

**KOREKSI SMR PADA DESAIN LERENG TAMBANGTERBUKA BATUBARA
PADA FORMASI BALIKPAPAN & FORMASI KAMPUNGBARU,
SANGASANGA, KALIMANTAN TIMUR**

**SMR CORRECTION ON COAL OPEN PIT SLOPE DESIGN OF BALIKPAPAN &
KAMPUNGBARU FORMATION, SANGASANGA, KALIMANTAN TIMUR**

Oleh:

Zufialdi Zakaria, Dicky Muslim, & Irvan Sophian

Fakultas Geologi, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung Sumedang KM. 21 Jatinangor 45363

SARI

Kajian desain lereng stabil dibutuhkan dalam eksploitasi tambang batubara, khususnya dalam sistem tambang terbuka. Penambangan memerlukan desain lereng dengan berbagai cara. Untuk menemukan lereng stabil secara cepat, digunakan pembobotan massa lereng (*SMR, Slope Mass Rating*) yang berdasarkan kepada pembobotan massa batuan (*RMR, Rock Mass Rating*). Pada titik lokasi yang longsor maupun rawan longsor, diperlukan kajian khusus mengenai kestabilan lereng dengan metode lain dan menggunakan perangkat lain. Pada formasi batuan yang mengandung lapisan material urai (*loose*) seperti pasir kuarsa pada Formasi Balikpapan maupun Formasi Kampungbaru di Sangasanga, Kalimantan Timur, penentuan pembobotan massa lereng perlu dikoreksi untuk menemukan sudut lereng yang paling aman. Meskipun pada akhirnya, pilihan penentuan sudut lereng yang aman, akan bergantung pula kepada aspek ekonomis dalam penambangan. Hasil koreksi *SMR* yang melibatkan nilai *SMR* berdasarkan peneliti terdahulu (Laubscher, Romana, Orr dan Hall) didapatkan rumus-persamaan, yaitu: 1) $SMR = 68,22 \ln(RMR) - 225,5$ (untuk persamaan logaritmik); 2) $SMR = 1,262RMR - 22,30$ (untuk persamaan linier); 3) $0,082 RMR^{1,580}$ (untuk persamaan power); dan 4) $SMR = 9,191e0,029RMR$ (untuk persamaan eksponensial).

Kata kunci: *SMR, RMR*

ABSTRACT

Slope stability design is required in coal mine exploitation of, especially in open pit system. Mining requires a slope design in various ways. To find the stable slope quickly, Slope Mass Rating (SMR) is used based on Rock Mass Rating (RMR). At the point of landslide location and landslide-prone area, special study on slope stability is required to be combined with other method and devices. For the rock formations containing loose material layer such as quartz-sand in Balikpapan Formation and Kampung baru Formation, Sangasanga, East Kalimantan, the determination of Slope Mass Rating needs to be corrected to find the safest slope angle, although at the end, the choice of determining a safe angle-slope, will depend on the aspect of economical mining. SMR correction sare carried out involving SMR values based on the equation of previous researchers (Laubscher, Romana, Orr and Hall). Result is obtained as follows: 1) $SMR=68.22 \ln (RMR) -225.5$ (for the logarithmic equation), 2) $SMR=1.262RMR-22.30$ (for the linear equation); 3) $0.082RMR^{1.580}$ (for the power equation), and 4) $SMR=9.191e0.029RMR$ (for the exponential equation).

Keywords: *SMR, RMR*

PENDAHULUAN

Dasar penentuan pembobotan massa lereng atau *Slope Mass Rating (SMR)* antara lain adalah melibatkan parameter-parameter *Rock Mass Rating (RMR)*. *RMR* adalah pembobotan massa batuan berdasarkan klasifikasi geomekanika batuan (Bieniaswki, 1989) yang dapat dilihat pada tabel

pembobotan massa batuan (Tabel 1). Pembobotan adalah jumlah dari nilai bobot parameter pada tiap komponen dalam Tabel. Tabel pembobotan massa batuan berdasarkan Bieniawski (1989) dibagi menjadi tabel A, B, C dan D. Pada tabel C jumlah nilai tersebut dimasukkan ke dalam

kelompok yang sesuai dengan pembobotan masing-masing, sehingga nomor kelas dan pemerian dapat diberikan. Pada tabel D makna dan kegunaan tiap-tiap nomor kelas dapat ditentukan.

Berdasarkan nilai *RMR*, klasifikasi geomekanik (Bieniawski, 1989) juga dapat

dipakai dalam memperkirakan kestabilan lereng massa batuan hasil kupasan. Penilaian lereng kupasan lainnya adalah dengan cara pembobotan massa lereng (Laubscher, 1975; Orr, 1992; dan Hall, 1985, dalam Djakamihardja & Soebowo, 1996; Romana, 1993).

