

## KAJIAN GEOTEKNIK TERHADAP FORMASI TANJUNG DI PIT SAYUNA, SATUI, KALIMANTAN SELATAN, DENGAN MENGGUNAKAN METODE SLOPE MASS RATING

Geni Dipatunggoro & Zufaldi Zakaria  
Laboratorium Geologi Teknik, Fakultas Teknik Geologi, UNPAD

### ABSTRACT

*Lithology of Tanjung Formation from the oldest to the youngest layers consists of siltstone, mudstone, dan carbonaceous mudstone or sandstone layers with four coal seams. Strike of joint varied N28°E to N48°E, N188°E to N245°E and N284°E to N354°E, and dip of joint varied 52° to 88° (very steep). Weathering conditions of rocks at the surface are moderately weathered (WM) to slightly weathered (WS) stage, and some of this surficial soils are at highly weathered (WH) stage as top soil. In the bor holes these kinds of weathering stages (WM and WS) are characterized by both low core recovery dan RQD. Sedimentary rock of layer the joint to formed rock blok is discontinuity plane (bedding plane dan joint). The classification system is according to Rock Mass Rating (RMR) after Bieniawski, 1973 to determine the Slope Mass Rating (SMR) resulting maximum angle of cut slope of the rock mass in a stable condition. Rock Mass Rating (RMR) of penetrated rocks of the Tanjung Formation in Bore Hole No. AW-1, AW-2, and AW-3 range from 35 to 70, 40 to 50, and 29 to 60 respectively. The class numbers of the rock mass are II and III in general, suggesting that the rock masses are stable (class II) to partially stable (class III), but in Bore Hole AW-1 and AW-2 at the depth ranging from 39.45 to 45.30 meters and 04.75 to 27.84 meters (3 rock masses) respectively class IV occur characterizing the instable rock masses.*

**Keywords:** Tanjung Formation, RQD, RMR, SMR

### ABSTRAK

Batuan Formasi Tanjung dari tua ke muda terdiri atas siltstone, mudstone, dan carbonaceous mudstone atau lapisan sandstone dengan empat lapisan batubara (*coal seam*). Strike dari joint bervariasi N28°E sampai N48°E, N188°E sampai N245°E dan N284°E sampai N354°E, dan dip joint bervariasi 52° sampai 88° (*very steep*). Tingkat pelapukan batuan dipermukaan adalah *moderately weathered* (WM) sampai *slightly weathered* (WS), dan tanah permukaan adalah *highly weathered* (WH) sebagai top soil. Dalam lubang bor tingkat pelapukan adalah WM dan WS dan keduanya memiliki *core recovery* dan RQD rendah. Perlapisan batuan sedimen kearynya membentuk blok batuan yang terpisahkan oleh bidang diskontinuitas (*bedding plane* dan *joint*). Sistem klasifikasi Rock Mass Rating (RMR) after Bieniawski, 1973 untuk menghitung Slope Mass Rating (SMR) yang hasilnya sudut maksimum dari pemotongan lereng (slope) suatu masa batuan dalam kondisi stabil. RMR Formasi Tanjung dalam lubang bor AW-1, AW-2 dan AW-3 rentangnya dari 35 sampai 70, 40 sampai 50 dan 29 sampai 60. Kelas masa batuan II dan III umum, masa batuan stabil (clas II) sampai sebagian stabil (clas III), tapi dalam lubang bor AW-1 dan AW-2 pada kedalaman 39,45 sampai 45,30 meter dan 4,75 sampai 27,84 meter (3 masa batuan) clas IV masa batuan tidak stabil.

