

**DESAIN LERENG FINAL DENGAN METODE RMR, SMR DAN
ANALISIS KESTABILAN LERENG:
PADA TAMBANG BATUBARA TERBUKA, DI KABUPATEN TANAH LAUT,
PROVINSI KALIMANTAN SELATAN**

**FINAL SLOPE DESIGN USING RMR, SMR AND
SLOPE STABILITY ANALYSIS METHODS:
AT COAL OPEN PIT, TANAH LAUT REGENCY,
SOUTH KALIMANTAN PROVINCE**

Oleh:

Galih W. Swana, Dicky Muslim, Irvan Sophian

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

SARI

Dalam menentukan kemiringan desain final lereng yang dibentuk, salah satu caranya ialah dengan menggunakan metode geomekanik melalui penentuan nilai *Rock Mass Rating (RMR)* dan nilai *Slope Mass Rating (SMR)*. Namun, dari nilai *SMR* tidak diketahui faktor keamanan dari lereng tersebut sehingga diperlukan analisis kestabilan lereng. Nilai kemiringan lereng dan faktor keamanannya dapat menjadi acuan untuk membuat desain lereng final yang representatif.

Penelitian dilakukan di tambang terbuka yang terdapat di Kecamatan Jorong Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan. Daerah penelitian terletak pada Formasi Warukin dengan unit stratigrafinya yaitu batupasir (pasir kasar - halus), *mudstone* dan *carbonaceous mudstone*, serta batubara dengan jurus N 80° – 90° E dan kemiringan 29° - 35°. *RMR* pada section Sidewall berkisar antara 25- 59, dan *SMR* berkisar antara 30,1° – 59°; pada section *Western Lowwall* atau data bor AGT-02 dan AGT-03 berkisar antara 20 - 55 dan *SMR* berkisar antara 20° – 55°. Pada section *Western Highwall* *RMR* berkisar antara 34 -71 dan *SMR* berkisar antara 33,06° – 71°. Pada section *Eastern Lowwall* *RMR* berkisar antara 20 - 55 dan *SMR* berkisar antara 20° – 54,96°. Pada section *Eastern Highwall* *RMR* berkisar antara 29 - 79 dan *SMR* berkisar antara 29° – 52°.

Dari hasil analisis kestabilan lereng, pada umumnya nilai kemiringan lereng hasil dari nilai *SMR* berada pada kondisi labil sampai stabil sehingga perlu dilakukan penurunan muka air tanah pada beberapa bagian agar dihasilkan desain final lereng yang stabil.

Kata Kunci : Geomekanika, analisis kestabilan lereng, desain lereng final

ABSTRACT

In determining the slope of the final design of formed slopes, one of the way is by using the method of geomechanic that determining value through Rock Mass Rating (RMR) and the Slope Mass Rating (SMR). However, from the SMR value the safety factor of the slope is unknown, so that the slope stability analysis is required. Slope value and the safety factor can be used as a reference to create the final design of representative slopes.

This research was conducted in Jorong District, Tanah Laut Regency, South Kalimantan Province. Morphology in the research area is slightly flat because it is not far from the beach in

the south side, where the northern side is a production forest. The research area lies on the Warukin Formation, which consists of sandstone (coarse to fine sand), mudstone, carbonaceous mudstone, and coal bed with strike $N80^{\circ}-90^{\circ}E$ and dip $29^{\circ}-35^{\circ}$. RMR in the Sidewall section ranges between 25-59, and the SMR ranged between $30.1^{\circ} - 59^{\circ}$; on the Western Lowwall section or drill data of AGT-02 and AGT-03 RMR ranged between 20-55 and the SMR ranged between $20^{\circ} - 55^{\circ}$. In Western Highwall section RMR ranged between 34 -71 and the SMR ranged between $33.06^{\circ} - 71^{\circ}$. In the Eastern Lowwall section RMR ranged between 20-55 and the SMR ranged between $20^{\circ} - 54.96^{\circ}$. In the Eastern Highwall section of RMR ranged between 29-79 and the SMR ranged between $29^{\circ} - 52^{\circ}$.

The result of slope stability analysis shows that slope of SMR values are in unstable to stable condition, therefore it is necessary to reduce the groundwater level to obtain a stable final slope design.

Keywords : Geomechanics, slope stability analysis, final slope design

PENDAHULUAN

Dalam penambangan terbuka (*open pit mining*), desain lereng final adalah salah satu faktor terpenting dalam keberlangsungan pertambangan. Beberapa cara yang dilakukan untuk membuat suatu desain final diantaranya dengan analisis geomekanika dan analisis kestabilan lereng. Analisis geomekanika diantaranya mencakup kegiatan pengeboran dan uji laboratorium untuk mendapatkan data parameter fisik dan kekuatan batuan yang dibutuhkan untuk mengetahui deskripsi massa batuan (Sjoberg, 1997). Sedangkan untuk mendapat desain lereng tambang, diperlukan data lapangan, baik berupa morfologi setempat, jurus-kemiringan dan jenis batuan, kondisi airtanah, dan lainnya, yang diperlukan untuk simulasi kestabilan lereng.

Data *geotechnical drilling log* diambil dan diuji di laboratorium mekanika batuan guna mendapatkan parameter kekuatan fisik yang dibutuhkan untuk mendapatkan klasifikasi massa batuan yang akan memperhitungkan kondisi stabil dari setiap jumlah kelas massa batuan yang dideskripsi dengan mengukur *Unconfined Compressive Strength (UCS)*, *Rock Quality Designation (RQD)* (Bienawski, 1989) dan identifikasi diskontinuitas dari batuan serta kondisi air tanah pada *sample core*.

Dalam penentuan klasifikasi masa batuan digunakan penghitungan *Rock Mass Rating (RMR)* (Bieniawski, 1989), kemudian dari hasil pembobotan nilai *RMR* diperoleh sudut maksimum pemotongan lereng (*slope*)

suatu masa batuan dalam keadaan stabil dengan menghitung nilai *Slope Mass Rating (SMR)*. Namun nilai *SMR* belum memberikan nilai keamanan dari suatu lereng, maka diperlukan analisis kestabilan lereng.

Penelitian dilakukan di Kecamatan Jorong, Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan, utamanya berada di daerah Y yang tersusun oleh pit 1 dan pit 2. Morfologi daerah ini berupa pedataran landai yang tidak jauh dari garis pantai di sebelah selatan. Di sebelah utara terdapat hutan dengan berbagai macam tumbuhan berukuran kecil ataupun besar.

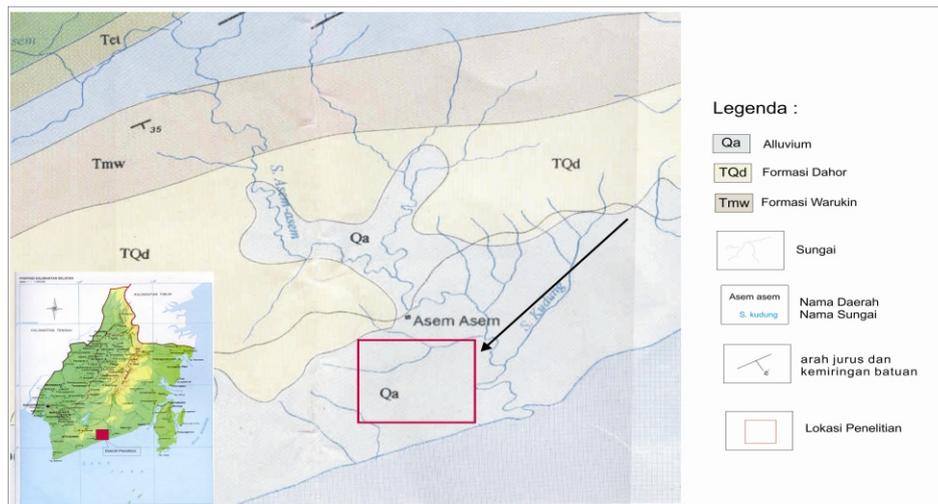
Maksud penelitian ini adalah untuk mengetahui desain lereng tambang final berdasarkan nilai *SMR*. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan klasifikasi massa batuan berdasarkan karakteristik geomekanik (*RMR*), kemudian mengetahui nilai sudut yang dibentuk dari massa batuan tersebut (*SMR*), setelah itu dilakukan analisis kestabilan lereng untuk mengetahui nilai *Factor of Safety (FS)* dengan bantuan *software Slope/W 2004* untuk kemudian dibuat desain lereng final yang representatif di daerah penelitian.

KAJIAN PUSTAKA

Geologi Regional

Daerah penelitian termasuk dalam Subcekungan Asam-Asam sebagai bagian dari Cekungan Barito dan masuk ke dalam Formasi Warukin (Gambar 1).

