

ANALISIS KESTABILAN LERENG HIGHWALL PIT6 LUBANG BOR GNDH55 PROJECT DESA BATUAH KECAMATAN LOAJANAN KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA PROVINSI KALIMANTAN TIMUR

Khairul Imam

Program Studi DIII Teknologi Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram
imamsevens@gmail.com

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima: 30 -08- 2020
Disetujui: 16- 09- 2020

Kata Kunci:

Pengeboran Geoteknik
Batubara
Lereng Tunggal
Lereng Keseluruhan
Stabilitas Lereng
Faktor Keamanan

Keywords:

Geotechnical Drilling
Coal
Single Slope
Overall Slope
Slope Stability
Safety Factor

ABSTRAK

Lereng merupakan permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Lereng yang terdapat pada tambang batubara merupakan buatan manusia. Batubara adalah salah satu bahan galian dimana sistem penambangannya menggunakan tambang terbuka. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik batuan dari parameter yang digunakan dalam menentukan pemodelan geoteknik, mengetahui faktor keamanan lereng tunggal dan keseluruhan, membuat rancangan lereng tunggal, dan membuat rancangan lereng highwall yang aman pada lokasi penambangan batubara. Dalam penelitian ini terdiri dari 3 (tiga) tahapan yaitu, pengumpulan data, tahap lapangan, dan pasca lapangan. Pengumpulan data meliputi pengumpulan data primer dan data sekunder. Tahap lapangan meliputi pengeboran geoteknik dan pengepakan sampel. Tahap pasca lapangan meliputi preparasi dan analisis laboraorium serta pengolahan data. Untuk melakukan analisis stabilitas lereng digunakan program SLIDE 6.0. Hasil analisis stabilitas lereng didapatkan bahwa lereng tunggal dengan tinggi jenjang 10 meter dengan sudut 35°, 40°, 45°, dan 50° berada dalam keadaan aman untuk kondisi jenuh dan kering. Sedangkan lereng tunggal dengan kondisi kering dan jenuh pada tinggi 15 meter dan sudut 35°, 40°, 45°, dan 50° berada dalam keadaan aman dan tidak aman. Pada lereng keseluruhan untuk lereng highwall pada tinggi 70 meter dan sudut 25° pada kondisi jenuh dan kering berada dalam kondisi aman dengan nilai FK 1,330 dan 2,089 (FK > 1,300), sedangkan pada sudut 30° pada kondisi kering dan jenuh berada dalam keadaan aman dan tidak aman dengan nilai FK 1,703 dan 1,184 (FK < 1,300).

Abstract

Slope is the surface of the earth which forms a certain angle with a horizontal plane. The slopes found in coal mines are man-made. Coal is a quarry where the mining system uses an open pit. This study aims to determine the physical and mechanical properties of rocks from the parameters used in determining geotechnical modeling, knowing the safety factors of single and overall slopes, making single slope designs, and making safe highwall slope designs at coal mining locations. To do slope stability analysis, SLIDE 6.0 is used. In this study consists of 3 (three) stages, namely, data collection, field stage, and post-field. Data collection includes primary and secondary data collection. The field stage includes geotechnical drilling and sample packing. The post-field stage includes laboratory preparation and analysis as well as data processing. To do slope stability analysis, SLIDE 6.0 is used. The results of the slope stability analysis found that a single slope with a height of 10 meters with an angle of 35°, 40°, 45° and 50° are safe for saturated and dry conditions. Whereas a single slope with dry and saturated conditions at 15 meters high and angles of 35°, 40°, 45°, and 50° are safe and unsafe. On the overall slope for highwall slopes at a height of 70 meters and an angle of 25° in saturated and dry conditions are in safe conditions with FK values 1,330 and 2,089 (FK > 1,300), while at an angle of 30° in dry and saturated conditions are in a safe and insecure with FK values 1,703 and 1,184 (FK < 1,300).

A. LATAR BELAKANG

Batubara merupakan salah satu bahan galian yang tersebar luas di berbagai wilayah di Indonesia terutama di Pulau Sumatera dan Kalimantan. Sistem penambangan yang digunakan anatara lain tambang

terbuka dan tambang bawah tanah. Di Indonesia kebanyakan perusahaan tambang batubara menggunakan sistem tambang terbuka. Tambang terbuka merupakan salah satu sistem penambangan yang dilakukan diatas atau relatif dekat dengan permukaan bumi. Pada dasarnya perencanaan tambang

terbuka memerlukan perhitungan yang matang agar tercipta tambang yang aman serta ekonomis. Untuk terciptanya tambang yang aman, dalam tahap perencanaan perlu di dukung dengan data – data yang berkaitan dengan geoteknik.