**Kata kunci:** Formasi Tanjung, RQD, RMR, SMR

### PENDAHULUAN

Proyek monitoring kestabilan lereng di Areal Pertambangan Batubara Satui, Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan, dilaksanakan analisis kestabilan pemotongan lereng dari sumurna uji (pit) / penggalian dengan pemboran geoteknik. Kegiatan ini terdiri dari *full coring* dalam tiga titik bor di Sayuna Pit, dan test laboratorium conto inti (*core sample*) yang diambil dari lubang bor untuk parameter kekuatan dan fisik yang dibu-

tuhkan untuk deskripsi masa bantuan. Tiga lubang bor pada kedalaman 51.20, 70.00 dan 60.08 pemboran menembus lapisan batuan sedimen dari Formasi Tanjung. Conto inti batuan dalam lubang bor diangkat kepermukaan tanah dari kedalaman tertentu yang berbeda satu sama lain. Conto inti diambil dan ditest di laboratorium mekanika batuan guna mendapatkan parameter kekuatan fisik yang dibutuhkan untuk Klasifikasi masa batuan. Klasifikasi masa batuan akan memperhitungkan kondisi stabil

dari setiap jumlah klas masa batuan yang dideskripsi dengan mengukur parameter *Unconfined Compressive Strength*, RQD dan identifikasi diskontinuitas batuan seperti kondisi dan spasi kekar dan juga kondisi air.

Sistem klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) after Bieniawski, 1973 dalam Djakamiharja dan Soebowo (1996), untuk menghitung *Slope Mass Rating* (SMR) yang hasilnya sudut maximum dari pemotongan lereng (*slope*) suatu masa batuan dalam kondisi stabil. Evaluasi kesetabilan lereng dari pemotongan lereng *pit* / penggalian sangat cocok dengan metode ini. Lokasi pemboran di Sayuna Pit Areal Pertambangan Batubara Satui yang dapat ditempuh dengan menggunakan kendaraan roda empat sepanjang jalan utama milik PT. Arutmin Indonesia. Koordinat lubang bor sebagai tertera dalam tabel di bawah ini (Tabel 1.)

Dua lubang bor AW-1 dan AW-3 pemboran dilakukan dalam batuan *insitu* dari Formasi Tanjung dari permukaan sampai ke dasar lubang, AW-2 di bor pada tanah timbunan dari permukaan sampai 40.30 meter dan sampai kedalaman 70.00 meter merupakan batuan dari Formasi Tanjung. Pekerjaan yang dilaksanakan oleh Lembaga Penelitian Universitas Padjadjaran di Proyek Monitoring Kestabilan Lereng sebagai berikut :

1. Pemboran dengan *full coring* di dalam tiga lubang bor dengan lokasi di *Site* Perusahaan PT. Arutmin Indonesia dengan total kedalaman 190 meter.
2. Deskripsi geoteknik dari seluruh inti : RQD, joint spasi, kondisi joint, kondisi air tanah. Deskripsi juga dikompilasi dengan hasil test laboratorium yaitu *Unconfined Compressive Strength* dari inti bor.
3. Test laboratorium inti batuan adalah *unconfined compressive strength, tensile strength test, direct shear, basic physical properties*, dan soil test yakni

*Atterberg limits* dan *grain size analysis*.

4. Klasifikasi Masa Batuan dengan Metode RMR menganalisis dan menghitung kestabilan masa batuan dan sudut maksimum pemotongan lereng.
5. Pengukuran Stratigrafi dari Segmen Sungai Pabillahan di dalam Sayuna Pit, Areal Pertambangan Batubara Satui, merecord sequend stratigrafi detil per lapisan batuan termasuk lapisan batubara (*coal seam*), dan kejadian dan juga diskontinuitas batuan.

## **BAHAN DAN METODE PENELITIAN.**

Hasil deskripsi lapangan suatu singkapan di permukaan dan log lubang bor, juga test laboratorium batuan dan soil mekanik, batuan dari Formasi Tanjung penggolongannya sesuai dengan klasifikasi masa batuan.

Parameter dari satuan batuan adalah dasar perhitungan jumlah klas suatu unit. Jumlah klas representatif untuk jumlah angka parameter dari satuan batuan sebelumnya atau tubuh batuan, yang mana dikenal sebagai masa batuan. Metode ini diusulkan oleh Bieniawski, 1973 adalah dikenal sebagai metode *Rock Mass Rating* atau RMR.