Tabel 1.
Pembobotan Massa Batuan (modifikasi dari Bieniawski, 1989)

A. Parameter klasifikasi dan pembobotannya

PARAMETER		SELANG NILAI					
1	Kekuatan batuan utuh	Indekkekuatan:					Untuk nilai yang kecil dipakai hasil UCS
		Point Load	> 10 M Pa	4 - 10 M Pa	2 - 4 M Pa	1 - 2 M Pa	-
		Uniaxial	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 Mpa	25 - 50 MPa	10-25 3-10 <3 (satuan M Pa)
Pembobotan		15	12	7	4	2 1 0	
2	RQD(Rock Quality Designation)	90 - 100 %	75 - 90 %	50 - 75 %	25 - 50 %	< 25 %	
	Pembobotan	20	17	13	8	3	
3	SPASIREKAHAN	> 200 cM	60 - 200 cM	20-60 cM	6-20 cM	< 6 cM atau < 60 mm	
	Pembobotan	20	15	10	8	5	
4	KONDISIREKAHAN	Permukaan gatakasar, tak menerus, Tak renggang Tidak lapuk (<i>hard wall</i>)	Permukaan kasar Renggang < 1 mm Agak lapuk (<i>hard wall</i>)	Permukaan agak kasar Renggang < 1mm Sangat lapuk (<i>soft wall</i>)	<i>Slicken-side / Gouge</i> < 5 mm atau Renggang 1 - 5 mm menerus	<i>Gouge</i> lemah, tebal > 5 mm atau Renggang > 5 mm menerus	
		Pembobotan	30	25	20	10	0
5	AIR	Aliran per-10m Panjang terowongan	Tidak ada	<10 liter/menit	10 - 25 liter/menit	25 - 125 liter/menit	> 125 liter/menit
		Tekanan pori (□) Teg. utama max.	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5
	A N A H	Keadaan umum	Kering	Lembab	Basah	Menetes	Mengalir
		Pembobotan	15	10	7	4	0

B. Penyesuaian Pembobotan untuk orientasi kekar pada beberapa keperluan

Orientasi jurus dan kemiringan (strike/dip) *)		Sangat Menguntungkan	Menguntungkan	Biasa (sedang)	Tidak Menguntungkan	Sangat Tidak Menguntungkan
Pembobotan	Tunnel	0	-2	-5	-10	-12
	Fondasi	0	-2	-7	-15	-25
	Lereng	0	-2	-25	-50	-60

C. Kelas pembobotan massa batuan (RMR, Rock Mass Rating) total

Pembobotan	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21
Nomor Kelas	I	II	III	IV	V
Pemerian	Sangat baik	Baik	Sedang	Jelek	Sangat jelek

GEOLOGI REGIONAL

Lokasi penelitian dilakukan di daerah Sangasanga, Kalimantan Timur (Gambar 1), yang mencakup batuan Formasi Balikpapan dan Formasi Kampung Baru. Berdasarkan peta geologi regional yang dipublikasikan oleh Hidayat & Umar (1994), kedua formasi ini menyebar mulai dari selatan Samboja sampai Sangasanga.

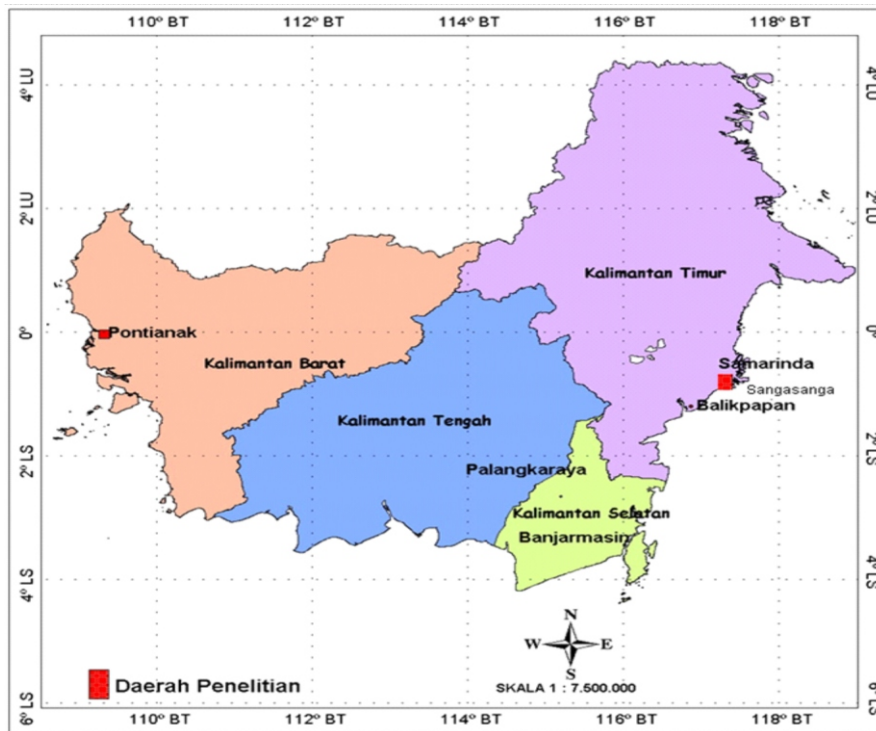
Formasi Kampungbaru (Pliosen), terdiri atas batulempung pasiran, batupasir kuarsa, batulanau, sisipan batubara, napal, batugamping dan lignit. Tebal sisipan batubara dan lignit kurang dari 3 m. Bagian bawah ditandai oleh lapisan batubara. Formasi Kampungbaru diendapkan di lingkungan delta dan laut dangkal dengan tebal formasi 100-800 m. Formasi ini terletak tidak selaras di atas Formasi Balikpapan.

Formasi Balikpapan (Miosen Tengah Bagian Atas – Miosen Akhir) terdiri atas perselingan batupasir kuarsa, batulempung lanauan dan serpih dengan sisipan napal, batugamping dan batubara. Lingkungan pengendapannya litoral sampai laut dangkal. Ketebalan 800 meter.

Kedua formasi tersebut (yang mengandung batupasir kuarsa) merupakan

kendala tersendiri pada saat dilakukan eksplorasi batubara, misalnya pada saat melakukan pengeboran. Pada saat eksploitasi penambangan, juga bisa menjadi kendala, misalnya wilayah batupasir kuarsa pada lokasi yang jenuh air dapat menyebabkan longsor.