PT Tambang Berkat Karunia (TBK) merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang pertambangan batubara dengan sistem tambang terbuka. PT Tambang Berkat Karunia berencana untuk memperluas area penambangan. Sebelum melakukan penambangan, perlu dilakukan kajian geoteknik untuk mendukung rancangan desain yang sudah ada. Kajian geoteknik dilakukan untuk memperkirakan model lereng yang akan diterapkan agar lereng yang terbentuk nantinya aman dan tidak menimbulkan bahaya. Kajian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan dijadikan sebagai pertimbangan dalam pembuatan lereng nantinya dengan maksud untuk mengatasi kendala – kendala yang kemungkinan akan muncul pada saat oprasi penambangan berlangsung. Kegiatan penambangan di lakukan oleh PT Tambang Berkat Karunia yang semakin dalam akan mempengaruhi kestabilan lereng, khususnya lereng *Highwall*. Untuk menjamin keamanan dari kegiatan penambangan diperlukan lereng yang mantap dan stabil. Oleh karena itu diperlukan analisis mengenai kestabilan lereng *Highwall* yang ada untuk menjamin keamanan tersebut.

B. METODE PENELITIAN

1. Pengumpulan Data

Data premier merupakan sumber data yang diperoleh secara langsung dari sumber asli. Data premier secara khusus dikumpulkan oleh peneliti untuk menjawab pertanyaan riset atau penelitian. Data premier dapat berupa pendapat subjek riset baik secara individu maupun kelompok, hasil observasi terhadap suatu benda, kejadian, atau kegiatan, dan hasil pengujian.

Data sekunder merupakan sumber data yang diperoleh peneliti secara tidak langsung melalui media perantara. Data sekunder pada umumnya berupa bukti, catatan, atau laporan historis yang tidak tersusun dalam arsip, baik yang dipublikasikan maupun untuk dipublikasikan.

2. Analisis Tahapan Lapangan

Pada tahap lapangan, kegiatan yang dilakukan yaitu pengeboran geoteknik dan pengepakan sampel batuan.

- Pengeboran Geoteknik: Pengeboran geoteknik bertujuan untuk mengetahui tebal lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan. Selain itu pemboran juga bertujuan untuk mengetahui jenis batuan dan jenis tanah di daerah yang akan diteliti. Pengambilan sampel selanjutnya akan digunakan untuk pengujian laboratorium (Arif, 2016). Dari sampel batuan juga dapat diperoleh kualitas massa batuan atau RQD (*Rock Quality Designation*) dan *Recovery*.

- Pengepakan Sampel: Setelah jenis batuan, RQD, dan *Recovery* diketahui, selanjutnya sampel batuan akan dipotong sesuai kebutuhan pengujian, lalu dibungkus dengan plastic wrap dan aluminium foil, kemudian sampel batuan diberikan kode sampel, setelah itu sampel batuan dimasukkan ke dalam paralon yang sudah berisi serbuk gergaji. Terakhir paralon yang berisi sampel di masukkan ke *core box* dan siap dikirim untuk pengujian laboratorium.

3. Analisis Data Pasca Lapangan

Pada tahap analisis data uji lapangan kegiatan yang dilakukan yaitu preparasi sampel yang dilakukan mulai dari membungkus sampel, memberi nama kode pada sampel, dan memotong sampel.

a. Preparasi Sampel

Sampel yang masih ada di dalam pipa paralon dibongkar kemudian dibungkus dengan isolasi. Sampel yang sudah diisolasi ditandai dengan spidol sesuai dengan kebutuhan uji yang dilakukan. Sampel kemudian diberi identitas seperti nama lubang bor, jenis litologi, nama perusahaan, kedalaman, serta jenis pengujian yang akan dilakukan.

b. Analisis Laboratorium

Analisis laboratorium merupakan suatu kegiatan yang bertujuan menentukan sifat fisik dan sifat mekanik batuan dari sampel yang telah diperoleh di lapangan. Adapun pengujian laboratorium yang dilakukan meliputi bobot isi, berat jenis, porositas, kadar air jenuh (*absorption*), angka pori (*void ratio*), uji tekan, dan uji kuat geser.

