

ANALISIS KESTABILAN LERENG PADA SEKITARAN LUBANG BMK 35 DI CV. BARA MITRA KENCANA (BMK), TANAH KUNING, DESA BATU TANJUNG, KECAMATAN TALAWI, KOTA SAWAHLUNTO

Eggi Marcello^{1*}, Yoszi Mingsi Anaperta^{1**}

*eggimarcellino@gmail.com

**yoszimingsianaperta@gmail.com

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, Indonesia

Abstrack. Based on the results of observations at BMK 35 CV. Bara Mitra Kencana, the authors conducted research on BMK 35 slopes where slope height (H) = 35 m and slope (α) = 65°. Referring to the description of the BMK 35 supervisor, in mid-2018 a large landslide occurred which resulted in tunnel 1 and tunnel 3 being completely buried. As a result of this incident, BMK 35 stopped producing for half a year due to road and tunnel access improvements. This incident occurred due to rainy weather at the mine site in mid-2018 and the absence of a good geotechnical design for the BMK 35 slope.

Based on the data from the physical and mechanical properties of rock, the siltstone natural density was 22,84 KN / m³, the saturated density was 23,79 KN/m³, the dry density value was 20,17 KN / m³, cohesion (c) = 0.0419 Mpa and internal friction angle (ϕ) = 44,45°. In determining the value of the actual slope safety factor using software rocsience slide 6.0 with the Janbu simplified method, the saturated condition slope safety factor value is 1,192, natural condition is 1,209 and dry condition is 1,265. So it can be concluded that the slope is unstable. The author provides two recommendations for slope improvement, namely, single slope and overall slope. Recommendations with a single slope is use a slope height of 35 meters, angle of slope 58° and get a FK 1,318 in natural conditions, 1,300 in saturated conditions, 1,375 in dry conditions. Recommendation overall slope is to divide into 2 single slope where each slopes have heights 17.5 meters and angle of the single slope is 65° and 51° for the overall slope. When in natural conditions, FK on a single slope is 1,559 and 1,403 for the overall slope. When conditions are saturated, FK on a single slope is 1,529 and 1,384 for the overall slope. When conditions are dry, FK on a single slope is 1,656 and 1,464 for the overall slope.

Keywords: Slope, Physical and Mechanical Properties of Rocks, Cohesion, Internal Friction Angle, Safety Factor (FK), Janbu Simplified

1. Pendahuluan

Salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam sistem operasi tambang adalah faktor-faktor geoteknik pada litologi batuan di daerah penambangan. Karena pada saat proses desain suatu lereng sangat banyak faktor - faktor yang mempengaruhi dan harus diinput sebagai parameter untuk menentukan kemantapan lereng tersebut. Longsoran merupakan suatu bencana alam yang sering terjadi pada lereng-lereng alami maupun buatan kebanyakan longsor terjadi pada saat tekanan air tanah meningkat yang mengakibatkan penurunan kuat geser tanah (c), dan sudut geser dalam (α) yang menyebabkan kelongsoran (Bria, Kornelis 2017). Longsoran dapat terjadi pada hampir setiap kemungkinan, perlahan-lahan ataupun secara tiba-tiba dan dengan atau tanpa adanya suatu peringatan yang nyata.

Berdasarkan hasil pengamatan aktual di lapangan, penulis melakukan penelitian pada lereng BMK 35 dimana tinggi lereng (H) = 35 m dan kemiringan (α) = 65°. Mengacu pada uraian pengawas BMK 35, pada pertengahan 2018 terjadi longsor besar yang mengakibatkan tunnel 1 dan tunnel 3 tertimbun penuh.

Akibat dari kejadian tersebut, BMK 35 terhenti untuk berproduksi selama setengah tahun karena perbaikan akses jalan dan tunnel. Curah hujan yang tinggi akan mempengaruhi kondisi material lereng, yang awalnya keras menjadi lunak. Maka dari itu, penulis akan menganalisis kestabilan lereng dengan menggunakan metode Janbu *Simplified*. Selanjutnya menganalisis kestabilan lereng setelah longsor serta memberikan rekomendasi desain geometri lereng pada BMK 35 agar nilai FK > 1,3 dengan menggunakan metode Janbu *Simplified* dan *Hoek and Bray*