Untuk mengantisipasi longsor di lokasi tambang, maka desain lereng yang tepat untuk tambang terbuka sangatlah diperlukan. Pada kondisi yang memerlukan penanganan cepat, metode penentuan sudut lereng stabil dengan *Slope Mass Rating* dapat dilakukan. Beberapa penulis telah memberikan rumus persamaan untuk mendapatkan nilai lereng stabil melalui kajian pembobotan massa lereng berdasarkan kajian pembobotan massa batuan. Para penulis tersebut adalah: Laubscher, Romana, Orr dan Hall, namun khusus untuk daerah yang banyak memiliki kelas *RMR* rendah (misalnya adanya material yang kurang terkonsolidasi seperti pasir kuarsa), dibutuhkan nilai *SMR* yang aman. Oleh sebab itu dalam tulisan ini diusulkan koreksi rumus baru berdasarkan penelitian terdahulu, kajian lapangan, dan nilai *RMR* pada salah satu lubang bor di Sangasanga, Kalimantan Timur.



Gambar 1. Lokasi penelitian

METODE PENELITIAN

Beberapa metode perhitungan *SMR* telah dikembangkan oleh beberapa penulis dan hampir semuanya berdasarkan parameter-parameter dalam *RMR*. Klasifikasi geomekanik (Bieniawski, 1989), juga dipakai dalam memperkirakan kestabilan suatu pengupasan lereng massa batuan. Sama halnya dengan penilaian terowongan, penilaian kestabilan lereng juga menggunakan data hasil observasi lapangan dan data laboratorium (lihat Tabel 2) sehingga dalam pembobotan dapat dilihat nilai *RMR*. Pembobotan massa batuan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 2.

Sangat buruk	Nilai RMR	0 - 20
Buruk	Nilai RMR	21 - 40
Sedang	Nilai RMR	41 - 60
Baik	Nilai RMR	61 - 80
Sangat Baik	Nilai RMR	81 - 100

SMR digunakan untuk memperkirakan sudut kemiringan lereng pengupasan yang aman berdasarkan parameter *RMR*. Romana (1993) mengaitkan nilai *RMR* dengan faktor penyesuaian dari orientasi kekar terhadap orientasi lereng serta sistem pengupasan lereng dalam bentuk angka rating (pembobotan), yaitu:

Tabel 3.

F1	mencerminkan paralelisme antara arah kekar dan arah lereng
F2	memperlihatkan kemiringan kekar
F3	memperlihatkan hubungan kemiringan kekar dengan kemiringan lereng
F4	merupakan penyesuaian untuk metoda pengupasan.

Romana (1993) melakukan penilaian *SMR* dengan melibatkan empat faktor di atas melalui rumusan berikut:

$$SMR = RMR - (F1 \times F2 \times F3) + F4.$$

RMR didapat dengan cara analisis geomekanika melalui penilaian 5 parameter, yaitu :kekuatan batuan utuh, *Rock Quality Designation* (*RQD*), spasi bidang diskontinuitas, kondisi bidang diskontinuitas, kondisi airtanah.

Laubscher (1975, dalam Djakamihardja & Soebowo, 1996) membahas hubungan *RMR* dan *SMR* sebagai berikut:

Tabel 4.

Nilai RMR	Sudut lereng yang disarankan
81 - 100	75°
61 - 80	65°
41 - 60	55°
21 - 40	45°
0 - 20	35°

Hall (1985, dalam Djakamihardja & Soebowo, 1996) memberikan nilai *SMR*, sebagai:

$$SMR = 0,65 RMR + 25$$

sedangkan Orr (1992, dalam Djakamihardja & Soebowo, 1996) membahas hubungan sebagai :

$$SMR = 35 \ln RMR - 71$$

Berdasarkan Laubscher, nilai *SMR* didapat melalui pembobotan massa batuanya. Untuk kelas IV dengan nilai *RMR* 0 – 21, Laubscher masih memberikan angka 35° untuk sudut lereng yang dianggap aman. Untuk beberapa lokasi rawan longsor, sudut sebesar ini masih dianggap beresiko apalagi jika material lereng masih mengandung material lepas (urai).

Hasil *SMR* dari Romana (1993) menunjukkan nilai yang lebih baik, karena mempertimbangkan sistem pengupasan lereng dan mempertimbangkan orientasi kekar dan kemiringan lereng.

Hasil yang diusulkan oleh Hall merupakan persamaan regresi linier antara nilai sudut yang dianggap aman terhadap nilai *RMR*. Sedangkan hasil yang diusulkan oleh Orr merupakan persamaan regresi logaritmik antara nilai sudut yang dianggap aman terhadap nilai *RMR*.

HASIL PENGAMATAN LAPANGAN

Berdasarkan pengamatan di lapangan (pada saat pengeboran), telah didapatkan log bor yang digunakan juga untuk penilaian bobot massa batuanya (lihat Tabel 2). Dari nilai pembobotan massa batuan (*RMR*) dapat dihitung nilai pembobotan massa lereng (*SMR*) menurut cara perhitungan beberapa penulis terdahulu (Romana, Laubscher, Hall, dan Orr). Dari hasil penulis tersebut, dibuat koreksinya (Tabel 3). Nilai

SMR yang diusulkan adalah nilai SMR terkecil dari beberapa persamaan (lihat Tabel 4. Rumus perhitungan SMR koreksi), yaitu:

- 1) $SMR = 68,22 \ln (RMR) - 225,5$
(untuk persamaan logaritmik);
- 2) $SMR = 1,262 RMR - 22,30$
(untuk persamaan linier);
- 3) $0,082 RMR^{1,580}$
(untuk persamaan power);
- 4) $SMR = 9,191e0,029RMR$
(untuk persamaan eksponensial).