Parameter satuan batuan atau tubuh menentukan *rock mass rating* atau RMR sebagai berikut :

1. *Unconfined compressive Strength* (UCS: Mpa). Pembobotan ada pada Tabel 2.
2. *Rock Quality Designation* (RQD : %). Lihat Tabel 3.
3. *Joint Spacing*
4. *Joint Condition : roughness of joint surface, wide of sparation*, derajat atau tingkat pelapukan dari *joint* batuan atau dinding dari spasi kekar, material isian kekar yaitu

lempung atau produk lapukan lunak.

#### 5. Kondisi Air Tanah

Disamping, nilai angka berikutnya untuk kondisi kekar (*joint condition*) berpotongan dengan permukaan lereng dari suatu *pit*. Kasus dari *Planar* dan *Toppling* (Tabel 7) angka mengikuti sbb.:

- F1 = rata-rata dari joint strike dikurangi slope strike
- F2 = rata-rata dari joint dip
- F3 = rata-rata dari joint dip dikurangi sudut slope.

Kemudian metode penggalan (Romano, 1980 dalam Djakamihardja dan Soebowo, 1996) dapat dilihat pada Tabel 8, Sekurang-kurangnya, RMR adalah jumlah angka dari parameter penting dan digunakan untuk klasifikasi masa batuan (Tabel 9).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Geologi Regional

Batuan dasar cekungan batubara di Kalimantan Selatan adalah batuan ultra basa dikenal sebagai peridotit, gabro, serpentinit dan lain-lain, umur Jura, yang mana tidak selaras menutup Formasi Haruyan yang terdiri dari lava basalt dan interkalasi breksi polimik dengan umur Kapur Atas (*Upper Cretaceous*).

Dalam era Mesozoik Akhir batuan dasar berupa blok sesar saling terpisah dengan aktifitas tektonik yang mana merupakan karakter Periode Tersier Paling Awal.

Cekungan Tersier dikenal sebagai Kutei Basin di Kalimantan Selatan adalah singel, pusat dan cekungan sedimen yang lebar, dalam *back arc basin*. Cekungan terpisah ke dalam 3 sub-cekungan: Tarakan, Kutei dan Barito, dan 2 cekungan kecil yakni: Asam-asam dan Pasir, dengan Meratus dan Mangkalihat *Highs*.

Batuan dasar Pra-Tersier ditutupi tidak selaras oleh Formasi Tanjung

yang terdiri dari interkalasi batuan sedang sampai sangat kasar butiran kuning *arcosic sandstone*, *Conglomeratic*, *Sandstone*, *Siltstone*, *Limestone* *Carbonaceous Claystone*, dan perlapisan batubara, yang dikenal sebagai formasi pembawa batubara di Kalimantan Selatan, umurnya Eosen dan memiliki ketebalan yang bervariasi dari 400 sampai 1400 meter.

Antiklin dan Sinklin arahnya hampir Utara – Selatan sebagai hasil dari pelipatan sedimen Tersier yang melibatkan Formasi Tanjung. Di areal ini sesar normal dan sesar naik arahnya Timurlaut – Baratdaya.

Intrusi granodiorit merupakan hasil aktifitas tektonik zaman Kapur, yang mana batuan dasar tersesarkan. Aktifitas tektonik selanjutnya diendapkan sedimen tipe fliish dari Formasi Pitap dan vulkanik klastik dari Formasi Haruyan selama Paleosen Awal, menempati basement dari cekungan Tersier.

Karakteristik aktifitas itu mengalami pengangkatan selama Eosen membuat endapan darat dari Formasi Tanjung yang diikuti oleh pengendapan hasil regresi yaitu batuan karbonat dari Formasi Berau dan batuan klastik dari Formasi Pamaluan selama Oligosen dan keduanya saling menjemari.