Daerah penelitian terdiri dari



Gambar 1. Peta geologi regional daerah penelitian (Sikumbang dan Heryanto, 1994)

perselingan batupasir kuarsa, batulempung, serpih, dan batugamping. Pada batupasir dan batulempung karbonatan sering dijumpai kongresi besi. Lapisan batubara memiliki tebal > 25 meter, berwarna hitam-abuabu, getas, kurang padu, yang dikenal sebagai Formasi Warukin. Tebal batuan Formasi Warukin antara 250 - 750 meter, diperkirakan berumur Miosen Tengah - Miosen Akhir. (Sikumbang dan Heryanto, 1994)

Klasifikasi RMR

Klasifikasi geomekanik sistem RMR adalah suatu metode empiris untuk menentukan pembobotan dari suatu massa batuan, digunakan untuk mengevaluasi ketahanan massa batuan sebagai salah satu cara untuk menentukan kemiringan lereng maksimum (Bieniawski, 1989). Klasifikasi ini didasarkan pada enam parameter yaitu kekuatan batuan (*rock strength*), *Rock Quality Designation (RQD)*, jarak diskontinuitas (*spacing of discontinuities*), kondisi diskontinuitas (*condition of discontinuities*), kondisi airtanah (*groundwater condition*), dan orientasi diskontinuitas (*orientation of discontinuities*).

Penentuan Nilai SMR

Untuk menentukan geometri lereng yang terbentuk dapat dilakukan dengan metode SMR dalam hal ini adalah metode Romana (1993) dengan formula :

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

Keterangan :

F1 = rata-rata strike dari *joint* dikurangi slope strike

F2 = rata-rata dip dari *joint*

F3 = rata-rata dip dari *joint* dikurangi sudut *slope*

Nilai F4 ditentukan berdasarkan metode ekskavasinya.

Metode *Limit Equilibrium* dalam Pemodelan *Slope/W 2004*

Software Slope/W 2004 menggunakan metode *limit equilibrium (LE)* yang telah umum digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng. Pada metode ini diasumsikan terdapat bidang gelincir yang potensial, dimana kondisi gaya (*force*) dan *moment equilibrium* ditentukan berada pada kondisi statis. Analisis ini membutuhkan informasi tentang kekuatan material.

Secara garis besar analisis ini menghasilkan keluaran berupa *Factor of Safety (Eberhardt, 2005)*, dimana rumus sederhana dalam *limit equilibrium* ini adalah :

$$FS = \frac{\text{Resisting Force}}{\text{Driving Force}} \quad \text{atau} \quad FS = \frac{\text{Shear Strength}}{\text{Shear Stress}}$$

Resisting force atau gaya penahan adalah gaya yang bekerja relatif berlawanan terhadap arah gaya penggerak umumnya dipengaruhi oleh jenis batuan dan kekuatan batuan itu sendiri. Sedangkan *Driving Force*

atau gaya penggerak ialah gaya yang bekerja berlawanan terhadap gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh diskontinuitas dari batuan, gaya gravitasi, kemiringan lereng, dan sebagainya (Eberhardt, 2005).

Sifat Fisik dan Mekanik

Sifat-sifat fisik batuan yang digunakan dalam simulasi dan mempengaruhi kestabilan lereng diantaranya adalah; berat isi batuan (γ), kadar air dalam batuan (ω), kohesi batuan (c) dan sudut geser dalam batuan (ϕ). Sudut geser dalam adalah sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser dalam suatu batuan ataupun tanah. Semakin besar sudut geser dalamnya, maka material tersebut semakin besar tahanannya terhadap tegangan luar yang diterimanya. Untuk penelitian ini penulis menggunakan bantuan software Roclab 1.0. untuk menentukan nilai sudut geser dalam.

Factor of Safety (FS)

Menurut Bowles (1984), apabila harga FS untuk suatu lereng $> 1,25$ yang berarti gaya penahan lebih besar daripada gaya penggerak, maka lereng tersebut berada dalam keadaan stabil. Tetapi, bila nilai FS $< 1,07$ yang artinya gaya penahan lebih kecil daripada gaya penggerak, maka lereng tersebut berada dalam keadaan tidak stabil dan rawan terjadi longsor. Akan tetapi, jika nilai kestabilan lerengnya $1,07 < FS < 1,25$ maka lereng tersebut berada dalam keadaan kritis.

Bowles (1984) juga menyatakan bahwa kondisi $1,07 < FS < 1,25$ tetap tidak dikehendaki, karena apabila terjadi pengurangan gaya penahan atau penambahan gaya penggerak sekecil apapun, lereng akan menjadi tidak stabil dan rawan terjadi longsor. Oleh karena itu, nilai FS selalu dibuat lebih dari 1,25.

METODOLOGI

Studi lapangan yang dilakukan ialah berupa pemetaan geologi teknik dan pengamatan *geotechnical drilling log* untuk mengetahui beberapa parameter geoteknik seperti jenis litologi, *strength* dari material, tingkat pelapukan, tipe dan bentuk diskontinuitas serta *GSI (Geological Strength Index)* sebagai parameter untuk

melakukan pemodelan desain lereng tambang.

Kemudian dilakukan pengumpulan data geomekanik untuk memperoleh gambaran awal mengenai kondisi massa batuan dengan menggunakan klasifikasi geomekanik sistem *RMR*, dengan cara :

1. Menjumlahkan nilai bobot dari parameter *UCS*, *RQD*, jarak diskontinuitas, kondisi diskontinuitas, dan kondisi airtanah, sehingga diperoleh nilai *RMR* dasar.
2. Menentukan nilai *RMR* terkoreksi dengan cara menjumlahkan nilai bobot dari langkah pertama dan kedua, kemudian menentukan kelas massa batuan berdasarkan nilai *RMR* terkoreksi.
3. Menentukan nilai *SMR* dengan mengambil parameter – parameter terkait yaitu *strike* dan *dip* dari *joint* serta dari *slope*.
4. Dengan rumus *SMR* diakumulasikan dengan nilai *RMR* sehingga diperoleh nilai *SMR* yang akan digunakan di tiap *section*.
5. Geometri lereng final mengacu kepada nilai *SMR* menurut Romana (1993), dengan membuat *overall slope* berdasarkan nilai rata – rata *SMR* dan nilai *SMR* terkecil dikarenakan nilai rata – rata dan nilai *SMR* terkecil tersebut dianggap sudah mewakili dari semua nilai *SMR* yang ada.
6. Kemudian dengan menggunakan bantuan *Software Roclab 1.0* didapat nilai kohesi (c) dan nilai sudut geser dalam, dan mengkorelasinya dengan hasil data laboratorium mekanika batuan.
7. Melakukan analisis kestabilan lereng menggunakan *software Slope/W 2004* untuk diperoleh nilai *Factor of Safety*. Simulasi kestabilan lereng dilakukan 3 kali yaitu, analisis dalam keadaan *non saturated*, *saturated* tanpa pengaruh gempa, dan *saturated* dengan pengaruh koefisien gempa. Berdasarkan data kegempaan regional Provinsi Kalimantan Selatan yang memiliki *Seismic load* horisontal sebesar 0.01 dan vertikal sebesar 0.005.