Grafik hubungan antara SMR dengan RMR berikut masing-masing persamaannya dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. Perencanaan lereng kupasan adalah berdasarkan rumus yang didapat, maka perkiraan sudut lereng yang aman pada setiap kedalaman juga dapat dikoreksi (Tabel 5).

DISKUSI

Pada saat pemboran di lapangan selalu terdapat kendala, yaitu kesulitan mendapatkan contoh batuan disebabkan kondisi Formasi Balikpapan di bagian atasnya tersusun oleh pasir kuarsa (dengan berbagai ketebalan), sehingga pengeboran mengalami *core loose* (nilai RQD dapat diperkirakan kecil sekali atau sampai 0%). Untuk mendapatkan contoh yang dapat mewakili lapisan Formasi Balikpapan bagian atas, terutama untuk bagian yang *loose*, dilakukan pengambilan contoh tak terganggu (*undisturbed sample*) dengan cara *test pit*. Pada beberapa kondisi, lubang bor terpaksa dipindahkan ke lokasi pemboran pengganti.

Pada beberapa lokasi tambang terjadi longsoran. Berdasarkan analisis lapangan, longsoran mengikuti retakan-retakan. Beberapa penyebab longsoran lainnya adalah:

1. Penurunan ketahanan batuan pada lapisan lempung pasir (sandy clay) akibat berkembangnya retakan-retakan sehingga tidak sanggup menopang beban dari

material di atasnya (pasir lempungan, bersifat *loose*). Air yang masuk ke dalam retakan dapat menyebabkan ketahanan lapisan lempung menjadi berkurang.

2. Hujan dapat menjadi pemicu longsoran karena terdapat resapan air (infiltrasi) melalui lapisan pasir lepas (*loose*) di bagian atasnya yang dapat memicu percepatan laju air dari permukaan tanah sampai memasuki celah-celah/retakan di bawahnya.
3. Adanya akumulasi air pada cekungan-cekungan permukaan teras lereng dapat menurunkan ketahanan geser (atau menaikkan tekanan pori).

Pada lereng yang bermasalah, diperlukan analisis kestabilan lereng yang lebih mendalam. Lereng rekayasa perlu didapatkan melalui berbagai cara, antara lain dengan memperlandai sudut lereng atau dengan membuat terasering (undak-undak). Juga diperlukan upaya perbaikan pengaliran air (*drainage improvement*) dengan melakukan pengaliran air pada bagian yang bermaterial pasir lepas dengan infiltrasi (resapan) tinggi.

KESIMPULAN

Perhitungan nilai SMR pada batuan yang kurang terkonsolidasi (urai), diperlukan koreksi berdasarkan RMR dan nilai SMR peneliti sebelumnya. Nilai SMR yang diusulkan untuk dipakai adalah nilai SMR terkecil sebagai antisipasi mendapatkan angka kestabilan lereng paling aman, meskipun untuk tambang terbuka akan disesuaikan dengan nilai ekonomis tambang. Untuk hasil yang lebih baik, diperlukan tambahan data yang memadai disertai analisis statistika.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada segenap pihak yang telah menyediakan data, khususnya rekan-rekan di Laboratorium Geologi Teknik UNPAD.

Tabel 5. Rock Mass Rating dan Slope Mas Rating lokasi penelitian

Dalam	Simbol	Batuan	UCS kg/cm ² Rating	RQD	Spasi Kekar (cm) Rating	Kondisi kekar Rating	Kondisi M.A.T. Rating	F1	F2	F3	F4	RMR total Rating	SMR (°)				
													Kelas	Laub 1)	Rom 2)	Hall 3)	Orr 4)
0.00-2.10		pasir kuarsa lempungan	0	< 25 0	5 5	lapuk 5	Lembab 10	180 0,15	45 1	42,5 1	0 0	22,15	IV	45	22	39,4	37,42
2.10-10.80		Pasir kuarsa lapuk	0	< 25 0	5 5	lapuk 20	Lembab 10	180 0,15	45 1	42,5 1	0 0	37,15	IV	45	37	49,15	55,52
10.80-13.75		Batupasir kuarsa	0	< 25 0	5 5	relatif agak lapuk 20	Lembab 10	180 0,15	45 1	42,5 1	0 0	37,15	IV	45	37	49,15	55,52
13.75-19.90		Mudstone	3,84 0	< 25 0	5 5	agak lapuk 25	Lembab 10	180 0,15	45 1	42,5 1	0 0	42,15	III	55	42	52,4	59,94
19.90-23.87		Batulanau	0	< 25 0	5 5	tak lapuk 30	Lembab 10	180 0,15	45 1	42,5 1	0 0	47,15	III	55	47	55,65	63,87
23.87-26.60		Mudstone	0	87 17	5 5	tak lapuk 30	Lembab 10	182,5 0,15	42,5 1	87,5 0	0 0	63,15	II	65	63,15	66,05	74,09
26.60-27.40		Batubara	0	87 17	5 5	tak lapuk 30	Lembab 10	182,5 0,15	42,5 1	87,5 0	0 0	63,15	II	65	63,15	66,05	74,09
27.40-29.60		Batulanau	10,12 0	75 17	5 5	tak lapuk 30	Lembab 10	182,5 0,15	42,5 1	87,5 0	0 0	63,15	II	65	63,15	66,05	74,09
29.60-32.90		Mudstone	0	79,5 17	5 5	tak lapuk 30	Lembab 10	165 0,15	30 1	75 0	0 0	63,15	II	65	63,15	66,05	74,09
32.90-36.30		Batupasir kuarsa	9,34 0	84,2 17	5 5	tak lapuk 30	basah 7	135 0,15	20 0,7	65 0	0 0	59,85	III	65	59,85	63,9	72,21
36.30-37.30		Silty- mudtone	0	87 17	5 5	tak lapuk 30	Lembab 10	182,5 0,15	42,5 1	87,5 0	0 0	63,15	II	65	63,15	66,05	74,09
37.30-46.29		Batupasir lanauan	0	91,6 20	5 5	lp organik 10	Lembab 10	182,5 0,15	42,5 1	87,5 0	0 0	46,15	III	55	46,15	55	63,12
46.29-48.05		Batubara	0	< 25 0	5 5	soft wall 20	Lembab 10	182,5 0,15	42,5 1	87,5 0	0 0	36,15	III	45	36,15	48,5	54,57

