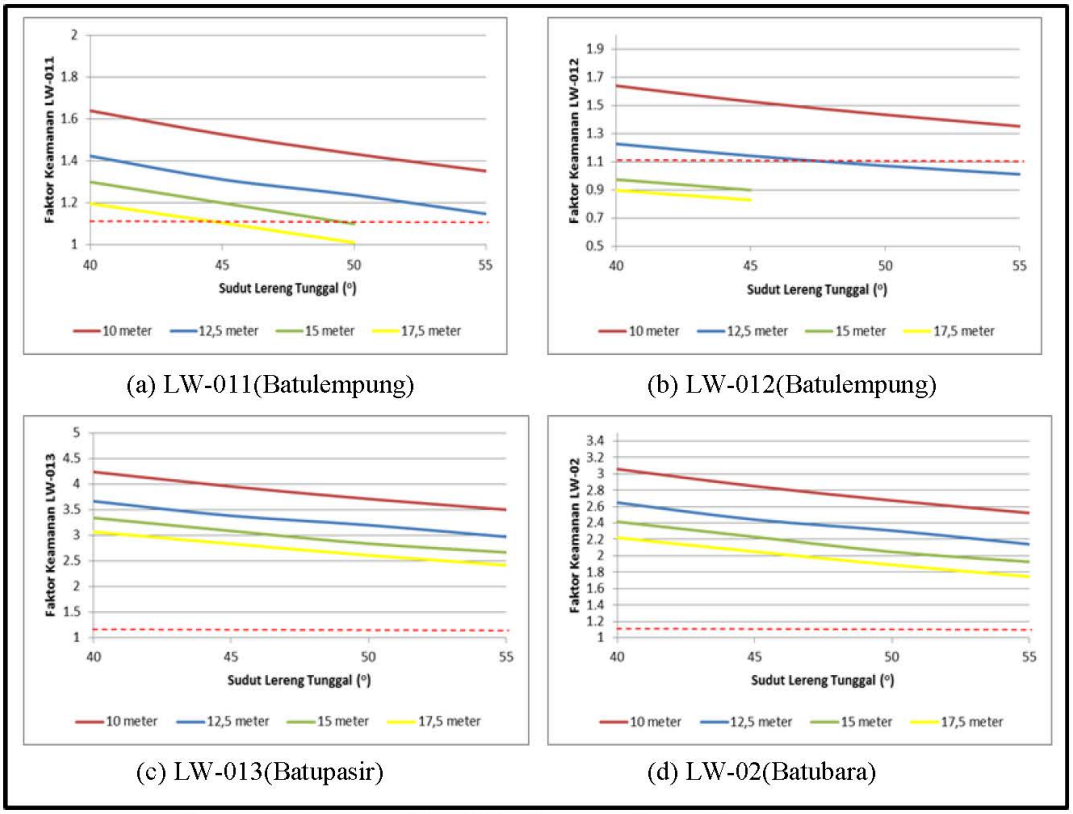
Lokasi	RMR	GSI	Kuat Tekan	Faktor Keamanan			
				Lereng Aktual		Lereng Desain	
				Kondisi Asli	Kondisi Jenuh	Kondisi Asli	Kondisi Jenuh
LW-011	42	34	5-Jan	1,013	0,97	1,506	1,433
LW-012	32	24	5-Jan	0,767	0,725	1.141	1,07
LW-013	38	30	25-May	2,565	2,521	3,78	3.709
LW-02	58	50	5-Jan	2,116	2,096	2,702	2,674

Dari pengklasifikasian massa batuan sangat memepengaruhi terhadap kekuatan batuan pada suatu lereng dapat dilihat pada tabel-13 nilai massa batuan dalam hal ini RMR dari tiap lokasi berbeda dimana nilai RMR rendah akan menghasilkan factor keamanan yang rendah pada suatu material di lereng, seperti halnya pada lokasi LW-011 & LW-012 dengan material yang sama namun karena faktor massa batuan yang berebeda maka memiliki factor keamanan yagn berebeda juga. Selain itu juga, nilai kuat tekan material berhubungan dengan factor keamanan dimana semakin besar kuat tekan material maka factor keamanan semakin besar juga. Sebagai perbandingan, LW-012 dengan LW-013 dimana nilai RMR dari LW-012 lebih besar dari RMR LW-013 tetapi Kuat tekan yagn besar dari material LW-013 membuat factor keamanannya menjadi lebih besar.