Selama Miosen Tengah regresi berlangsung yang mana dihasilkan batuan klastik dari Formasi Warukin dan Formasi Pulaubalang. Dalam Miosen Akhir pengendapan berhenti, tapi pengangkatan berlangsung dan sebagai hasil adalah kegiatan Meratus High. Cekungan Barito – Kutei dan Sub-cekungan Pasir terbentuk. Dalam Pliosen – Plistosen berlangsung daratan dan rata yang mana Formasi Dahor dari sedimen fluviatil utama diendapkan.

### Geologi Lokal

Areal studi adalah daerah penyebaran Formasi Tanjung yang berumur Eosen sampai Oligosen. Formasi ini terdiri dari *siltstone*, *mudstone*, *sandstone*, perlapisan *carbonaceous clay-*

stone dengan beberapa perlapisan batubara.

Sebagai hasil pengukuran penampang stratigrafi sepanjang sungai Pabilahan yang panjangnya 238 meter sekitar lubang bor AW-1, AW-2 dan AW-3, ketebalan formasi sepanjang segmen sungai adalah 37.75 meter, digambarkan sebagai berikut :

1. Strike dan dip dari lapisan batuan dari suatu formasi dengan rentang N35°E sampai N50°E dan 12° sampai 15°.
2. Dari tua ke muda perlapisan utamanya terdiri dari *siltstone*, *mudstone*, dan *carbonaceous mudstone* atau lapisan *sandstone* dengan empat lapisan batubara (*coal seam*).
3. F1 = rata-rata dari *joint strike* dikurangi *slope strike* (lihat Tabel 10), F1 ratingnya adalah 0.15 tapi nilai rata-rata *joint strike* dikurangi *slope strike* lebih besar dari 30°.
4. Tingkat pelapukan batuan dipermukaan adalah *moderately weathered* (WM) sampai *slightly weathered* (WS), dan tanah permukaan adalah *highly weathered* (WH) sebagai top soil. Dalam lubang bor tingkat pelapukan adalah WM dan WS dan keduanya memiliki *core recovery* dan RQD rendah.
5. Strike dari joint bervariasi N28°E sampai N48°E, N188°E sampai N245°E dan N284°E sampai N354°E, dan *dip joint* bervariasi 52° sampai 88° (*very steep*).

### Kondisi Geoteknik

Kondisi geoteknik di lokasi pekerjaan Areal Pertambangan Batubara Satu memiliki karakteristik keteknik-an dan *physical properties* dari Formasi Tanjung yang mana terdiri dari *siltstone*, *sandstone*, lapisan *carbonaceous claystone* dan lapisan batubara. Perlapisan batuan sedimen kekarnya membentuk blok batuan yang terpisahkan oleh bidang diskontinuitas (*bedding plane* dan *joint*). Diskontinuitas batuan adalah kelemahan geologi sepanjang air sulit

mengalir ke elevasi dalam dan rendah dan itu terakumulasi dalam batuan porous yang dijumpai sebagai akifer.

Penyebaran aliran air dan akifer dalam bentuk formasi, kondisi air tanah sepanjang blok batuan yang dipisahkan dengan bidang diskontinuitas dalam Formasi Tanjung untuk menghitung properti masa batuan. Kekuatan blok batuan, sepsi dan orientasi bidang diskontinuitas, kekasaran permukaan bidang diskontinuitas dan kondisi air tanah adalah parameter yang digunakan untuk klasifikasi masa batuan dari *Rock Mass Rating / RMR* (Bieniawski, 1973).