Nilai UCS kurang dari 3 MPa atau < 3000 Kpa atau < 3000 KN/M² atau < 30,6 Kg/cm²)

Tabel 6. Rock Mass Rating dan Slope Mas Rating lokasi penelitian(lanjutan)

Dalam	Simbol	Batuan	UCS kg/cm ² Rating	RQD	Spasi kekar (cm) Rating	Kondisi kekar Rating	Kondisi M.A.T. Rating	F1	F2	F3	F4	RMR total Rating	Kelas	SMR (°)			
														Laub 1)	Rom 2)	Hall 3)	Orr 4)
48.05-48.85		Mudstone	0	52,5 8	< 60mm 5	tak lapuk 30	Lembab 10	165 0,15	30 1	75 0	0 0	54,15	III	55	54,15	60,2	68,71
48.85-55.20		Batupasir lempung	0	81 20	< 60mm 5	lp organik 10	Lembab 10	135 0,15	35 1	75 0	0 0	46,15	III	55	46,15	55	63,12
55.20-56.98		Batulanau- lempungan	0	< 25 0	< 60mm 5	relatifagak lapuk 25	Lembab 10	180 0,15	45 1	42,5 1	0 0	42,15	IV	45	42	52,4	59,94
56.98-57.90		Batubara	0	< 25 0	< 60mm 5	lapuk 20	Lembab 10	180 0,15	45 1	42,5 1	0 0	37,15	IV	45	37	49,15	55,52
57.90-65.52		Batulanau- lempungan	0	< 25 0	< 60mm 5	relatifagak lapuk 20	Lembab 10	180 0,15	45 1	42,5 1	0 0	37,15	IV	45	37	49,15	55,52
65.52-67.90		Batubara	0	< 25 0	< 60mm 5	agak lapuk 25	Lembab 10	180 0,15	45 1	42,5 1	0 0	42,15	III	55	42	52,4	59,94
67.90-70.90		Batulanau- lempungan	0	< 25 0	< 60mm 5	tak lapuk 30	Lembab 10	180 0,15	45 1	42,5 1	0 0	47,15	III	55	47	55,65	63,87
70.90-75.50		Batupasir lanauan	0	87 17	< 60mm 5	tak lapuk 30	Lembab 10	182,5 0,15	42,5 1	87,5 0	0 0	63,15	II	65	63,15	66,05	74,09
75.50-85.90		Batulanau pasiran	0	87 17	< 60mm 5	tak lapuk 30	Lembab 10	182,5 0,15	42,5 1	87,5 0	0 0	63,15	II	65	63,15	66,05	74,09
85.90-88.80		Batupasir lanauan	0	75 17	< 60mm 5	tak lapuk 30	Lembab 10	182,5 0,15	42,5 1	87,5 0	0 0	63,15	II	65	63,15	66,05	74,09
88.80-96.30		Batupasir	0	79,5 17	< 60mm 5	tak lapuk 30	Lembab 10	165 0,15	30 1	75 0	0 0	63,15	II	65	63,15	66,05	74,09
96.30-98.50		Batulanau pasiran	0	84,2 17	< 60mm 5	tak lapuk 30	basah 7	135 0,15	20 0,7	65 0	0 0	59,85	III	65	59,85	63,9	72,21
98.50-100.9		Batupasir lanauan	0	87 17	< 60mm 5	tak lapuk 30	Lembab 10	182,5 0,15	42,5 1	87,5 0	0 0	63,15	II	65	63,15	66,05	74,09

Nilai UCS kurang dari 3 MPa atau < 3000 Kpa atau < 3000 KN/M² atau < 30,6 Kg/cm²)

Tabel 7.