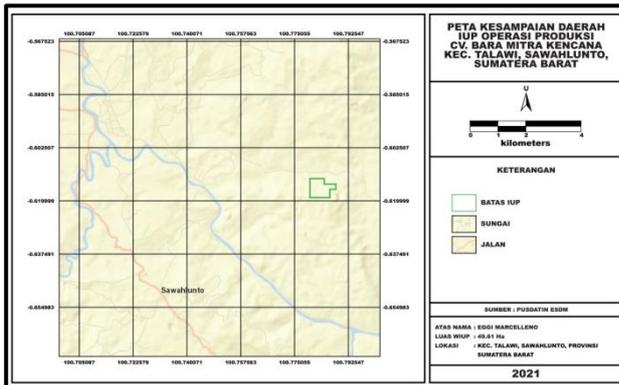
Gambar 1. Lereng BMK 35

2. Kajian Teori

2.1 Lokasi Penelitian

Secara administrasi wilayah IUP OP Batubara CV. Bara Mitra Kencana berada di Tanah Kuning, Desa Batu Tanjung Kecamatan Talawai, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat, yang secara geografis berada pada koordinat $100^{\circ}47'18,39'' - 100^{\circ}46'48,10''$ Bujur Timur (BT) dan $00^{\circ}37'08,22'' - 00^{\circ}36'58,36''$ Lintang Selatan (LS).

Lokasi wilayah IUP OP Batubara CV. BARA MITRA KENCANA, seperti ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Peta Wilayah IUP OP Batubara CV. BARA MITRA KENCANA

2.2 Kestabilan Lereng

Kestabilan lereng, baik lereng alami maupun lereng buatan (buatan manusia) serta lereng timbunan, dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat dinyatakan secara sederhana sebagai gaya-gaya penahan dan gaya-gaya penggerak yang bertanggung jawab terhadap kestabilan lereng tersebut. Pada kondisi gaya penahan (terhadap longsoran) lebih besar dari gaya penggerak, lereng tersebut akan berada dalam kondisi yang stabil (aman). Namun apabila gaya penahan menjadi lebih kecil dari gaya penggerak, lereng tersebut akan menjadi tidak stabil dan akan terjadi longsoran. Sebenarnya, longsoran merupakan suatu proses alami yang terjadi untuk mendapatkan kondisi kestabilan lereng yang baru (keseimbangan baru), di mana gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak.

$FK \geq 1,3$: lereng dalam keadaan stabil
 $1 < FK < 1,3$: lereng dalam keadaan kritis (akan longsor)

$FK \geq 1$: lereng dalam keadaan tidak stabil.

2.3 Klasifikasi Longsoran

Berdasarkan proses longsornya, longsoran batuan dapat dibedakan menjadi empat macam, yaitu:

2.3.1 Longsoran Bidang (*plane failure*)

Longsoran bidang merupakan suatu longsoran batuan yang terjadi sepanjang bidang luncur yang dianggap rata.

2.3.2 Longsoran Baji (*Wedge Failure*)

Longsoran baji dapat terjadi pada suatu batuan jika terdapat lebih dari satu bidang lemah yang bebas dan

saling berpotongan. Sudut perpotongan antara bidang lemah tersebut harus lebih besar dari sudut geser dalam batuan.

2.3.3 Longsoran Busur (*Circular Failure*)

Longsoran busur hanya terjadi pada tanah atau material yang bersifat seperti tanah. Antara partikel tanah tidak terikat satu sama lain. Dengan demikian, longsoran busur juga dapat terjadi pada batuan yang sangat lapuk serta banyak mengandung bidang lemah maupun tumpukan (timbunan) batuan hancur.

2.3.4 Longsoran Guling (*topling*)

Longsoran guling terjadi apabila bidang-bidang lemah yang hadir di lereng mempunyai kemiringan yang berlawanan dengan kemiringan lereng dimana struktur bidang lemahnya berbentuk kolom. Keadaan tersebut dapat digambarkan dengan balok-balok yang diletakkan di atas sebuah bidang miring.