Nilai GSI di lokasi penelitian yang didapatkan dengan pendekatan RMR_{89} berdasarkan struktur dan kondisi permukaan struktur massa batuan lunak di daerah tropis yang dikembangkan oleh Saptono (2012). Pendekatan nilai GSI berdasarkan hubungan nilai RMR_{89} terhadap struktur dan kondisi permukaan struktur massa batuan telah dikembangkan terlebih dahulu oleh Hoek & Brown (2002), GSI = RMR_{89} - 5. Persamaan yang dipublikasikan oleh Hoek & Brown (2002) menunjukkan nilai GSI lebih besar dari GSI yang dikemukan oleh Saptono (2012) sebanyak tiga. Perbedaan nilai GSI tidak menujukkan perbedaan kondisi strukur massa batuan, terlihat pada Gambar 5.13 bahwa nilai GSI berdasarkan Hoek & Brown (2002) dan GSI berdasarkan Saptono (2012) berada dalam rentang struktur dan kualitas massa batuan yang sama.

Penentuan Geometri Lereng Tunggal yang Memenuhi Kriteria

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng pada kondisi jenuh pada semua lokasi yaitu LW-011, LW-012, LW-013 dan LW-02 dengan variasi geometri sehingga dapat dilihat perubahan faktor keamanan dari ketinggian yang berebeda. Hal ini terjadi karena dalam proses perhitungan FK menggunakan semua parameter yang sama. Perbedaan nilai FK setiap lokasi dengan kondisi jenuh dikarenakan untuk mendapat hasil yang pesimis pada lereng dapat dilihat pada Gambar 1.



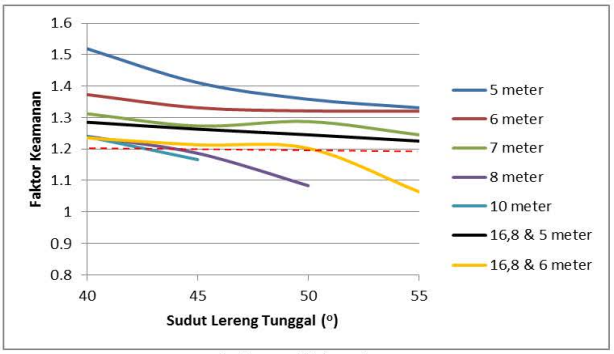
Gambar-1. Perubahan Nilai Faktor Keamanan Lereng Tunggal

Kondisi lereng kering merupakan kondisi lereng yang optimis dan kondisi lereng jenuh merupakan kondisi lereng yang pesimis. Penerapan geomerti lereng yang optimis terlalu berisiko karena keberadaaan air tanah tidak dapat dihilangkan seratus persen. Penerapan geometri lereng pada kondisi pesimis akan menghambat perencanan penambangan karena karakteristik massa batuan di lokasi penelitan tidak dapat dioptimalkan pada kondisi lereng yang jenuh. Berdasarkan hal itu rekomendasi yang diberikan untuk merancang lereng pada lokasi penelitian adalah kondisi lereng jenuh. Penelitian ini membatasi nilai FK aman untuk lereng tunggal adalah $\geq$1,1.

Dari gambar-1 diatas menunjukkan perubahan nilai Faktor Keamanan pada setiap lokasinya, dimana tiap lokasi memiliki karakteristik dan jenis material yang berbeda sehingga perubahan terhadap nilai faktor keamanan menjadi berbeda.

Penentuan Geometri Lereng Keseluruhan yang Memenuhi Kriteria

Berdasarkan hasil simulasi kestabilan lereng keseluruhan pada kondisi jenuh dengan variasi ketinggian dan sudut lereng, kemudian dibuat grafik yang merupakan hubungan antara sudut lereng, ketinggian lereng, dan faktor keamanan untuk setiap variasi geometri lereng. Grafik ini dibuat untuk memudahkan dalam menentukan geometeri lereng keseluruhan yang aman . Grafik geometeri lereng stabil untuk setiap variasi geometeri lereng dapat dilihat pada Gambar-2.