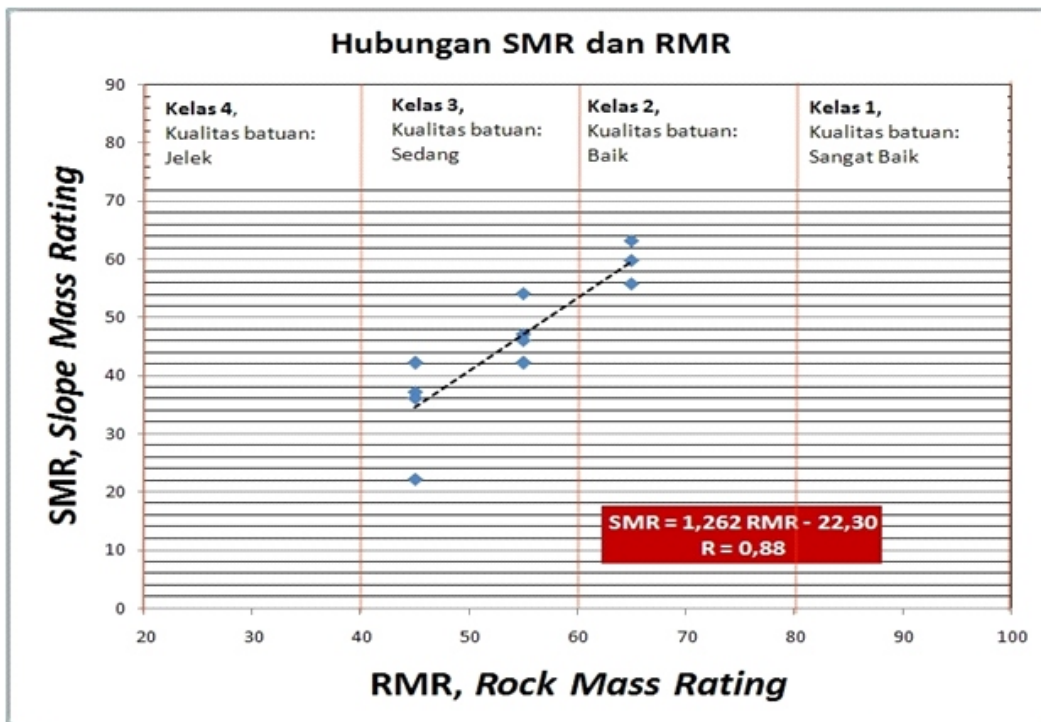
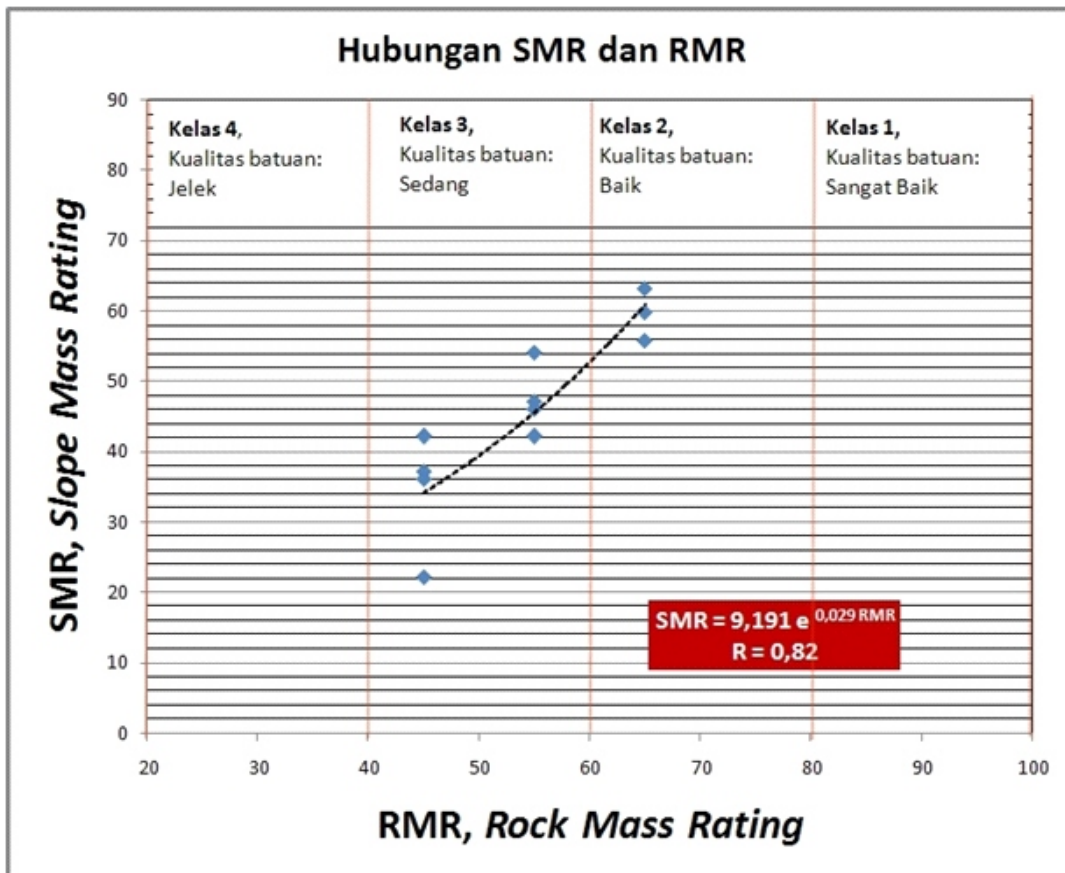
RMR	Slope Mass Rating								
	Laubcher	Romana	Hall	Orr	Z-log	Z-linier	Z-power	Z-exp	Rata-rata
22,15	45,00	22,0	39,40	37,42	-14,17	5,65	10,95	17,47	20,47
36,15	45,00	36,2	48,50	54,57	19,25	23,32	23,75	26,22	34,59
37,15	45,00	37,0	49,15	55,52	21,11	24,58	24,79	26,99	35,52
42,15	45,00	42,0	52,40	59,94	29,73	30,89	30,27	31,21	40,18
46,15	55,00	46,2	55,00	63,12	35,91	35,94	34,93	35,04	45,14
47,15	55,00	47,0	55,65	63,87	37,37	37,20	36,13	36,07	46,04
54,15	55,00	54,2	60,20	68,71	46,82	46,04	44,97	44,19	52,51
55,85	65,00	55,9	61,30	69,79	48,92	48,18	47,22	46,43	55,34
59,85	65,00	59,9	63,90	72,21	53,64	53,23	52,67	52,14	59,08
63,15	65,00	63,2	66,05	74,09	57,30	57,40	57,33	57,37	62,21