4. Pengolahan Data

Hasil analisa laboratorium dijadikan sebagai parameter dalam pembuatan lereng, dimana analisa tersebut digunakan sebagai properties. Data yang digunakan antara lain, bobot isi kering (γ_d), bobot isi jenuh (γ_s), hasil kohesi (c), dan sudut gesek dalam (ϕ).

TABEL 1.
Kekerasan Kuat Tekan Uniaxial

Pemerian	Kuat Tekan Uniaxial (Mpa)
Sangat Kuat	> 250
Kuat	100 – 250
Sedang	50 – 100
Lemah	25 – 50
Sangat Lemah	1 – 25
Tanah	< 1

Sumber: Bieniawski, 1973 (dalam MCS, 2017)

Metode analisis kestabilan lereng yang digunakan dalam penelitian adalah metode Bishop. Metode Bishop bekerja berdasarkan prinsip keseimbangan batas yaitu menghitung kekuatan geser yang akan mempertahankan kemantapan, dibandingkan dengan

besarnya tegangan geser yang bekerja. Harga perbandingan ini adalah faktor keamanan atau *Safety factor*.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengeboran dan Sampling Geoteknik

Lokasi penambangan dan pemboran geoteknik PT Tambang Berkat Karunia terletak di Desa Batuah, Kecamatan Loajan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur (Gambar 1.1). Sedangkan secara geografis lokasi tambang PT Tambang Berkat Karunia berada pada koordinat $117^{\circ} 05' 27.5''$ BT dan $0^{\circ} 43' 02.8''$ LS.



Gambar. 1 Peta Lokasi Penelitian

Pengeboran geoteknik merupakan salah satu kegiatan dari eksplorasi dengan tujuan untuk mengetahui perlapisan dari tanah atau litologi di bawah permukaan. Dalam penelitian ini pengeboran dilakukan sedalam 79.80 meter dan sudah mencapai sim yang telah ditargetkan oleh perusahaan. Setiap interval kedalaman 10 meter memiliki litologi yang berbeda – beda. Litologi yang dihasilkan dalam pengeboran secara umum terdiri dari beberapa jenis meliputi *Soil*, *Sandstone*, *Claystone*, *Siltstone*, *Carbonaceous Claystone*, *Shallycoal* dan *Coal*. Dan adapun yang dinamakan *Core Lose* dalam pengeboran, yang berarti hilangnya *Core* atau sample yang disebabkan oleh lunaknya material batuan tersebut, dan biasanya *Core Lose* sering terjadi pada litologi *Sandstone* atau batupasir yang lunak.

2. Hasil Pengujian Laboratorium

Sebelum melakukan pemodelan pada lereng terlebih dahulu dilakukan pengujian laboratorium. Pengujian laboratorium terdiri dari pengujian sifat fisik dan mekanik.

a. Pengujian Sifat Fisik Batuan

Pengujian sifat fisik yang dilakukan diantaranya, bobot isi kering, bobot isi jenuh, berat jenis semu,

berat jenis nyata, kadar air asli, kadar air jenuh, derajat kejenuhan, porositas, dan angka pori.

Tahapan yang di lakukan dalam pengujian Sifat fisik batuan ini adalah sebagai berikut :

- 1) Memilih *sample* uji fisik dari hasil potongan preparasi sebelumnya.
- 2) Kemudian lepas pembungkus yang ada.
- 3) Timbang berat aslinya.
- 4) Letakan sample dalam cawan dan masukan ke dalam desikator yang terisi air selama 24 jam.
- 5) Keluarkan udara yang ada di dalam desikator dengan menggunakan pompa vakum selama ± 15 menit.
- 6) Setelah 24 jam lamanya keluarkan sample dan timbang berat jenuhnya
- 7) Kemudian timbang juga dengan cara tergantung.
- 8) Masukan sample dalam oven yang bersuhu 100 derajat dan di amkan selama 24 jam sehingga kering.
- 9) Lakukan penimbangan berat kering.

b. Pengujian Sifat Mekanik Batuan

Pengujian sifat mekanik yang dilakukan diantaranya, uji kuat geser dan uji kuat tekan (UCS).

1. Uji Kuat Geser

Prosedur pengujian kuat geser di lakukan sebagai berikut :

Membuat cetakan sampel uji geser, dengan cara campuran pasir dan semen dengan perbandingan 3:1 antara pasir dengan semen, kemudian hasil campuran semen tersebut di letakan di cetakan yang sudah ada. Sebelum di cetak terlebih dahulu sampel di lumuri dengan lilin yang telah di panaskan, untuk menjaga kadar airnya dan juga mencegah sampel yang rusak atau retak sebelum di uji. Kemudian lakukan pengujian geser dengan menggunakan alat pengujian geser (*Direct shear box*).