HASIL DAN PEMBAHASAN

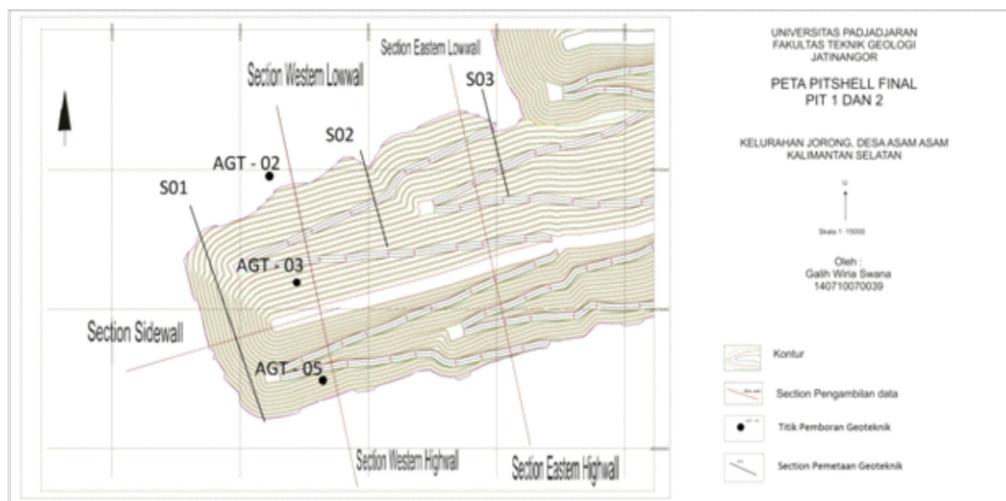
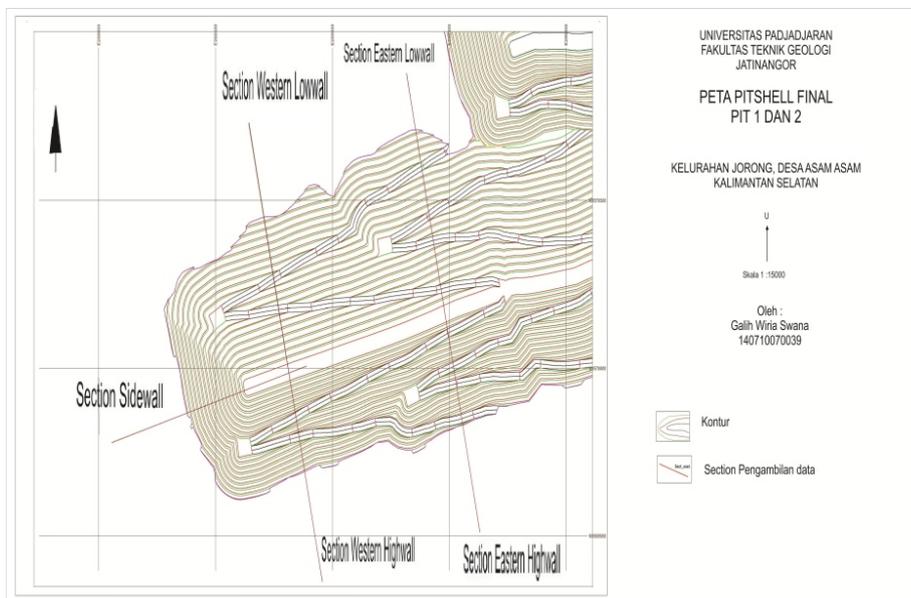
Geologi Teknik

Hasil uji *Direct Shear* pada *sample*

Tabel 1.
Sifat mekanik batuan pada daerah penelitian

No.	Material	γ_{dry} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)
1	Mudstone	18	20.34	101-249	17.11 -31.5
2	Carbonaceous Mudstone	18.6	21.018	45-148	9.01 -21.85
3	Batupasir	17.9	20.94	130.3-550	21-46.37
4	Batubara	13.5	20.115	130-464	25.46-48.42

Keterangan:
 γ_{dry} = Bobot isi kering
 γ_{sat} = Bobot isi jenuh
 c = Kohesi
 ϕ = Sudut geser dalam



Gambar 2. Posisi lereng di daerah penelitian, titik pengeboran geoteknik, section pemetaan geoteknik dan section yang akan dianalisis

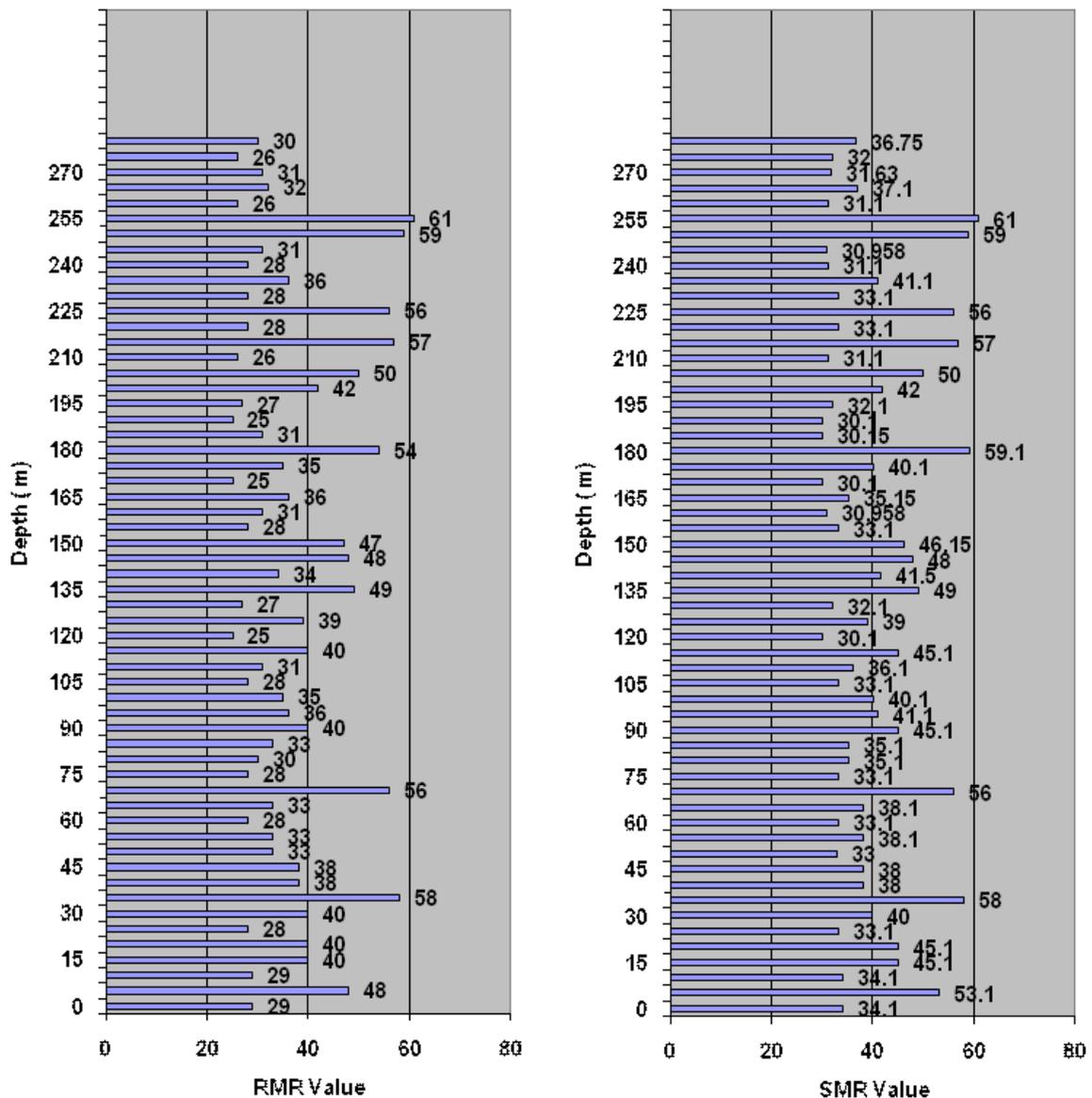
dari daerah penelitian dan hasil penghitungan pada *software Roclab 1.0* diperoleh sifat fisik dan mekanik batuan seperti pada tabel 1.

Penulis membagi bahasan menjadi 5 bagian berdasarkan posisi lerengnya yaitu *Sidewall*, *Western Lowwall*, *Western Highwall*, *Eastern Lowwall*, dan *Eastern Highwall*. Posisi lereng pada daerah penelitian digambarkan pada peta Gambar 2.

Geomekanik Batuan
Sidewall

Sidewall adalah lereng penghubung lereng *Highwall* dan *Lowwall*. Lereng *sidewall* memiliki arah kemiringan relatif sejajar terhadap arah jurus pelapisan batuan.

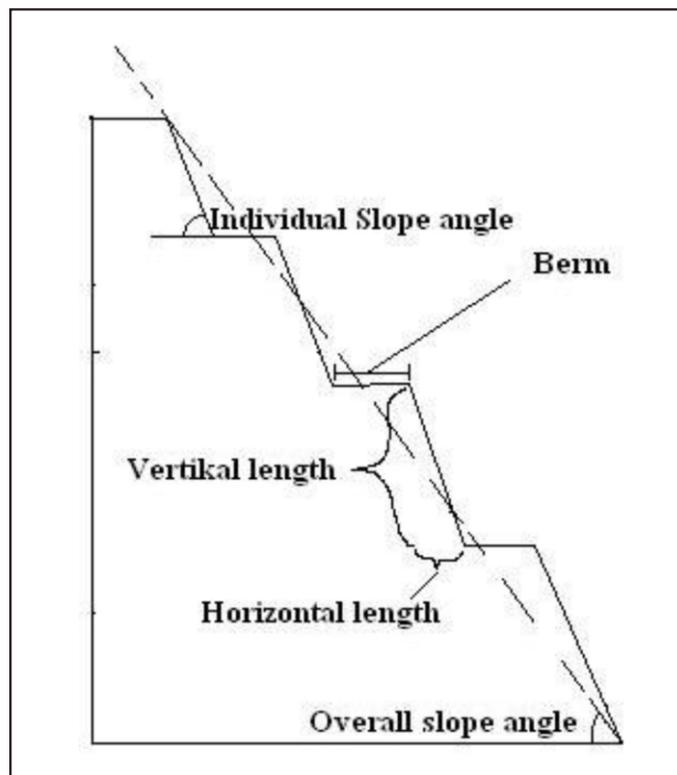
Data *RMR* diperoleh dari pemetaan geomekanik pada section S01. Kisaran *RMR* pada section *Sidewall* berkisar antara 25 – 59 (Gambar 3) yang termasuk kelas massa