Keterangan :

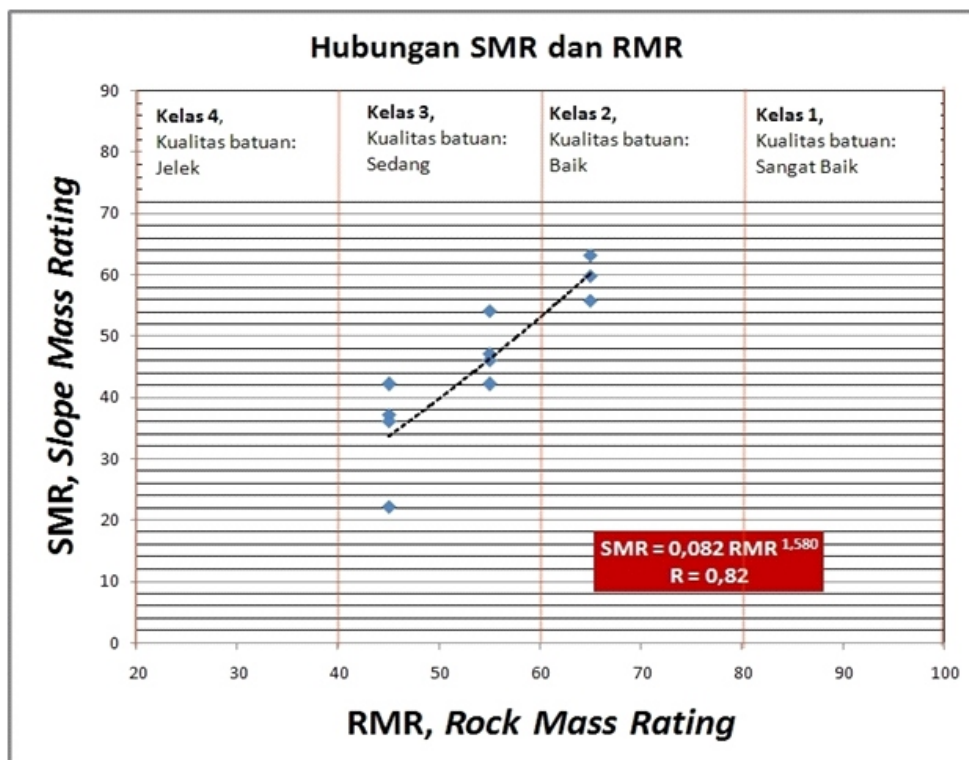
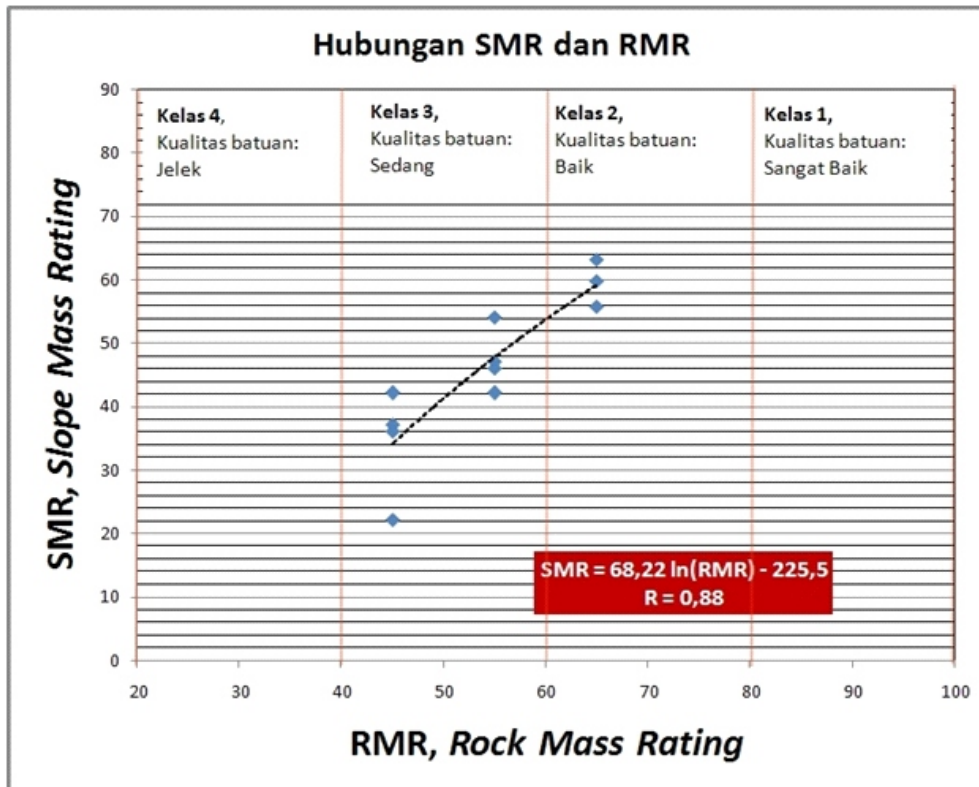
Nilai SMR dari penulis terdahulu, diambil dari nilai berdasarkan Romana (sudut lereng paling kecil, warna kuning) Z-log, Z-linier, Z-power, Z-exp, adalah persamaan koreksi SMR. Nilai SMR terkecil hasil koreksi diwarnai hitam. Nilai ini berdasarkan nilai RMR-nya dan persamaan Tabel 4.