2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

2.4.1 Faktor-Faktor Pembentuk Gaya Penahan

1. Jenis Batuan
2. Kekuatan Batuan
3. Penyebaran Batuan

2.4.2 Faktor-Faktor Pembentuk Gaya Penggerak Parameter-parameter yang penting pembentuk gaya penggerak adalah:

1. Sudut Lereng Dan Tinggi Lereng (Geometri Lereng)
2. Bobot isi
3. Kandungan air tanah

2.4.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Gaya Penahan

1. Proses pelapukan
2. Bidang lemah
3. Iklim
4. Air

2.4.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Gaya Penggerak

1. Aktivitas tektonik
2. Gempa atau sumber getaran yang lain
3. Penambahan air tanah
4. Pengerangan waduk

2.5 Rock Mass Rating (RMR)

Sistem klasifikasi massa batuan dengan RMR dari Bieniawski (1973) menggunakan enam parameter dasar untuk pengklasifikasian dan evaluasi hasil uji. Keenam parameter tersebut membantu perkiraan lebih lanjut hasil analisis stabilitas sampai permasalahan khusus geomekanika batuan. Keenam parameter yang digunakan untuk menentukan nilai RMR meliputi kuat tekan uniaksial (*uniaxial compressive stress*, UCS), rock quality designation (RQD), spasi diskontinuitas, keadaan diskontinuitas, keadaan air tanah dan orientasi diskontinuitas (Bieniawski, 1989).

Tabel 1. Pembobotan Nilai RMR System

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS						
Parameter	Range of values					
1	Point-load strength index	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range - uniaxial compressive test is preferred
	Strength of intact rock material	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	
2	Drill core Quality RQD	80% - 100%	75% - 80%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%
	Rating	15	12	7	4	1
3	Spacing of discontinuities	> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm
	Rating	20	17	13	8	3
4	Condition of discontinuities (See E)	Very rough surfaces	Slightly rough surfaces	Slightly rough surfaces	Slidensided surfaces	Soft gouge > 5 mm thick
		Not continuous	Separation < 1 mm	Separation < 1 mm	Gouge < 5 mm thick	or Separation > 5 mm
5	Inflow per 10 m tunnel length (l/m)	None	< 0.1	0.1 - 0.2	25 - 125	> 125
		Rating	30	25	20	10
6	Ground water (Joint water pressure) (Major principal stress)	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing
		Rating	15	10	7	4
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)						
Strike and dip orientations		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable
Ratings	Tunnels & mines	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS						
Rating	100 - 21	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21	
Class number	I	II	III	IV	V	
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock	
D. MEANING OF ROCK CLASSES						
Class number	I	II	III	IV	V	
Average stand-up time	20 yrs for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span	
Cohesion of rock mass (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100	
Friction angle of rock mass (deg)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15	
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY CONDITIONS						
Discontinuity length (persistence)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m	
Rating	6	4	2	1	0	
Separation (aperture)	None	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm	
Rating	6	5	4	1	0	
Roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slidensided	
Rating	6	5	3	0	0	
Infilling (gouge)	None	Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling > 5 mm	
Rating	6	5	2	2	0	
Weathering	Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed	
Rating	6	5	3	1	0	
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**						
Strike perpendicular to tunnel axis						
Drive with dip - Dip 45 - 90°	Drive with dip - Dip 20 - 45°	Strike parallel to tunnel axis		Dip 45 - 90°		
Very favourable	Favourable	Very favourable	Fair	Dip 20 - 45°		
Drive against dip - Dip 45-90°	Drive against dip - Dip 20-45°	Dip 0-20 - irrespective of strike*		Fair		
Fair	Unfavourable	Fair		Fair		

* Some conditions are mutually exclusive. For example, if infilling is present, the roughness of the surface will be overshadowed by the influence of the gouge. In such cases use A-4 directly.
 ** Modified after Wickham et al (1972).

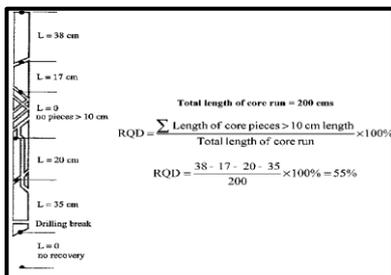
2.5.1 Kuat tekan point load index (PLI)

Untuk penentuan peringkat kuat tekan dari material batuan padu dapat menggunakan klasifikasi dari bieniawski (1989) seperti yang terdapat pada tabel 2.

Tabel 2. Indeks Kekuatan Material Batuan Utuh (Bieniaswki, 1989)

Deskripsi Kualitatif	Kuat Beban Titik (MPa)	Bobot
Kuat sekali	8	15
Sangat kuat	4-8	12
Kuat	2-4	7
Menengah	1-2	4
Lemah	Lebih baik menggunakan kuat tekan uniaxial	2
Sangat lemah	Lebih baik menggunakan kuat tekan uniaxial	1
Lemah sekali	Lebih baik menggunakan kuat tekan uniaxial	0

2.5.2 Rock Qualities Designation (RQD)



Gambar 3. Pembagian Inti Bor Untuk Perhitungan Rock Qualities

Selain cara diatas, Bieniawski (1989) memperkenalkan cara perhitungan nilai RQD berdasarkan data spasi diskontinuitas, sebagai berikut :

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

λ adalah rasio antara jumlah kekar dengan panjang scan-line (kekar/meter). Makin besar nilai RQD, maka

frekuensi retakannya kecil. Frekuensi retakannya makin banyak, nilai RQD makin kecil.