Gambar 3. Rekapitulasi data *RMR* dan *SMR* pada section S01 berbanding terhadap kedalaman

Tabel 2.
Geometri lereng pada section Sidewall

<i>Sidewall</i>	<i>Overall slope</i>	<i>Jumlah Undakan</i>	<i>Perbandingan bench Horizontal :V ertikal</i>	<i>Lebar Berm</i>	<i>Individual slope</i>
Rata - rata SMR	39.67°	16	6 : 10	7.62 m	62.8°
SMR terkecil	30.1°	16	7 : 10	9.52 m	53°
Desain Final Lereng sebelumnya	34°	16	7 : 10	9.50 m	59°



Gambar 4. Parameter-parameter dalam geometri lereng tambang

Tabel 3.
Hasil Analisis kestabilan lereng pada lereng Sidewall

<i>Sidewall</i>	<i>Overall slope</i>	<i>FS</i>		
		<i>Non-saturated</i>	<i>Saturated</i>	<i>Saturated+Seismic Load</i>
Rata – rata SMR	39.67°	1.882	1.303	1.282
SMR terkecil	30.1°	2.632	1.885	1.841
Desain Final Lereng sebelumnya	34°	2.158	1.525	1.489

batuan kelas III dan IV sebagai nilai *RMR* terkecil atau *poor rock*.

Nilai *SMR* berkisar antara 30.1° – 59° (Gambar 3) dan untuk simulasi digunakan nilai rata – rata dan nilai *SMR* terkecil. Tabel 2 adalah geometri lereng yang akan dilakukan simulasi dan Parameter dalam lereng di atas bisa kita ketahui dalam sketsa pada gambar 4.

Tabel 3 menggambarkan bahwa semakin besar sudut *overall slope* yang dibentuk maka semakin kecil nilai *FS* yang dihasilkan. Hal ini berlaku untuk semua simulasi yaitu pada kondisi kering (*non-saturated*), pada kondisi jenuh (*saturated*), dan jenuh dengan pengaruh gempa (*seismic load*).

Berdasarkan hasil simulasi di atas dapat disimpulkan bahwa untuk desain final lereng pada *section sidewall* akan stabil menggunakan *overall slope angle* sebesar $39,67^{\circ}$

Hasil simulasi pada sudut *overall slope* yang dibentuk dari nilai rata – rata *SMR* pada *Sidewall* dapat dilihat pada Gambar 5.

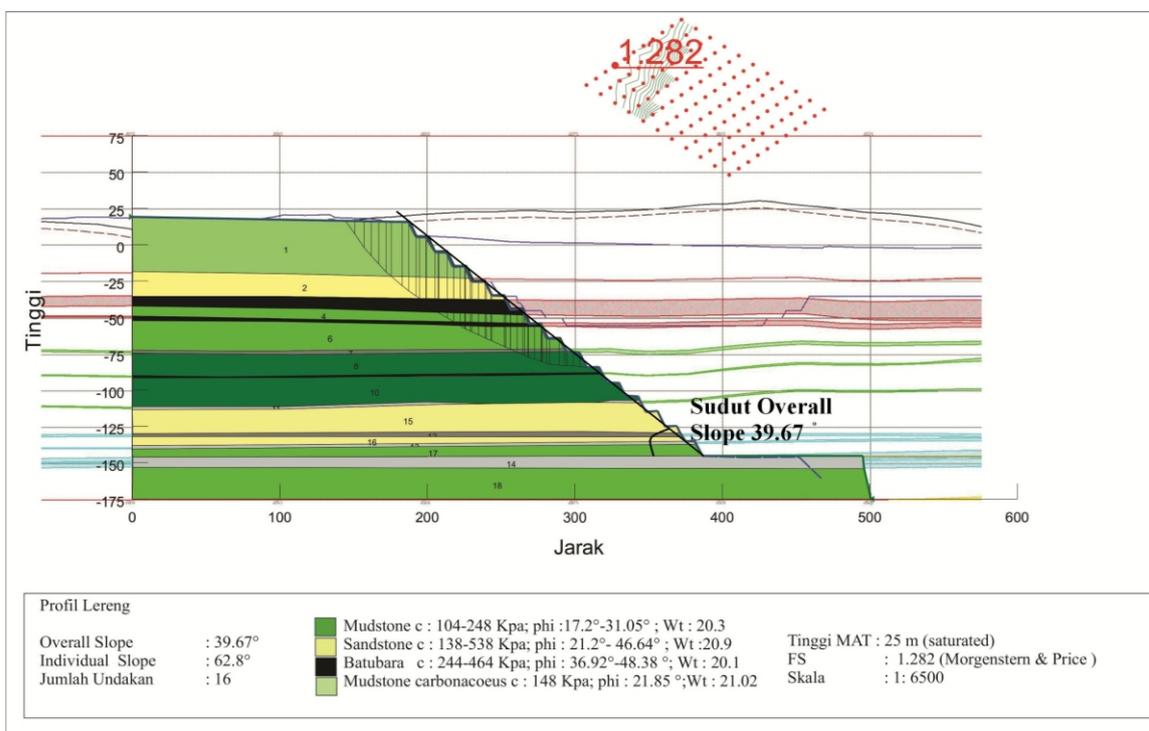
Western Lowwall

Lowwall adalah lereng landai yang arah kemiringan lerengnya searah dengan arah kemiringan (*dip*) pelapisan batuan.

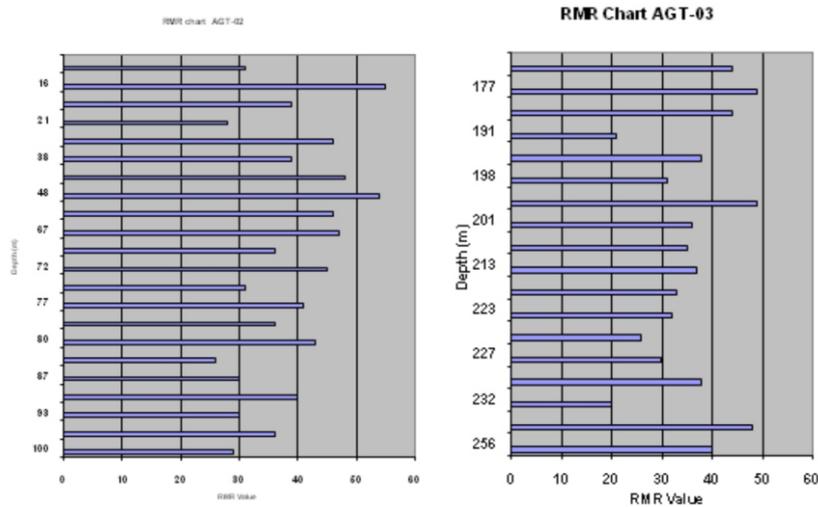
Nilai *RMR* pada *Western Lowwall* diperoleh dari hasil korelasi data bor AGT - 02 dan AGT – 03, dengan *RMR* berkisar antara 20 – 55 (Gambar 6) sehingga massa batuan ada pada kelas III dan V. Pada kelas massa batuan III atau *fair rock* umumnya ialah *Mudstone* dan Batubara dan pada kelas massa batuan V atau *very poor rock*.

Pada section ini diperoleh nilai *SMR* berkisar antara 20° – 55° (Gambar 7) dan rata – rata *SMR* sebesar $38,2^{\circ}$, sedangkan untuk simulasi digunakan nilai rata – rata dan nilai *SMR* terkecil.