Dasar klasifikasi RMR dan inti lubang bor AW-1, AW-2 dan AW-3 dapat dikelaskan sebagai masa batuan dengan perhitungan stabilitas. Metode ini untuk sudut maximum dan pemotongan lereng batuan dalam kondisi stabil dapat juga untuk menghitung Slope Mass Rating (SMR). Hasil analisis dari data lubang pemboran sebagai berikut (Tabel 10, 11 dan 12) :

1. Kelas masa batuan mencakup kelas II, III dan IV (Tabel 9)
2. Sudut maximum pemotongan lereng akan stabil dari AW-1, AW-2 dan AW-3 dengan rentang dari 35° sampai 78°, 41° sampai 66° dan 29° sampai 72°. SMR paling rendah = 29 dalam AW-3 karena isian lempung dalam kekar terjadi (lihat tabel 12). Seluruh nilai SMR adalah berdasarkan metode penggalan yaitu dengan penggalan mekanik atau prosedur peledakan normal.
3. Dalam profil lubang bor AW-2 adalah tempat batu buangan (*waste dump*) setebal 49.40 meter, terdiri dari fragmen batuan (*sandstone*, *siltstone* dll) bercampur dengan kerikil, pasir, lanau dan lempung. Material ini seperti tanah. Kestabilan lereng di tempat batu buangan dapat diperhitungkan dengan menggunakan metode *circular failure* (Hoek and Bray,

1977), karena maerianya lepas yang terdiri dari fragmen batuan dengan umuran butir kasar yang mana dapat diklasifikasikan sebagai soil dalam pandangan geoteknik. Pengalaman dalam menghitung suatu buangan / batuan hasil stabil jika tinggi dan sudut lereng untuk kondisi basah dan drainase buangan sebagai berikut :

H (tinggi; m)	Sudut lereng ( $^{\circ}$ )	
	<i>Drained dumps</i>	<i>Dumps with water</i>
20	61	56
40	43	31
60	34	22

Ketebalan tempat batu buangan dalam Sayuna Pit adalah 49.40 meter dan harus stabil jika lereng tidak lebih dari  $34^{\circ}$  (*drained dump*) dan  $22^{\circ}$  (*wet dump*). Kondisi ini untuk kohesi dari dump sekitar  $40 \text{ kN/m}^2$ , volume unit weight =  $18 \text{ kN/m}^3$  dan sudut geser dalam (*angel of internal friction*) =  $22^{\circ}$ , jika kohesi rendah  $c = 20 \text{ kN/m}^2$  lereng dari *wet dump* tidak boleh lebih besar  $20^{\circ}$ , untuk *drained dump* lereng tidak lebih kecil dari  $34^{\circ}$ .

## KESIMPULAN

1. Formasi Tanjung di sekitar lokasi lubang bor di Sayuna Pit terdiri dari *sandstone*, *siltstone* dan lapisan *mudstone* dengan lapisan batubara. *Strike* dan *dip* dari perlapasan antara  $N35^{\circ}E$  sampai  $N50^{\circ}E$  dan  $12^{\circ}$  sampai  $15^{\circ}$ .
2. Formasi ini lapuk menjadi residual soil dari variasi tingkat pelapukan. Tingkat pelapukan adalah dari *Slightly Weathered* (WS) sampai *Moderatly Weathered* (WM), dan dekat dengan permukaan *Highly Weathered* (WH). Tebal dari batuan permukaan yang lapuk dalam lubang bor AW-1 dan AW-3 adalah 10,74 dan 23,32 meter, dan AW-2 batuan lapuk tidak diketemukan karena lubang bor di

tempat batu buangan menutupi penggalian pit.

3. RMR Formasi Tanjung dalam lubang bor AW-1, AW-2 dan AW-3 rentangnya dari 35 sampai 70, 40 sampai 50 dan 29 sampai 60. Kelas masa batuan II dan III umum, masa batuan stabil (kelas II) sampai sebagian stabil (kelas III), tapi dalam lubang bor AW-1 dan AW-2 pada kedalaman 39,45 sampai 45,30 meter dan 4,75 sampai 27,84 meter (3 masa batuan) kelas IV masa batuan tidak stabil.
4. Empat variasi sudut pemotongan lereng atau metode SMR dari suatu penggalian yang meliputi masa batuan dalam lubang bor,
5. Ketebalan 49,40 meter dan angka kohesi  $c = 40 \text{ kN/m}^2$ , volume unit weight =  $18 \text{ kN/m}^3$ , dan sudut geser dalam =  $32^{\circ}$ , sudut lerengan dari tempat batu buangan dalam *drained* dan *wet* kondisi stabil dengan sudut tidak lebih besar  $34^{\circ}$  dan  $32^{\circ}$ .
6. Evaluasi stabilitas pemotongan lereng penggalian meliputi dua istilah tidak stabil dan stabil masa batuan, itu diusulkan pembuatan beberapa profil untuk studi dan analisis. *Safety Factor* dari beberapa profil diminta untuk rekomendasi kestabilan dari profil yang tidak stabil dengan menggunakan program komputer UDEC.