2.6 Metode Analisis Kestabilan Lereng

2.6.1 Metode Bishop yang Disederhanakan

Metode Bishop yang disederhanakan merupakan salah satu metode pada longsoran busur yang menggunakan prinsip irisan dalam menentukan faktor keamanan dari suatu massa material yang berpotensi longsor. Metode ini memenuhi kesetimbangan gaya pada arah vertikal dan kesetimbangan momen pada titik pusat lingkaran runtuh. Gaya geser antar irisan diabaikan.

2.6.2 Metode Janbu yang Disederhanakan

Metode Janbu adalah salah satu dari metode yang banyak digunakan untuk menganalisis kemantapan lereng yang memiliki permukaan bidang gelincir tidak berupa busur lingkaran lingkaran (non-sirkular). Metode ini menggunakan suatu faktor koreksi (f_0) untuk mengkoreksi bentuk bidang gelincir yang tidak berupa busur lingkaran.

3. Metode Penelitian

3.1 Desain Penelitian

3.1.1 Waktu Penelitian

Kegiatan observasi lapangan dilaksanakan pada tanggal 31 Agustus sampai 3 September 2020 dan kemudian akan dilanjutkan kegiatan pengambilan data yang dilakukan mulai tanggal 18 Desember 2020 sampai 18 Februari 2021.

3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian

3.2.1 Jenis Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian kuantitatif. Menurut A. Muri Yusuf (2005:50), "Penelitian tipe kuantitatif dapat digunakan apabila data yang dikumpulkan berupa data kuantitatif atau jenis data lain yang dapat dikuantitaskan dan diolah menggunakan teknik statistik". Selain itu juga, penelitian ini termasuk penelitian terapan karena ditujukan untuk memberikan solusi atas permasalahan di lereng BMK 35.

3.2.2 Sumber Data Penelitian

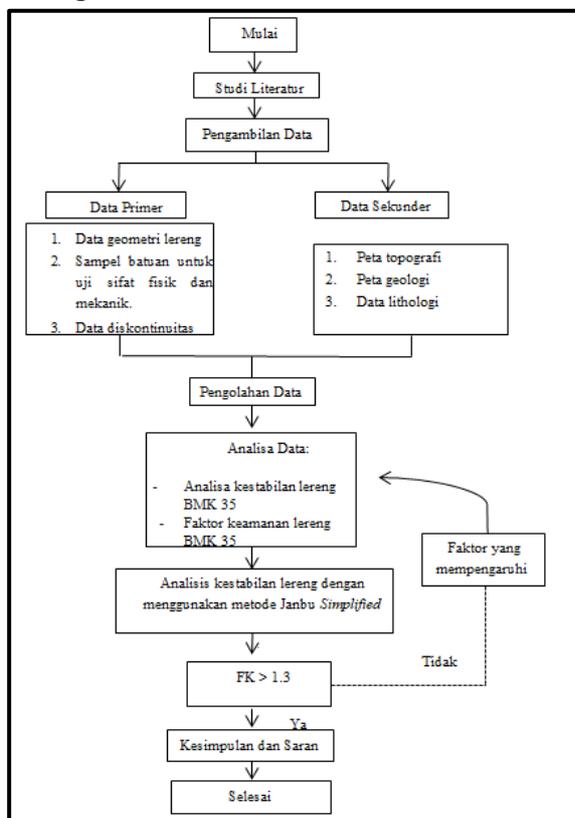
Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini dikelompokkan atas dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer pada penelitian ini merupakan data hasil observasi dan pengujian laboratorium, yaitu geometri lereng aktual, data hasil uji sifat fisik dan mekanik batuan, serta pengukuran kondisi diskontinuitas lereng di lapangan. Sedangkan data sekunder bersumber dari laporan penelitian terdahulu dari perusahaan, data instansi yang terkait dan juga dari literatur-literatur, seperti data litologi, peta topografi, peta geologi.