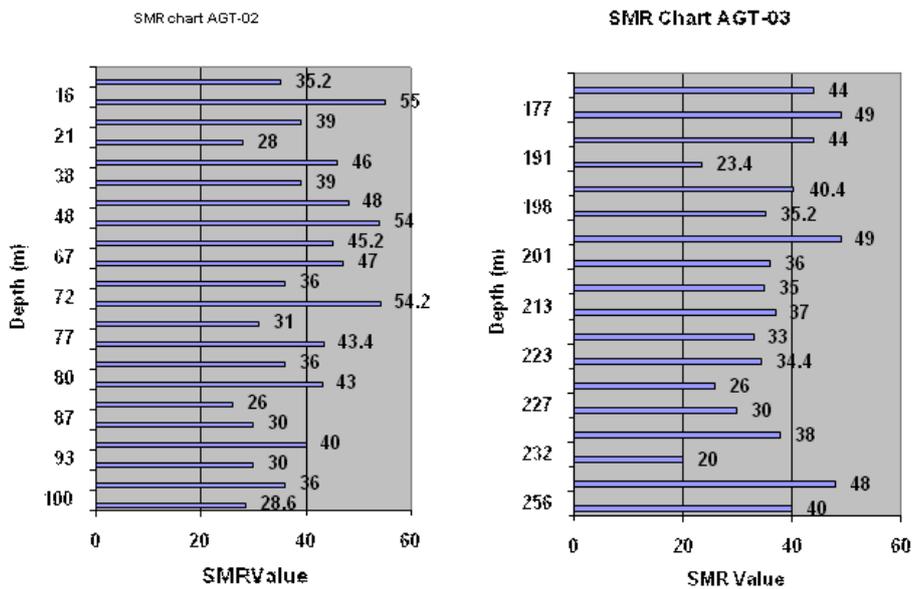
Tabel 4 dan 5 memberi gambaran bahwa semakin besar sudut *overall slope* yang dibentuk maka semakin kecil nilai *FS* yang dihasilkan. Hal ini berlaku untuk semua simulasi yaitu pada kondisi kering, pada kondisi jenuh, dan jenuh dengan pengaruh gempa.



Gambar 5. Simulasi desain lereng final pada *section Sidewall*



Gambar 6. Rekapitulasi data RMR pada data bor AGT -02 dan AGT -03 terhadap kedalaman



Gambar 7. Rekapitulasi data SMR pada data bor AGT -02 dan AGT -03 terhadap kedalaman

Tabel 4.
Geometri desain lereng final *Western Lowwall*

Western Lowwall	Overall slope	Jumlah Undakan	Perbandingan Horizontal : Vertikal	Lebar Berm	Individual slope
Rata- rata SMR	38.2°	17	22 : 29 (ramp 23 m)	22 m	58°
SMR terkecil	20°	19	18 : 9 (ramp 48 m)	5.61 m	27.2°
Desain Final Lereng sebelumnya	23°	20	17:10 (ramp 25 m)	5.6 m	31°

Tabel 5.
Hasil Analisis kestabilan lereng pada lereng Western Lowwall

Western Lowwall	Overall slope	FS		
		Non-Saturated	Saturated	Saturated + Seismic Load
Rata – rata SMR	38.2°	0.889	0.632	0.620
SMR terkecil	20°	1.766	1.162	1.123
Desain Final Lereng sebelumnya	23°	1.438	0.961	0.929

Berdasarkan hasil simulasi disarankan menggunakan nilai *overall slope angle* sebesar 20° pada *section Western Lowwall* ini, namun diperlukan penurunan muka air tanah sebesar -75 m hingga FS naik menjadi 1,274 yang menurut Bowles (1984) lereng berada pada kondisi stabil pada kondisi lereng jenuh dan dalam pengaruh gempa.

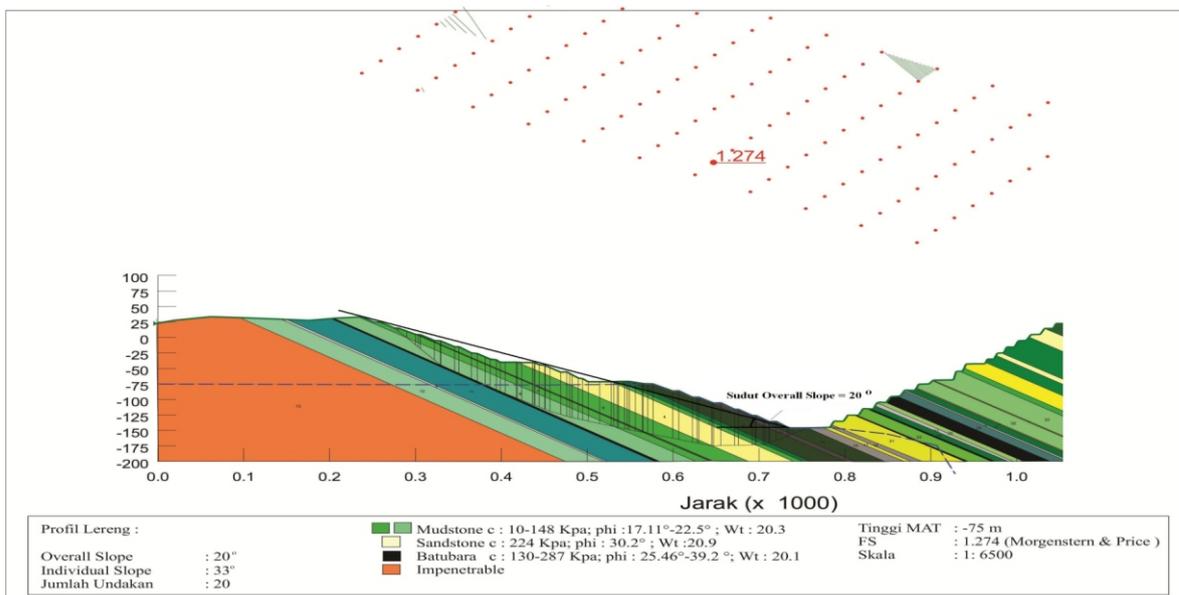
Hasil simulasi pada sudut *overall slope* yang dibentuk dari SMR terkecil pada *Western Lowwall*, dengan penurunan muka

air tanah hingga -75 m dapat dilihat pada Gambar 8.

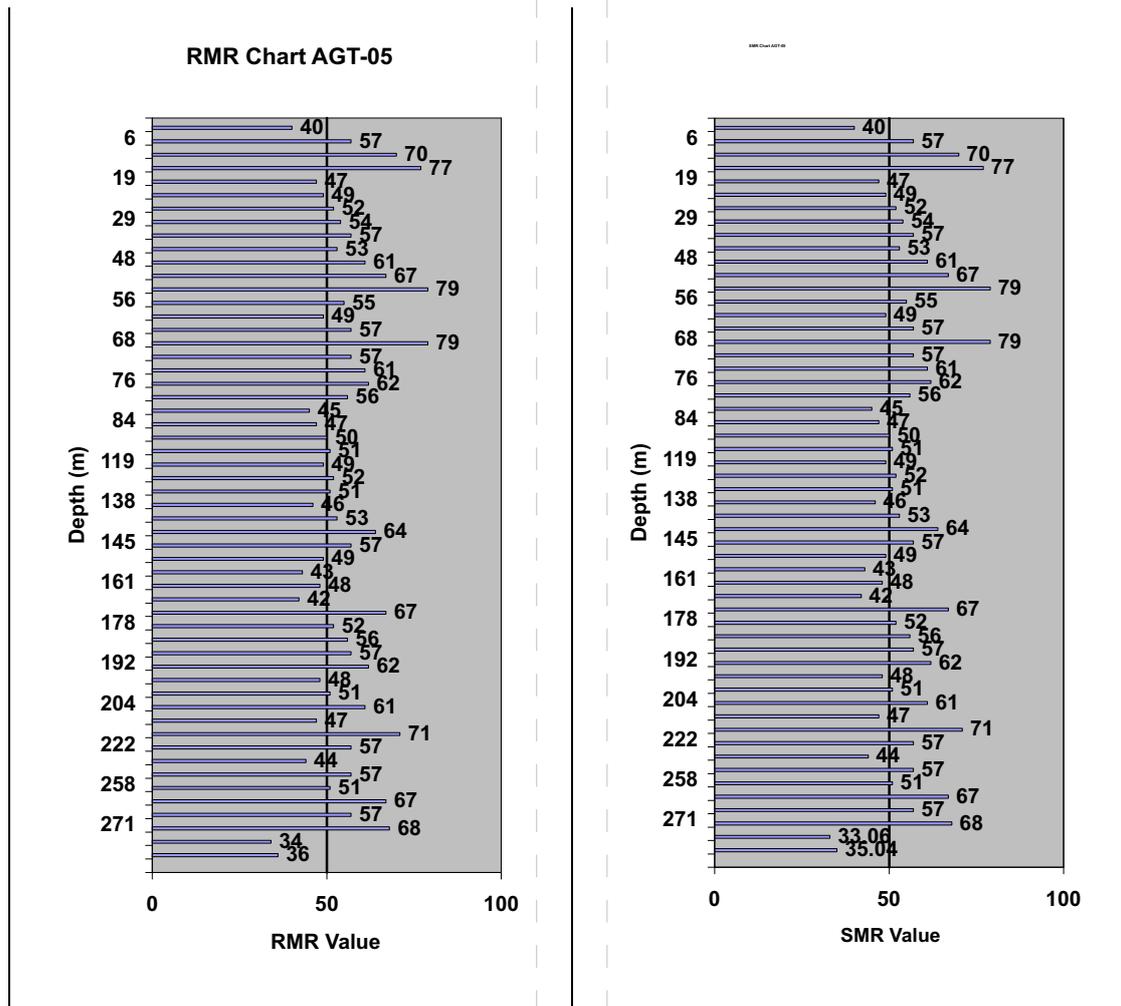
Western Highwall

Highwall adalah lereng terjal yang arah kemiringan lerengnya berlawanan dengan arah kemiringan (*dip*) perlapisan batuan.