## DAFTAR PUSTAKA

- Djakamihardja, A . S., and Soebowo, E., 1996, *Studi Kemantapan Lereng Batuan Pada Jalur Jalan Raya Liwa-Krui, Lampung Barat*, Prosiding Seminar Sehari Kemantapan Lereng di Pertambangan Indonesia II, Jurusan teknik Pertambangan, ITB, Bandung
- Hoek, E., and Bray, J., 1977, *Rock Slope Engineering*, The Institution of Mining and Metallurgy, London

Tabel 1. Koordinat lubang bor

No.	Bore Hole No.	Coordinate		Depth (m)
		X	Y	
1.	AW-1	313545.000	9589766.000	51.20
2.	AW-2	313577.700	9589831.000	70.00
3.	AW-3	313623.254	9589738.000	60.00
T o t a l				181.20

Tabel 2. Pembobotan kekuatan batuan (Mpa)

UCS	Rating
< 1	0
1 - 5	1
5 - 25	2
15 - 50	4
50 - 100	7
100 - 200	12
> 200	15

Tabel 3. Pembobotan nilai RDQ (%)

RDQ	Rating
25	3
25 - 50	8
50 - 70	13
75 - 90	17
90 - 100	20

Tabel 4. Kondisi spasi kekar

Joint Spacing	Rating
> 0,6	5
6 -20	8
20 -60	13
60 - 200	15
> 200	20

Tabel 5. Kondisi kekar

Condition	Rating
• Soft gouge 5 mm, separated 5mm, continuous	0
• Slickensided surface, gouge 5mm, separation 1 -5 mm	10
• Slightly rough surfaces, separation 1 mm, highly weathered walls	20
• Slightly rough surfaces, separation 1 mm, highly weathered walls	25
• Very rough surfaces, not continuous, no separation, unweathered walls	30

Tabel 6. Kondisi air tanah

Groundwater	Rating
Flowing	0
Dripping	4
Wet	7
Damp	10
Completely dry	15

Tabel 7. Hubungan kondisi *strike/dip* kekar dan lereng

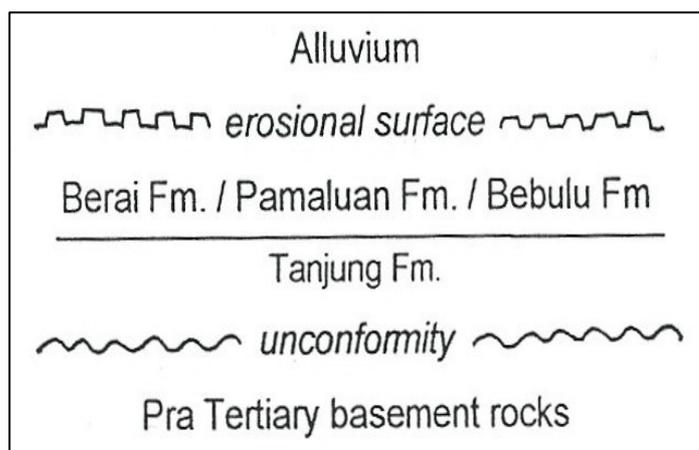
CASE	Very Favorable	Favorable	Fair	Unfavorable	Very Unfavorable
PLANAR / $\alpha_j - \alpha_s$ /	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 15^\circ$	$< 5^\circ$
TOPPLING / $\alpha_j - \alpha_s - 180^\circ$					
P/T F1 rating	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
PLANAR / $\beta_j$ /	$< 30^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
PLANAR F2 Rating	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
TOPPLING F2 Rating	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
PLANAR / $\beta_j - \beta_s$ /	$< 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	$0^\circ$	$0^\circ - (-$	$< - 10^\circ$
TOPPLING / $\beta_j + \beta_s$ /	$< 100^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$> 120^\circ$	$10^\circ)$	
P/T F3 Rating	0.00	- 6	1.00	- 50	- 60