3.2.3 Teknik Analisis Data

Metode dalam analisa data yang berkaitan dengan penelitian ini antara lain:

1. Menentukan tipe longsoran pada daerah penelitian yang diolah dengan bantuan perangkat lunak (software) Stereonet dan Dips.
2. Uji sifat fisik batuan
3. Uji sifat mekanik batuan
4. Uji kuat geser langsung
5. Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu metode kesetimbangan batas menggunakan metode Janbu Simplified dan penyelesaian perhitungannya dibantu dengan menggunakan perangkat lunak (software).
6. Nilai faktor keamanan (FK) = 1.3 digunakan sebagai kriteria untuk menilai stabilitas model lereng yang dapat diterima. Jika $FK < 1.3$ maka model lereng dianggap belum cukup stabil.

3.3 Diagram Alir



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengambilan Sampel

Dalam melakukan perancangan suatu lereng tambang diperlukan pengetahuan mengenai karakteristik material penyusunnya salah satunya dengan cara melakukan pengujian di laboratorium terhadap contoh (sampel) batuan dari lapangan. Untuk memperoleh hasil data dari pengujian di laboratorium, penulis membawa sampel batuan dari lokasi penelitian yakni pada lereng sekitar lubang BMK 35 CV. Bara Mitra Kencana untuk dilakukan pengujian sifat fisik dan mekanik Batuan yang dilakukan di laboratorium tambang Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Negeri Padang. Adapun material yang penulis uji adalah batuan siltstone

dikarenakan batuan siltstone ini lebih mendominasi dari batuan lain yang terdapat pada lokasi penelitian. Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 5. Lokasi Pengambilan Sampel

4.2 Klasifikasi Massa Batuan

4.2.1 Kuat tekan (point load indeks)

Hasil dari perhitungan *point load indeks* merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam tabel Bieniawski. Hasil rata-rata uji *point load strength indeks* (lihat tabel 12) dari 3 sampel batuan *siltstone* yaitu bernilai 1,728 MPa dan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 39.775 MPa. Jika di input kedalam tabel 1 *Rock Mass Rating System* (Bieniaswski, 1989) diperoleh bobot sebesar 4.

4.2.2 RQD

RQD merupakan suatu penandaan atau penilaian kualitas batuan berdasarkan kerapatan kekar. Perhitungan RQD bisa didapat dari perhitungan langsung dari singkapan yang mengalami rekahan-rekahan

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

λ = jumlah kekar/panjang *scanline*

Tabel 3. Hasil Perhitungan Nilai RQD

No	Rata Rata Spasi/m	λ	RQD %
0-1m	0,228	4,386	92,7852
1m-2m	0,158	6,329	86,7204
2m-3m	0,194	5,155	90,5119
3m-4m	0,176	5,682	88,8513
4m-5m	0,170	5,882	88,2011
5m-6m	0,178	5,618	89,0563
6m-7m	0,175	5,714	88,7467
7m-8m	0,250	4,000	93,8487
8m-9m	0,163	6,154	87,3063
9m-10m	0,240	4,167	93,3965
Rata-Rata RQD			89,559

Dari hasil pengukuran kekar di lapangan dan pengolahan data RQD yang dilakukan jika di input kedalam tabel 1 pembobotan *Rock Mass Rating System* (Bieniawski, 1989), maka diperoleh hasil pembobotan RQD sebesar 17.

4.2.3 Spasi diskontinuitas

Tabel 4. Spasi Bidang Diskontinuitas

Jarak		Joint Frekuensi	Rata Rata Spasi m
Dari (m)	Ke (m)		
0	1	5	0,228
1	2	5	0,158
2	3	5	0,194
3	4	5	0,176
4	5	5	0,170
5	6	5	0,178
6	7	5	0,175
7	8	2	0,250
8	9	4	0,163
9	10	3	0,240
Rata-Rata spasi			0,193

Dari hasil pengukuran kekar di lapangan dan pengolahan data *spasi diskontinuitas* yang telah dilakukan maka diperoleh rata-rata antar kekar pada lereng sebesar 0,193 m atau 19,3 cm. Jika di input ke tabel 1 pembobotan *Rock Mass Rating System* (Bieniawski, 1989), maka diperoleh bobot sebesar 10 yang berarti sedang.

4.2.4 Kondisi diskontinuitas

4.2.4.1 Kekerasan

Dari hasil pengukuran kekar yang telah dilakukan diperoleh informasi bahwa tingkat kekerasan bidang diskontinuitas berada pada kelas halus sampai agak kasar, jika di input kedalam tabel 1 *Rock Mass Rating System* (Bieniawski, 1989) diberi bobot 3.