Gambar-2. Perubahan Nilai Faktor Keamanan Lereng Keseluruhan

Berdasarkan grafik pada Gambar-2, dapat ditentukan dengan cepat faktor keamanan lereng pada masing-masing lokasi dengan tinggi dan sudut lereng tertentu. Sebagai contoh, untuk menentukan lereng dengan tinggi lereng tunggal 10 meter dan sudut lereng tunggal kisaran 40 - 45° akan mempunyai faktor keamanan yang relatif aman. Hasil ini juga membuktikan bahwa hubungan perbedaan karakteristik material yang berbeda akan mempengaruhi nilai factor keamanan karena pada lereng keseluruhan semua material menjadi input dalam analisa dan material yang dominan pad daerah analisa akan menjadi nilai factor keamanan terdekat dari lereng keseluruhan dalam hal ini Lokasi LW-011 dan LW-012 dengan material batulempung menjadi faktor yang menyebabkan potensi tidak amannya lereng penambangan. Walaupun dapat dilihat pada analisa lereng tunggal lokasi LW-013 dan LW-02 menunjukkan hasil yang sangat aman dengan dengan variasi tinggi lebih dari 10 meter, tetapi kondisi material yang ada bersifat homogen.

KESIMPULAN

1. Nilai Pembobotan Massa Batuan pada *Lowwall* Blok 3 PT BMB adalah RMR $_{LW-011}$; 42 (Batulempung), RMR $_{LW-012}$; 32 (Batulempung), RMR $_{LW-013}$; 38 (Batupasir) dan RMR $_{LW-02}$; 58 (Batubara)
2. Nilai Faktor Keamanan PT BMB
   a. Lereng Tunggal
      1) LW-011 kondisi asli 1,013 (aktual) & 1,506 (desain) kondisi Jenuh 0,97 (aktual) & 1,433 (desain).
      2) LW-012 kondisi asli 0,767 (aktual) & 1,141 (desain) kondisi Jenuh 0,725 (aktual) & 1,07 (desain)
      3) LW-013 kondisi asli 2,565 (aktual) & 3,78 (desain) kondisi Jenuh 2,521 (aktual) & 3,709 (desain)
      4) LW-02 kondisi asli 2,116 (aktual) & 2,702 (desain) kondisi Jenuh 2,096 (aktual) & 2,674 (desain)
   b. Lereng Keseluruhan kondisi asli 1,001 (aktual) & 1,064 (desain) dan pada kondisi jenuh 0,985 (aktual) & 1,044 (desain)
3. Geometri yang sesuai dengan FK menurut SRK (2010) yaitu 1,2 untuk lereng keseluruhan yaitu
   H = 10 & 8 meter $\alpha = 40° - 45°$
   H = 5, 6 & 7 meter $\alpha = 40° - 55°$
   H = 16,8 & 6 meter $\alpha = 40° - 50°$
   H = 16,8 & 5 meter $\alpha = 40° - 55°$

DAFTAR PUSTAKA

[1] Bieniawski Z. T. 1989. "*Engineering Rock Mass Clasifications*". John Wiley & Sons, Inc. New York, U.S.A.

[2] Brown E.T. 1981, "*Rock Characterization Iesting and Monitoring*". ISRM Suggested Method. Royal School of Mines, London.

[3] Hoek, E. and Bray, J.W. 1981. *Rock Slope Engineering 3rd Edition*. The Institution Of Mining and Metallurgy London.

[4] Hoek, E. Caranza Torres, C. And Corkum, B. 2002. "*Hoek-Brown Failure Criterion – 2002 edition*". Vancouver, Canada.

[5] John Read and Peter Stacey. 2009. *Open Pit Slope Design*. Australia

[6] Priest, S.D. Hudson, J.A. 1976. "*Discontinuity Spacing in Rock, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics*".

[7] Priyadi, Angga. 2013. *Penentuan Stabilitas Lereng Tambang Berdasarkan Klasifikasi Massa Batuan Di PT Kaltim Batu Manunggal Kutai Kartanegara Kalimantan Timur*. Program Studi Teknik Pertambangan UPN "Veteran" Yogyakarta. Yogyakarta

[8] Singgih Saptono. 2012. "*Pengembangan Metode Analisi Stabilitas Lereng Berdasarkan Karakteristik Batuan di Tambang Terbuka Batubara*". Institut Teknologi Bandung. Bandung

[9] Tim PT Binuang Mitra Bersama, 2016. Tapin, Kalimantan Selatan

[10] William G. Pariseau. 2006. *Design Analysis In Rock Mechanic*. Departement of Mining Engineering Universitas of Utah, USA.