Gambar. 2 Alat Uji Kuat Geser

2. Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan ialah pengujian sifat mekanik batuan untuk mengetahui kuat tekan uniaksial itu sendiri.

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kekuatan tekanan dari sample batuan. Pengujian ini menggunakan alat mesin tekan untuk memberikan beban pada sample batuan. Perubahan bentuk ini akan terjadi dalam arah lateral (Δd) dan arah vertical (Δl). Perubahan bentuk dalam arah lateral terhadap diameter disebut regangan lateral (ϵ_l), sedangkan perubahan bentuk dalam arah vertical terhadap tinggi di sebut regangan aksial (ϵ_a), dan perubahan bentuk disebut ragangan volumetric (ϵ_v).



Gambar 3. Alat Uji Kuat Tekan

Berdasarkan hasil uji laboratorium diketahui bahwa parameter - parameter yang digunakan untuk menentukan pemodelan geoteknik memiliki nilai yang berbeda - beda. Dilihat dari **Tabel. 2** diperoleh nilai bobot isi kering terkecil yaitu 6.66 kN/m³ yang dijumpai pada *Coal 2* dan terbesar yaitu 15.14 kN/m³ yang dijumpai pada *Sandstone 1*. Untuk nilai bobot isi jenuh terkecil yaitu 11.3 kN/m³ dijumpai pada *Coal 2* dan terbesar yaitu 19.51 kN/m³ dijumpai pada *Sandstone 1*. Untuk nilai kohesi terkecil yaitu 20.4 kN/m² dijumpai pada *Claystone 3* dan terbesar yaitu 88.73 kN/m² dijumpai pada *Coal 2*. Untuk nilai sudut gesek dalam terkecil yaitu 11.34 dijumpai pada *Soil* dan terbesar yaitu 45.08° dijumpai pada *Claystone 2* dan *Siltstone 2*. Dapat di lihat pada table berikut hasil uji laboratorium yang akan di jadikan parameter untuk pemodelan geoteknik.

TABEL 2.

Hasil uji laboratorium dan parameter untuk pemodelan geoteknik

No	Material	Parameter			
		bobot isi kering. kN/m ³	Bobot isi jenuh. kN/m ³	Kohesi kN/m ²	Sudut gesek dalam (°)
1	<i>Soil</i>	13.14	18.11	30.14	11.34
2	<i>Siltstone 1</i>	14.78	19.03	21.94	26.63

3	<i>Claystone 1</i>	13.21	17.82	31.39	38.74
4	<i>Claystone 2</i>	10.63	15.17	45.26	45.08
5	<i>Siltstone 2</i>	12.9	17.5	53.45	45.08
6	<i>Claystone 3</i>	12.99	17.61	20.4	32.01
7	<i>Claystone 4</i>	14.02	18.41	66.17	17.67
8	<i>Coal 1</i>	7.25	11.95	66.8	20.47
9	<i>Claystone 5</i>	14.9	18.67	61.02	26.41
10	<i>Coal 2</i>	6.66	11.3	88.73	41.12
11	<i>Carbonaceous Claystone</i>	13.04	17.24	44.48	17.2
12	<i>Claystone 6</i>	13.39	17.79	67.73	17.13
13	<i>Sandstone 1</i>	15.14	19.51	26.35	16.75

3. Pemodelan Geoteknik

Dalam pemodelan geoteknik yang dilakukan pertama kali yaitu membuat geometri lereng. Geometri lereng yang dibuat memiliki tinggi jenjang dan sudut lereng yang berbeda - beda. **TABEL 3.** berikut menunjukkan tinggi dan sudut lereng yang digunakan dalam simulasi untuk menentukan faktor keamanan lereng tunggal pada kode lubang bor GNDH55.

TABEL 3.

Tinggi dan sudut lereng yang digunakan dalam simulasi untuk kode lubang bor GNDH55 pada lereng tunggal

Lereng	Tinggi (m)	Sudut lereng (°)
Tunggal (<i>Single Slope</i>)	10	35
		40
		45
	15	50
		35
		40
		45
		50

3. Analisis Lereng Tunggal (*Single Slope*)

Analisis kemantapan lereng tunggal bertujuan untuk mengetahui faktor keamanan dari lereng tunggal. Pemodelan lereng tunggal diaplikasikan pada setiap litologi. Hasil analisis lereng yang aman selanjutnya dijadikan rekomendasi kepada perusahaan. Pemodelan lereng divariasikan berdasarkan tinggi dan sudut yang berbeda - beda. Dalam pemodelan juga diasumsikan dalam keadaan basah dan kering.