Nilai *RMR* pada *Western Highwall* diperoleh dari hasil korelasi data bor AGT 05 yang berkisar antara 34 -71 (Gambar 9). Dengan nilai *RMR* tersebut diperoleh massa



Gambar 8. Simulasi desain lereng final pada *section Western Lowwall*



Gambar 9. Rekapitulasi data RMR dan SMR pada data bor AGT -05 terhadap kedalaman

Tabel 6.
Geometri rencana lereng final Western Highwall

<i>Western Highwall</i>	<i>Overall slope</i>	Jumlah Undakan	Perbandingan bench H horizontal :V vertikal	Lebar Berm	<i>Individual slope</i>
Rata - rata SMR	55,03 ⁰	20	2:10 (ramp 14 m)	4,65 m	78,3 ⁰
SMR terkecil	33,06 ⁰	20	4 : 10 (ramp 22 m)	12,07 m	63,8 ⁰
Desain Final Lereng sebelumnya	31,9 ⁰	20	5 : 8 (ramp 25 m)	9,42 m	62,7 ⁰

Tabel 7.
Hasil analisis kestabilan lereng pada lereng Western Highwall

<i>Western Highwall</i>	<i>Overall slope</i>	FS		
		<i>Non-saturated</i>	<i>Saturated</i>	<i>Saturated + Seismic Load</i>
Rata - rata SMR	55,03 ⁰	1,200	0,722	0,712
SMR terkecil	33,06 ⁰	1,514	1,080	1,069
Desain Final Lereng sebelumnya	31,9 ⁰	1,728	1,164	1,136

batuan berkisar antara kelas II, III dan IV. Kelas massa batuan II adalah *good rock*.

Untuk nilai *SMR* ada pada kisaran antara $33,06^\circ - 71^\circ$ (Gambar 9) dengan rata – rata *SMR* diperoleh sebesar $55,03^\circ$. Untuk simulasi digunakan nilai rata – rata dan nilai *SMR* terkecil dan desain lereng final yang ada sebelumnya sebagai pembandingan.

Tabel 6 dan 7 menggambarkan bahwa semakin besar sudut *overall slope* yang dibentuk maka semakin kecil nilai *FS* yang dihasilkan.

Berdasarkan keperluan tambang dan untuk mengurangi batuan *overburden* maka disarankan menggunakan nilai *overall slope angle* sebesar $33,06^\circ$ (geometri pada tabel 6). Namun diperlukan penurunan muka air tanah sebesar -25 m sehingga nilai *FS* ada pada 1,282 pada kondisi jenuh (*fully saturated*) dan dalam pengaruh *seismic load*, yang menurut Bowles (1984) nilai *FS* tersebut ada pada kondisi stabil.

Hasil simulasi pada sudut *overall slope* yang dibentuk dari *SMR* terkecil pada *Western Highwall*, dengan penurunan muka

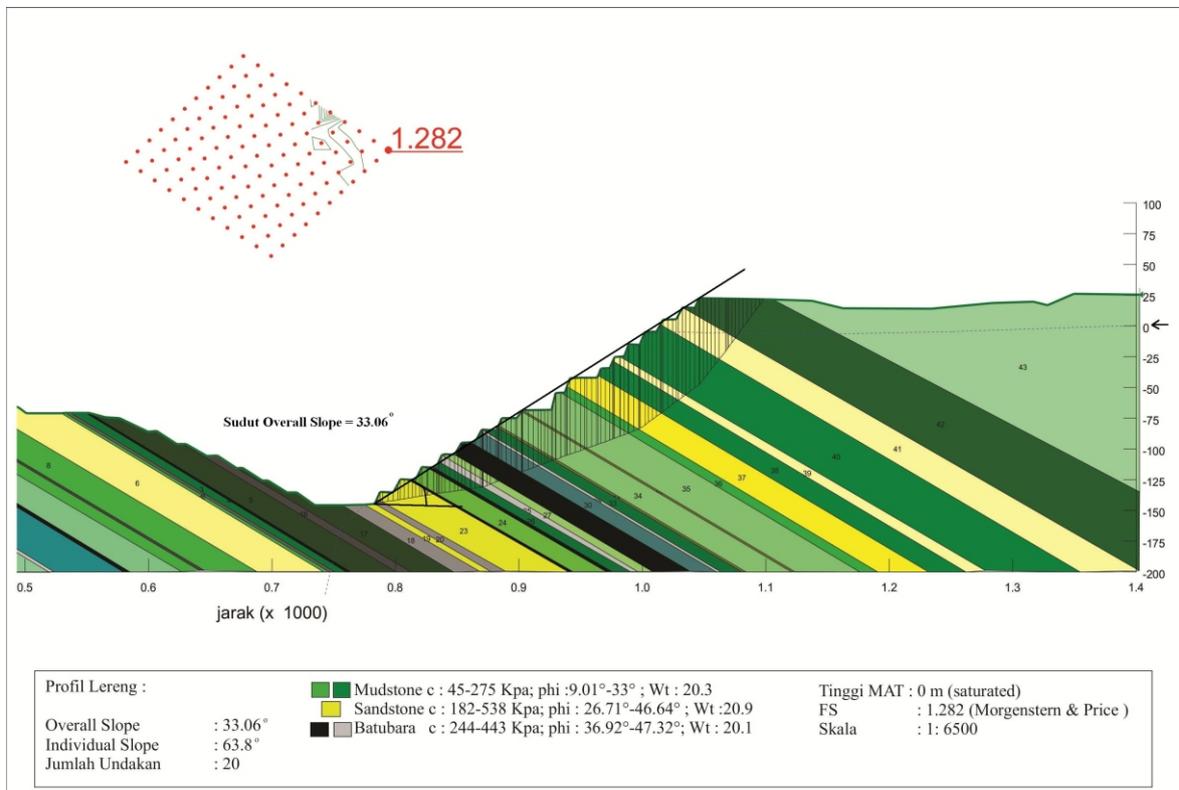
air tanah hingga -25 m, dapat dilihat pada Gambar 10.

Eastern Lowwall

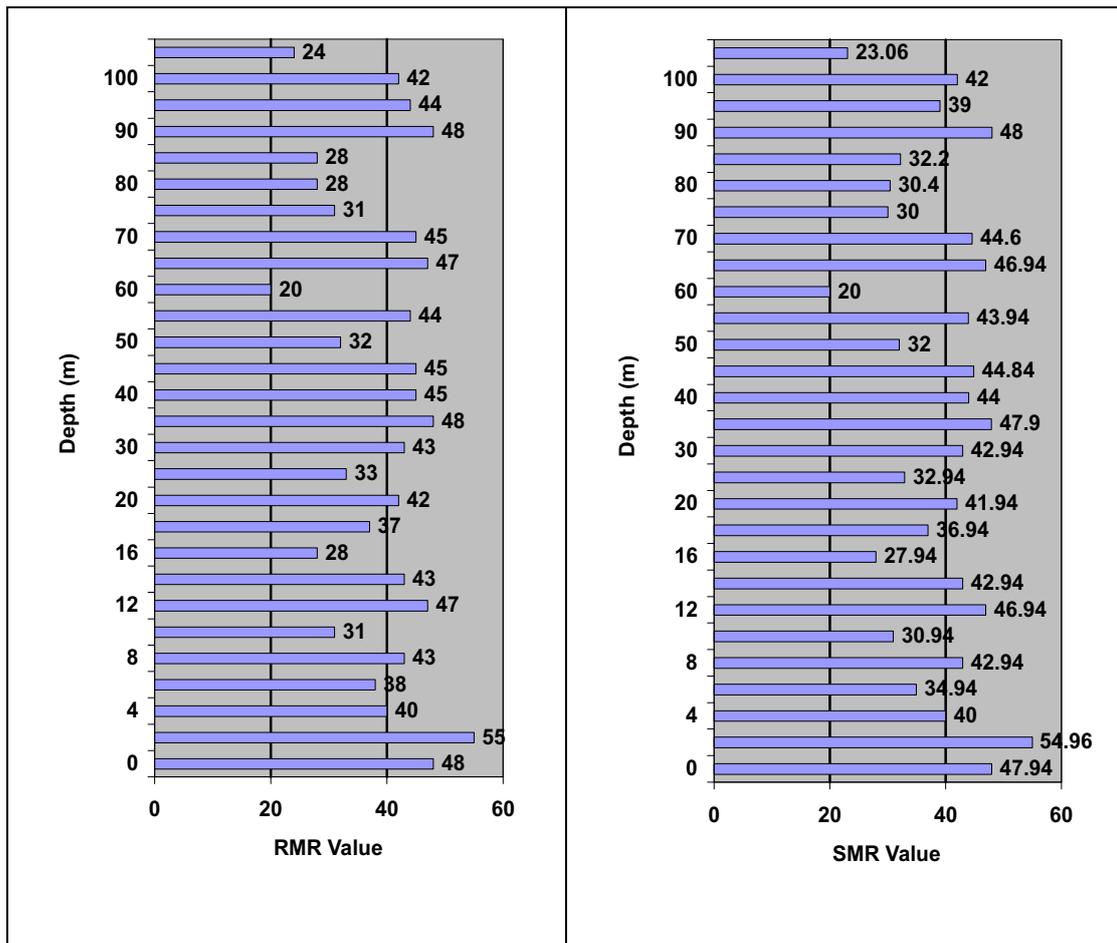
RMR pada bagian *Eastern Lowwall* diperoleh dari hasil korelasi dari pemetaan geomekanik pada S03 dan S02. Pada section ini *RMR* berkisar antara 20 - 55 (Gambar 11) yang berarti massa batumannya berkisar antara kelas III – V atau ada pada rentang *fair rock* hingga *very poor rock*.