Tabel 8.
Rumus perhitungan SMR koreksi

Jenis	Persamaan hasil koreksi	R
Log	$SMR = 68,22 \ln(RMR) - 225,5$	0,88
Linier	$SMR = 1,262RMR - 22,30$	0,88
Power	$SMR = 0,082RMR^{1,580}$	0,82
Exp	$SMR = 9,191e^{0,029RMR}$	0,82



Gambar 2. Hubungan SMR dengan RMR, eksponensial (atas) dan linier (bawah)



Gambar 3. Hubungan SMR dengan RMR, logaritmik (atas), dan power (bawah)

Tabel 9.
Perkiraan sudut lereng aman berdasarkan koreksi SMR per-kedalaman

Dalam	Batuan	RMR	SMR (°)				S M Rkoreksi (°)			
			Laub	Rom	Hall	Orr	Z-log	Z-linier	Z-power	Z-exp
			1)	2)	3)	4)				
0.00-2.10	pasir kuarsa lempungan	22,15	45	22	39,4	37,42	-14,17	5,65	10,95	17,47
2.10-10.80	Pasir kuarsa lapuk	37,15	45	37	49,15	55,52	21,11	24,58	24,79	26,99
10.80-13.75	Batupasir kuarsa	37,15	45	37	49,15	55,52	21,11	24,58	24,79	26,99
13.75-19.90	Batulempung	42,15	55	42	52,4	59,94	29,73	30,89	30,27	31,21
19.90-23.87	Batulanau	47,15	55	47	55,65	63,87	37,37	37,20	36,13	36,07
23.87-26.60	Batulempung	63,15	65	63,15	66,05	74,09	57,30	57,40	57,33	57,37
26.60-27.40	Batubara	63,15	65	63,15	66,05	74,09	57,30	57,40	57,33	57,37
27.40-29.60	Batulanau	63,15	65	63,15	66,05	74,09	57,30	57,40	57,33	57,37
29.60-32.90	Batulempung	63,15	65	63,15	66,05	74,09	57,30	57,40	57,33	57,37
32.90-36.30	Batupasir kuarsa	59,85	65	59,85	63,9	72,21	53,64	53,23	52,67	52,14
36.30-37.30	Batulempung lanauan	63,15	65	63,15	66,05	74,09	57,30	57,40	57,33	57,37
37.30-46.29	Batupasir lanauan	46,15	55	46,15	55	63,12	35,91	35,94	34,93	35,04
46.29-48.05	Batubara	36,15	45	36,15	48,5	54,57	19,25	23,32	23,75	26,22
48.05-48.85	Batulempung	54,15	55	54,15	60,2	68,71	46,82	46,04	44,97	44,19
48.85-55.20	Batupasir lempungan	46,15	55	46,15	55	63,12	35,91	35,94	34,93	35,04
55.20-56.98	Batulanau-lempungan	42,15	45	42	52,4	59,94	29,73	30,89	30,27	31,21
56.98-57.90	Batubara	37,15	45	37	49,15	55,52	21,11	24,58	24,79	26,99
57.90-65.52	Batulanau-lempungan	37,15	45	37	49,15	55,52	21,11	24,58	24,79	26,99
65.52-67.90	Batubara	42,15	55	42	52,4	59,94	29,73	30,89	30,27	31,21
67.90-70.90	Batulanau-lempungan	47,15	55	47	55,65	63,87	37,37	37,20	36,13	36,07
70.90-75.50	Batupasir lanauan	63,15	65	63,15	66,05	74,09	57,30	57,40	57,33	57,37
75.50-85.90	Batulanau pasiran	63,15	65	63,15	66,05	74,09	57,30	57,40	57,33	57,37
85.90-88.80	Batupasir lanauan	63,15	65	63,15	66,05	74,09	57,30	57,40	57,33	57,37
88.80-96.30	Batupasir	63,15	65	63,15	66,05	74,09	57,30	57,40	57,33	57,37
96.30-98.50	Batulanau pasiran	59,85	65	59,85	63,9	72,21	53,64	53,23	52,67	52,14
98.50-100.9	Batupasir lanauan	63,15	65	63,15	66,05	74,09	57,30	57,40	57,33	57,37

DAFTAR PUSTAKA

Bieniawski, Z.T., 1989, Engineering Rock Mass Classifications, John Wiley, New York.
 Djakamihardja, A.S., dan Soebowo, E., 1996, Studi kemantapan lereng batuan pada jalur jalan raya Liwa-Krui, Lampung Barat: Suatu pendekatan metoda empiris, Prosiding Kemantapan Lereng Pertambangan Indonesia II, Jurusan Teknik Pertambangan, ITB, hal. 153-163
 Hidayat, S., & Umar, I., 1994, Peta Geologi Lembar Balikpapan, Kalimantan, Skala 1:250.000, P3G (PSG), Bandung.
 Hirnawan, R.F., & Zakaria, Z., 2002, Geoteknik dan geomekanik, Lab Geologi Teknik Prodi Teknik Geologi, FTG-Unpad, 9 hal
 Romana, M., Seron, J.B., & Montalar, E., 2003, SMR Geomechanics classification: Application, experience and validation, ISRM 2003–Technology roadmap for rock mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy, 2003. p. 1-4
 Romana, M.R., 1993, A Geomechanical Classification for Slopes: Slope Mass Rating, Pergamon Press, Oxford - New York Seoul Tokyo, 45p.

Diterima tanggal 10 September 2012
 Revisi tanggal 29 Oktober 2012