TABEL. 4

Hasil Analisis Lereng Tunggal Dengan *Software Slide 6.0*

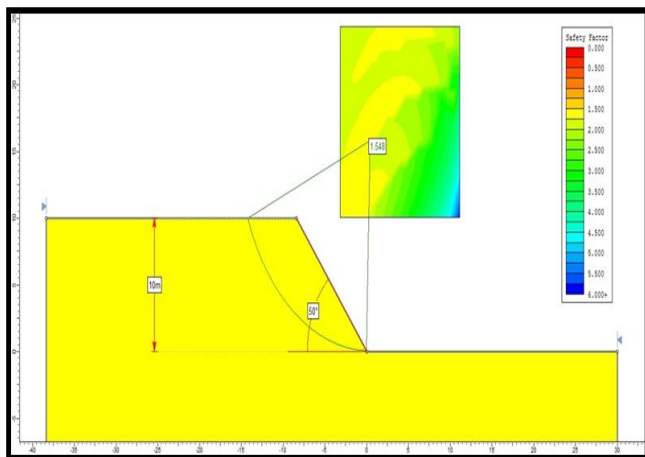
Tinggi (m)	Sudut (°)	Faktor Keamanan				
		SO	SL 1	CS 1	CS 2	SL 2
5	35	2.598	2.479	3.826	5.630	5.942
	40	2.532	2.326	3.586	5.399	5.645
	45	2.506	2.248	3.482	5.303	5.501
	50	2.446	2.123	3.295	5.029	5.216

10	35	1.436	1.549	2.367	3.304	3.552
	40	1.407	1.492	2.289	3.222	3.425
	45	1.339	1.365	2.091	2.957	3.154
	50	1.307	1.323	2.039	2.946	3.098
15	35	1.092	1.340	2.055	2.760	2.970
	40	1.039	1.227	1.880	2.531	2.732
	45	0.960	1.079	1.650	2.248	2.442
	50	0.941	1.055	1.662	2.236	2.389

Keterangan :

	: Rekomendasi
	: Aman
	: Tidak Aman
	: Sangat Tidak Aman

Kriteria faktor keamanan (FK) yang digunakan dalam pemodelan lereng tunggal ini mengacu pada Canmet (1979), dimana FK harus $\geq 1,200$. Artinya apabila FK hasil analisis dari lereng tunggal $\geq 1,200$ maka lereng dianggap aman. Sedangkan apabila hasil analisis menghasilkan FK $< 1,200$ maka lereng dianggap tidak aman.



Gambar. 4 Analisis lereng tunggal pada kondisi kering dengan litologi *Sandstone 1*, tinggi jenjang 10 m, dan sudut lereng 50°

4. Analisis Lereng Keseluruhan (Overall Slope)

Analisis kemantapan lereng keseluruhan (*overall slope*) bertujuan untuk mengetahui tingkat keamanan dari lereng keseluruhan dengan melakukan pemodelan dengan tinggi dan sudut lereng tertentu. Hasil akhir dari analisis ini yaitu memberikan rekomendasi lereng yang aman dengan tinggi dan sudut lereng tertentu. Dalam menentukan lereng keseluruhan juga dilakukan pemodelan seperti menentukan tinggi dan sudut lereng. Lereng keseluruhan juga memiliki data masukan lebih banyak dibandingkan dengan lereng tunggal yang hanya memiliki satu data masukan saja. Acuan tinggi dan sudut lereng keseluruhan yang digunakan dalam pemodelan yaitu tinggi 70 meter dengan sudut 25° dan 30° . Dalam pemodelan lereng diasumsikan dalam keadaan kering dan jenuh. Tabel berikut merupakan hasil analisis pada lereng keseluruhan.