Tabel 8. Pembobotan nilai F4 untuk metode eskavasi

Method Excavation	Adjusment Factor
Natural Slope	F4 = + 15
Prespliting	F4 = + 10
Smooth Blasting	F4 = + 8
Normal Blasting	F4 = 0
Deficient Blasting	F4 = - 8
Mechanical Excavation	F4 = 0

Tabel 9. Deskripsi pembobotan massa batuan

CLASS NO.	V	IV	III	II	I
RMR	0 -20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
Description	Very bad	Bad	Normal	Good	Very Good
Stability	Fully Instable	Instable	Partially Stable	Stable	Fully Stable
Failures	Big planar or soil - like	Planar or Big Wedges	Some joints or Many wedges	Some Blocks	None
Support	Re-excavation	Important Coorrective	Systematic	Occasional	None



Gambar 1. Stratigrafi daerah Satui

Table 10. Rock Mass Classification, RMR and SMR of Bore Hole No. AW-1 for cut slope by mechanical excavation or normal blasting procedure

Depth (m)	Lithology	Rock Name	UCS (MPa)	RQD (%)	Joint Spacing (cm)	Joint Condition Rating	Ground Water Condition Rating	F1	F2	F3	RMR Total rating	CLASS NUMBER			
												1)	2)	3)	4)
0 - 4.46		siltstone/sandstone and coal	4.986 1	18% 3	65 15	slightly rough, WM - WS 25	damp 10	>30° 0.15	82 1.00	19 0.00	54*	55	54	60	69
4.46 - 8.70		sandstone	4.222 1	26% 8	210 20	rough, WM - WS 25	dry 15	>30° 0.15	82 - 90 1.00	19 0.00	69	65	69	70	77
8.70 - 16.80		siltstone/sandstone and coal	5.819 2	33% 8	70 15	rough - smooth, WS 25	damp to dry 10	>30° 0.15	85 - 90 1.00	27 0.00	60	65	60	64	72
16.80 - 22.40		siltstone	9.375 2	76% 17	75 15	slickensides, smooth, F 10	dry 15	>30° 0.15	85 - 90 1.00	25 0.00	59	55	59	63	72
22.40 - 27.93		sandstone	12.930 2	59% 13	163 15	rough to slightly rough, F 25	dry 15	>30° 0.15	76 - 82 1.00	16 0.00	70	65	70	71	78
27.93 - 39.45		siltstone/sandstone and coal	6.861 2	44% 8	35 10	slickensides, slightly rough, F 10	damp 10	>30° 0.15	53 100	11 60	40	55	49	51	58
39.45 - 45.30		siltstone/sandstone	8.016 2	0 3	42 10	slickensides 10	damp 10	>30° 0.15	49 - 86 1.00	20 0.00	35	45	35	48	53
45.30 - 51.00		siltstone and coal	12.961 2	42% 8	66 15	slickensides, slightly rough 10	damp 10	>30° 0.15	42.75 0.85	20 60	45	55	53	54	62

EXPLANATION :

WS : slightly weathered

WM : moderately weathered

F : fresh

F1 : mean of joints strike minus slope strike

F2 : mean of joints dip

F3 : mean of joints dip minus angle of slope

angle of slope of open pit = 63°

\*) RMR = total rating, e.g., 1 + 3 + 15 + 25 + 10 = 54

SMR (Slope Mass Rating)