Dari gambar diatas diperoleh nilai *SMR* berkisar antara $20^\circ - 54,96^\circ$ dengan rata – rata *SMR* diperoleh sebesar $39,04^\circ$. Untuk simulasi digunakan nilai rata – rata dan nilai *SMR* terkecil dan desain lereng final yang ada sebelumnya sebagai pembandingan.

Dari tabel diatas bisa disimpulkan bahwa semakin besar sudut *overall slope* yang dibentuk maka semakin kecil nilai *FS* yang dihasilkan. Hal ini berlaku untuk semua simulasi yaitu pada kondisi kering (*non-saturated*), pada kondisi jenuh (*saturated*), dan jenuh dengan pengaruh gempa



Gambar 10. Simulasi desain lereng final pada section Western Highwall



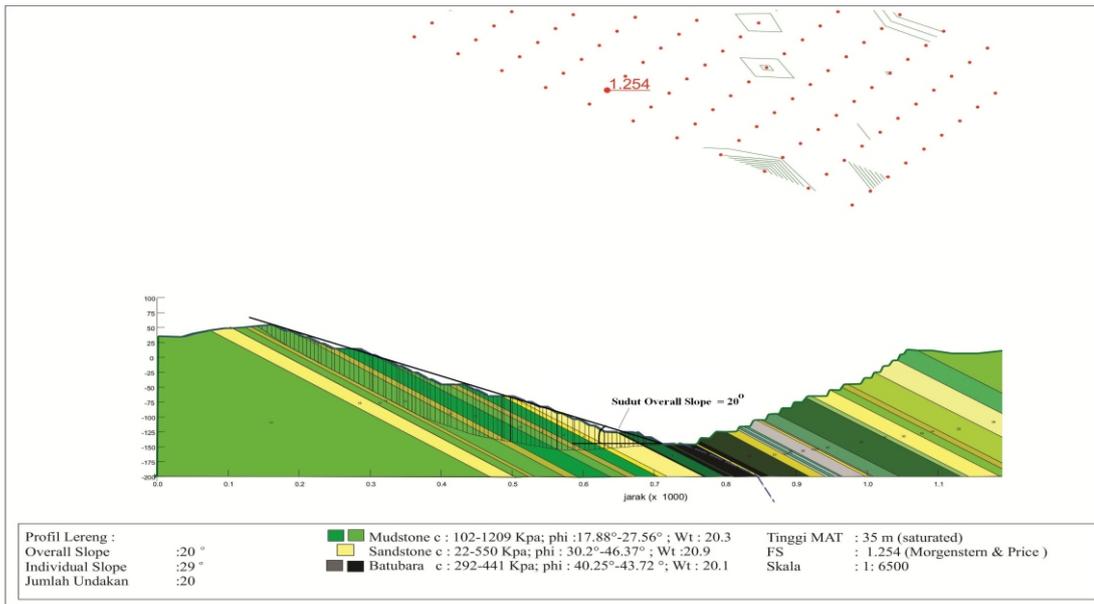
Gambar 11. Rekapitulasi data RMR dan SMR pada data section S02 & S03 terhadap kedalaman

Tabel 8. Geometri desain lereng final pada lereng Eastern Lowwall

Eastern Lowwall	Overall slope	Jumlah Undakan	Perbandingan bench Horizontal : Vertikal	Lebar Berm	Individual slope
Rata - rata SMR	39,04°	5	13 : 18 (<i>ramp</i> 22 m)	22 m	52°
SMR terkecil	20°	20	16 : 9 (<i>ramp</i> 35 m)	4,94 m	29°
Desain Final Lereng sebelumnya	22°	21	16 : 9 (<i>ramp</i> 25 m)	4,58 m	30,8°

Tabel 9. Hasil analisis kestabilan lereng pada lereng Eastern Lowwall

Eastern Lowwall	Overall slope	FS		
		<i>Non saturated</i>	<i>Saturated</i>	<i>Saturated + Seismic Load</i>
Rata – rata SMR	39,04°	0,977	0,652	0,641
SMR terkecil	20°	1,776	1,288	1,254
Desain Final Lereng sebelumnya	22°	1,735	1,216	1,185



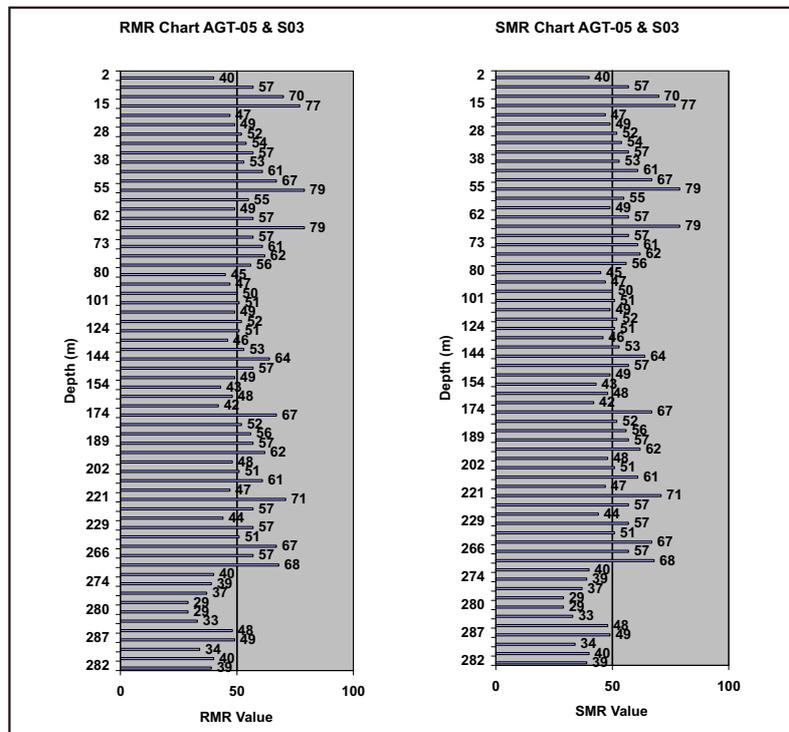
Gambar 12. Simulasi desain lereng final pada section Eastern Lowwall

(seismic load). Untuk mengurangi batuan overburden maka disarankan menggunakan nilai overall slope angle sebesar 20°.

Hasil simulasi pada sudut overall slope yang dibentuk dari SMR terkecil pada lereng Eastern Lowwall (Gambar 12).

Eastern Highwall

RMR pada lereng Eastern highwall diperoleh dari hasil korelasi pemetaan geomekanik pada S03 dan data bor AGT-05, sehingga diperoleh RMR ada pada kisaran 29 -79 (Gambar 13) atau termasuk kelas



Gambar 13. Rekapitulasi data RMR dan SMR pada data section AGT 05 & S03 terhadap kedalaman

massa batuan II, III, dan IV. Kelas massa batuan II atau *good rock* umumnya berupa *Mudstone* dan batupasir ataupun *muddy sandstone* yang bersifat masif dan memiliki sedikit diskontinuitas. Sedangkan untuk kelas massa batuan III atau *fair rock* berupa batubara dan batupasir.

Berdasarkan gambar 13 diperoleh nilai *SMR* berkisar antara 29° – 79° dengan rata – rata *SMR* sebesar $52,75^{\circ}$. Untuk simulasi digunakan nilai rata – rata dan nilai *SMR* terkecil dan desain lereng final yang ada sebelumnya sebagai pembanding.