TABEL. 5
Hasil analisis lereng keseluruhan tinggi lereng

No	Kondisi lereng	Tinggi	Sudut lereng	FK
1	Kering	70 m	25°	2.089
2	Jenuh			1.330
3	Kering		30°	1.703
4	Jenuh			1.184

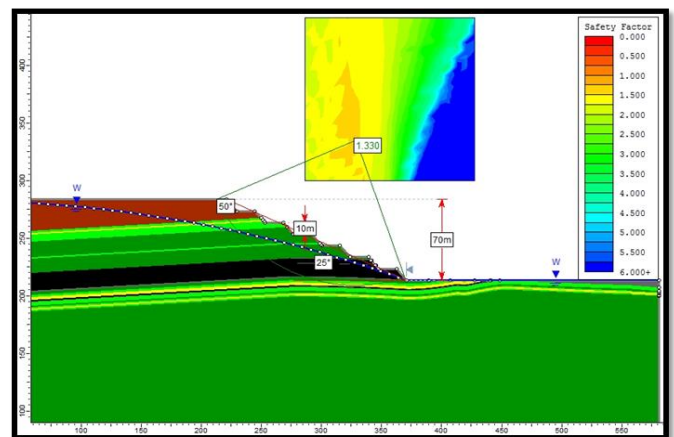
Keterangan:

	: Rekomendasi
	: 1,3 (Aman)
	: $< 1,3$ (Tidak Aman)

Kriteria FK (Faktor Keamanan) yang digunakan dalam pemodelan lereng keseluruhan ini mengacu pada Canmet (1979), dimana FK harus $\geq 1,3$. Artinya apabila FK hasil analisis dari lereng tunggal $\geq 1,3$ maka lereng dianggap aman. Sedangkan apabila hasil analisis menghasilkan FK $< 1,3$ maka lereng dianggap tidak aman.

Setelah melakukan analisis stabilitas lereng keseluruhan maka dapat direkomendasikan bahwa lereng dalam kondisi jenuh akan aman dengan nilai faktor keamanan 1.330 apabila lereng mempunyai tinggi 70 meter dan sudut 25° .

Berikut merupakan gambar rekomendasi lereng keseluruhan pada kondisi jenuh dengan tinggi lereng 70 meter, sudut lereng 25° , dan nilai faktor keamanan 1.330.



Gambar.5 Analisis lereng keseluruhan dalam kondisi jenuh, tinggi lereng 70 meter dan sudut 25°

D. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan di dapatkan kesimpulan yaitu

- Parameter yang digunakan dalam pemodelan geoteknik adalah hasil dari pengujian sifat fisik dan

mekanik di laboratorium yang memiliki nilai bobot isi kering 6.66 kN/m^3 sampai 15.14 kN/m^3 . Nilai bobot isi jenuh 11.3 kN/m^3 sampai 19.51 kN/m^3 . Nilai kohesi 20.4 kN/m^2 sampai 88.73 kN/m^2 . Nilai sudut gesek dalam 11.34° sampai 45.08°

- b. Lereng pada tinggi jenjang 10 meter aman pada semua kondisi, sedangkan lereng dengan tinggi jenjang 15 meter ada yang aman dan ada yang tidak aman.
- c. Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng tunggal diperoleh lereng dalam kondisi aman dengan FK terkecil berada pada tinggi lereng 10 meter dan sudut 50° dengan litologi Sandstone 1.
- d. Rekomendasi lereng keseluruhan untuk lereng highwall yaitu dapat direkomendasikan ketinggian lereng 70 m dengan sudut 25° pada kondisi jenuh dan mempunyai nilai FK yaitu 1.330.

2. Saran

Pemantauan lereng harus sering dilakukan untuk mengetahui seberapa besar perpindahan massa batuan akibat adanya aktifitas penambangan.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Abramson, dkk. (2002), *Slope Stability and Stabilization Methods, Second Edition*, John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Arif, I., 2016, *Geoteknik Tambang*, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [3] Bieniawsky, 1973, Rock Mass Rating (RMR) Penilaian Terhadap Batuan, <https://ilmubatugeologi.blogspot.com>, Diakses tanggal 3 April 2016.
- [4] Bishop, A.W., 1955. *The Use Of Slip Surface In The Stability Of Analysis Slope, Geotechnique*, Vol 5. London.
- [5] Canada Center for Mineral and Energy Technology (CANMET), 1979, *Poit Slope Manual: Chapter 9 – Waste Embankments*, Mining Researc Laboratories, Departement of Energy, Miner, and Resources, Canada.
- [6] MCS, 2017, *Informasi Umum PT Tambang Berkat Karunia*, CV. Mineral & Coal Studio, Yogyakarta.
- [7] Kramadibrata, S., 2012, *Mekanika Batuan, Laboratorium [1] Geomekanika dan Peralatan Tambang Institut Teknologi Bandung*, Bandung.
- [8] Rai, M.A., 1987, *“Mekanika Batuan” Istitut Teknologi Bandung*, Bandung.
- [9] UPN, 2009, *Geotek Geoteknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”, Yogyakarta*.