1) Laubscher (1975)

RMR SMR (°)

80 - 100 75

60 - 80 65

40 - 60 55

20 - 40 45

00 - 20 35

2) SMR = RMR - (F1 x F2 x F3) + F4; F4 = 0 (Romano, 1980)

3) SMR = 0.65 RMR + 25 (Hall, 1985)

4) SMR = 35 ln RMR - 71 (Orr, 1992)

Table 11. Rock Mass Classification, RMR and SMR of Bore Hole No. AW-2 for cut slope by mechanical excavation or normal blasting procedure

Depth (m)	Lithology	Rock Name	UCS (MPa) Rating	RQD (%) Rating	Joint Spacing (cm) Rating	Joint Condition Rating	Ground Water Condition Rating	F1	F2	F3	RMR Total rating	CLASS NUMBER	SMR (°)					
													1)	2)	3)	4)		
0.00 - 49.40		dumped material (rock fragments and soil)	—	—	—	—	dry	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
49.40 - 51.73		siltstone	15.223 2	14 3	39 10	slightly rough slickensides, F 10	dry 15	>30° 0.15	70 1	7 -6	40	III	55	41	51	58		
51.73 - 60.10		coal and siltstone	13.689 2	45 8	120 15	rough, slickensides, F 10	dry 15	>30° 0.15	68 1	5 -6	50	III	55	51	58	66		
60.10 - 65.00		siltstone	13.70 2	46 8	49 10	rough, slickensides, F 10	dry 15	>30° 0.15	27.5 0.4	-35.5 -60	45	III	55	49	54	62		
65.00 - 70.00		sandstone	16.891 2	39 10	39 10	rough, slickensides, F 10	dry 15	>30° 0.15	30 1	-33 -60	47	III	55	56	56	64		

Table 12. Rock Mass Classification, RMR and SMR of Bore Hole No. AW-3 for cut slope by mechanical excavation or normal blasting procedure

Depth (m)	Lithology	Rock Name	CS (MPa) Rating	ROD (%) Rating	Joint Spacing (cm) Rating	Joint Condition Rating	Ground Water Condition Rating	F1	F2	F3	RMR Total rating	CLASS NUMBER	SMR (°)			
													1)	2)	3)	4)
0.00 - 4.75		sandstone and siltstone	2.98 1	15 3	20 8	slightly rough, WM 20	damp 10	>30° 0.15	90 1	27 0.00	42	III	55	42	52	60
4.75 - 12.12		sandstone	4.357 1	0 3	105 15	rough, WS 10	damp - dry 10	>30° 0.15	90 1	27 0.00	39	IV	45	39	50	57
12.12 - 21.37		siltstone/sandstone and coal	1.383 1	39 8	46 10	rough, filling clay, F 0	damp - dry 10	>30° 0.15	90 1	27 0.00	29	IV	45	29	44	47
21.37 - 27.84		sandstone	5.784 2	54 13	21 10	rough, WS - F 25	damp - dry 10	>30° 0.15	90 1	27 0.00	60	IV	45	60	64	72
27.84 - 44.50		siltstone/sandstone and coal	11.984 2	56 13	56 10	slickensides smooth, F 10	dry 15	>30° 0.15	43 0.85	20 60	50	III	55	58	58	66
44.50 - 51.50		sandstone	17.625 2	63 13	64 15	slickensides, F 10	damp - dry 10	>30° 0.15	55 1	8 15	50	III	55	52	58	66

Tabel 13. Variasi sudut pemotongan lereng dengan metode SMR

Drill Hole	SMR - 1 (Laubscher, 1975)	SMR - 2 (Romano, 1983)	SMR - 3 (Hall, 1985)	SMR - 4 (Orr, 1992)
AW - 1	45 - 65	35 - 70	48 - 71	53 - 78
AW - 2	55	41 - 56	51 - 58	58 - 66
AW - 3	45 - 55	29 - 60	44 - 64	47 - 72