Berdasarkan Tabel 10 dan 11 dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut *overall slope* yang dibentuk maka semakin kecil nilai *safety factor* yang dihasilkan. Dilihat dari keperluan tambang dan untuk

mengurangi batuan *overburden* disarankan menggunakan nilai *overall slope angle* sebesar 29° .

Hasil simulasi pada sudut *overall slope* yang dibentuk dari *SMR* terkecil pada *Eastern Highwall* dapat dilihat pada Gambar 14.

Berdasarkan grafik perbandingan *RMR* terhadap kedalaman pada tiap *section*, memperlihatkan bahwa nilai *RMR* bervariasi dan tidak bergantung terhadap kedalaman karena daerah penelitian disusun oleh material batuan sedimen yang tidak homogen.

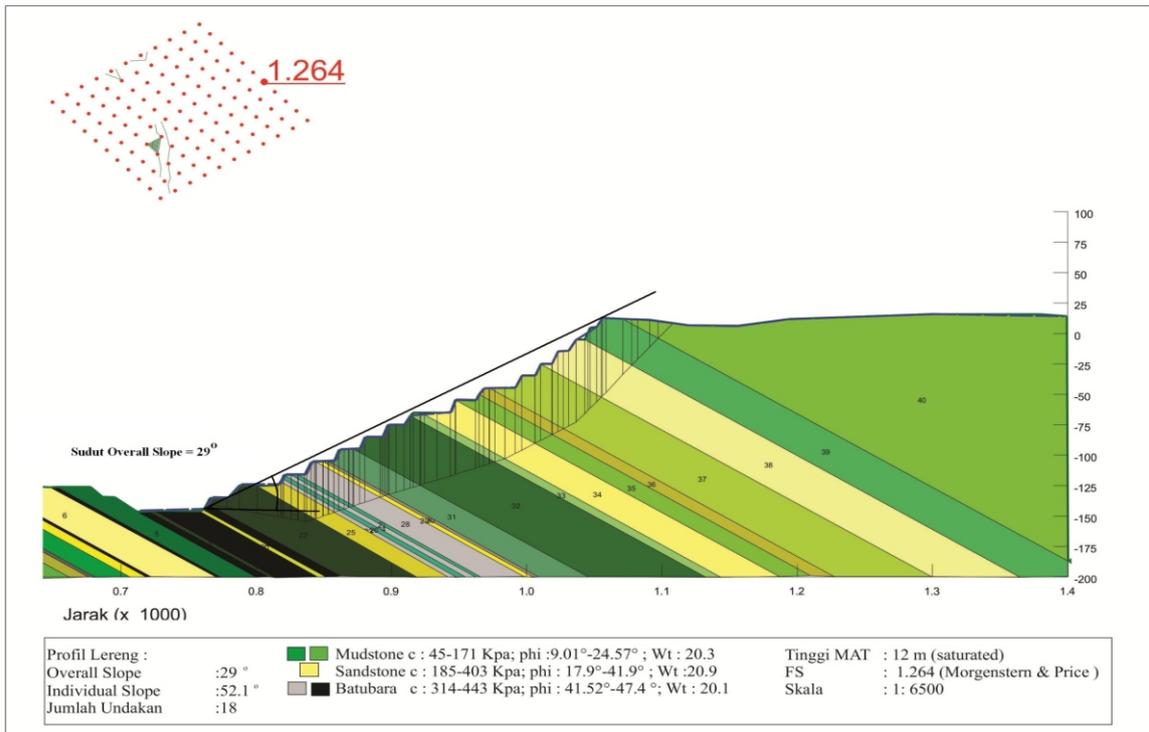
Dari hasil simulasi di atas dapat direkomendasikan geometri lereng untuk tiap *section* dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 10.
Geometri desain lereng final pada lereng *Eastern Highwall*

<i>Eastern highwall</i>	<i>Overall slope</i>	Jumlah Undakan	Perbandingan <i>bench</i> Horizontal :V ertikal	Lebar <i>Berm</i>	<i>Individual slope</i>
Rata - rata <i>SMR</i>	52°	17	1 : 9 (<i>ramp</i> 14 m)	18 m	$80,2^{\circ}$
<i>SMR</i> terkecil	29°	18	4 : 9 (<i>ramp</i> 27 m)	14,55 m	$52,1^{\circ}$
Desain Final Lereng sebelumnya	30°	18	5 : 9 (<i>ramp</i> 26 m)	8,06 m	$61,2^{\circ}$

Tabel 11.
Hasil analisis kestabilan lereng pada lereng *Eastern Highwall*

<i>Eastern highwall</i>	<i>Overall slope</i>	<i>FS</i>		
		<i>Non saturated</i>	<i>Saturated</i>	<i>Saturated + Seismic Load</i>
Rata – rata <i>SMR</i>	52°	1,272	0,709	0,697
<i>SMR</i> terkecil	29°	1,941	1,294	1,264
Desain Final Lereng sebelumnya	30°	1,890	1,230	1,205



Gambar 14. Simulasi desain lereng final pada section Eastern Highwall

Tabel 12.
 Rekomendasi geometri lereng untuk tiap section

Section	Overall Slope	Jumlah Undakan	Perbandingan H : V	Individual Slope	Penurunan water table
Sidewall	39,67°	16	6 : 10	62,8°	-
Western Lowwall	20°	19	18 : 9 (ramp 48 m)	27,2°	hingga -75 m
Western Highwall	33,06°	20	4 : 10 (ramp 25 m)	63,8°	hingga -25 m
Eastern Lowwall	20°	20	16 : 9 (ramp 35 m)	29°	-
Eastern Highwall	29°	18	4 : 9 (ramp 27 m)	52,1°	-

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil simulasi kestabilan lereng, pada lereng yang dibentuk dari nilai SMR diperoleh kesimpulan bahwa tidak semua lereng yang dihitung dari nilai SMR memberikan jaminan bahwa lereng tersebut akan stabil. Namun dari grafik hubungan nilai FS dengan overall slope angle bisa diambil kesimpulan bahwa semakin besar sudut lereng maka semakin kecil nilai FS,

sehingga lereng pun semakin berada pada kondisi tidak stabil.

Pada lereng Sidewall, Eastern Lowwall, dan Eastern Highwall, lereng umumnya stabil dengan menggunakan nilai SMR terkecil. Namun pada section lereng Western Lowwall dan Western Highwall, lereng akan stabil jika sudut lereng yang dibentuk dibawah nilai sudut SMR terkecil

atau diperlukan penurunan muka air tanah hingga kedalaman -75 m pada lereng *Western Lowwall*, dan sedalam -25 m pada lereng *Western Highwall* agar nilai FS nya ada pada kondisi stabil.

Penelitian lanjutan disarankan dilakukan pada saat musim hujan sehingga didapat kondisi batuan yang jenuh air (*Fully Saturated*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu selama proses penelitian ini khususnya kepada Endang Wawan, ST., yang telah memberi izin untuk melakukan penelitian juga kepada Prof. Dr. Ir. Febri Hirnawan atas aneka saran yang diberikan dalam penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bieniawski, Z.T. 1989. "Engineering Rock Mass Clasification : A Complete Manual for Engineers and Geologist in Mining, Civil, and Petroleum Engineering". Canada : John Wiley & Sons Inc.
- Bowles, E., Joseph. 1984. *Physical and Geotechnical Properties of Soil: Second Edition*. New York : McGraw-Hill. Hal. 525-548
- Eberhardt, E. 2005. *Geotechnical Engineering Practice & Design : Lecture 7 : Limit Equilibrium*. EOSC.
- Hirnawan, F. 2009. *Pendidikan dan Pelatihan Analisis Kestabilan Lereng: Metode RMR dan SMR*. Bandung: Pusdiklat Geologi.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C., dan Corkum, B. 2002. *Hoek-Brown Failure Criterion, 2002 Edition*. Toronto: Dept. of Civil Engineering, University of Toronto.
- Hoek, E., and Marinos, P. 2007. *A Brief History of the Development of the Hoek Brown Failure Criterion, Brazilian Journal of Soil and Rocks, No. 2*
- Krahn, J. 2004. *Stability Modelling with Slope/W an Engineering Methodology, Geo_Slope/W*. Canada International Ltd.
- Romana, M.R. 1993. *A Geomechanical Classification for Slopes: Slope Mass Rating*. Spain: Universidad Polit cnica Valencia.
- Sikumbang N. dan Heryanto R., 1994: *Peta Geologi Lembar Banjarmasin 1712, Kalimantan, skala 1:250.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G) Bandung*.
- Sjoberg, J. 1997. *Estimating Rock Mass Strength Using the Hoek-Brown Failure Criterion and Rock Mass Classification*. Sweden : Lulea University of Technology Division of Rock Mechanics.

Diterima tanggal 24 Mei 2012 Revisi tanggal 27 Juli 2012