Tabel 5. Data Kondisi Bidang Diskontinu Kekerasan

Jarak		Joint Frekuensi Kekerasan
Dari (m)	Ke (m)	
0	1	sedikit kasar
1	2	sedikit kasar
2	3	sedikit kasar
3	4	sedikit kasar
4	5	sedikit kasar
5	6	sedikit kasar
6	7	sedikit kasar
7	8	sedikit kasar
8	9	sedikit kasar
9	10	sedikit kasar
Bobot		3

4.2.4.2 Kemenerusan

Jika di input kedalam tabel 1 pembobotan *Rock Mass Rating System* (Bieniawski, 1989) diberi bobot 6.

Tabel 6. Data Kondisi Bidang Diskontinu Kemenerusan

Jarak		Joint Frekuensi Panjang Diskontinuitas (m)	Ket
Dari (m)	Ke (m)		
0	1	0,626	< 1 m
1	2	0,486	< 1 m
2	3	0,452	< 1 m
3	4	0,482	< 1 m
4	5	0,566	< 1 m
5	6	0,508	< 1 m
6	7	0,503	< 1 m
7	8	0,680	< 1 m
8	9	0,595	< 1 m
9	10	0,557	< 1 m
Rata-Rata		0,545	< 1 m
Bobot		6	

4.2.4.3 Lebar Rongga

Dari hasil pengukuran kekar yang telah dilakukan diperoleh informasi bahwa pada lokasi penelitian memiliki lebar bukaan sedang dengan rata-rata 2,86 mm yang berkisar antara 1-5 mm, jika di input kedalam tabel

1 *Rock Mass Rating System* (Bieniawski, 1989) diberi bobot 1.

Tabel 7. Data Kondisi Bidang Diskontinu Lebar Rongga

Jarak		Joint Frekuensi Lebar Rongga (mm)
Dari (m)	Ke (m)	
0	1	2,8
1	2	2,8
2	3	2,4
3	4	3
4	5	2,8
5	6	2,8
6	7	3,5
7	8	2
8	9	3,5
9	10	3
Rata-Rata		2,86
Bobot		1

4.2.4.4 Tingkat Pelapukan

Jika di input kedalam tabel 1 *Rock Mass Rating System* (Bieniawski, 1989) diberi bobot 3.



Gambar 6. Kondisi Batuan pada Lereng saat Pengamatan

4.2.4.5 Material Pengisi

Jika di input kedalam tabel 1 *Rock Mass Rating System* (Bieniawski, 1989) diberi bobot 6.

Tabel 8. Kondisi Bidang Diskontinu

Jarak		Joint Frekuensi				
Dari (m)	Ke (m)	Panjang Diskontinuitas	Lebar Rongga (mm)	Kekerasan	Isian	Pelapukan
0	1	<1 m	2,8	Sedikit Kasar	None	Moderately weathered
1	2	<1 m	2,8	Sedikit Kasar	None	Moderately weathered
2	3	<1 m	2,4	Sedikit Kasar	None	Moderately weathered
3	4	<1 m	3	Sedikit Kasar	None	Moderately weathered
4	5	<1 m	2,8	Sedikit Kasar	None	Moderately weathered
5	6	<1 m	2,8	Sedikit Kasar	None	Moderately weathered
6	7	<1 m	3,5	Sedikit Kasar	None	Moderately weathered
7	8	<1 m	2	Sedikit Kasar	None	Moderately weathered
8	9	<1 m	3,5	Sedikit Kasar	None	Moderately weathered
9	10	<1 m	3	Sedikit Kasar	None	Moderately weathered
Bobot		6	1	3	6	3

4.2.5 Kondisi air tanah

Apabila hasil pengamatan ini di input ke tabel 1 *rock mass rating system* (Bieniawski, 1989) di dapat hasil pembobotan muka air tanah yaitu sebesar 10.

4.2.6 Orientasi diskontinuitas

Berdasarkan hasil pengelompokan *strike* dan *dips* pada *software dips 6.00* di dapat hasil arah persebarannya N83°E dengan nilai *dips* rata-rata 46°. Berdasarkan tabel 1 jurus dengan kemiringan 45°-90° diberi bobot 0. Berdasarkan hasil dari pembobotan *rock mass rating system* yang telah di lakukan maka didapat hasil dari pembobotan klasifikasi massa batuan seperti pada tabel 9 berikut:

Tabel 9. Klasifikasi Kelas Massa Batuan berdasarkan RMR-Sistem

Parameter Klasifikasi RMR Sistem			
No	Parameter	Rating	
1	Point Load Indeks	4	
2	RQD	17	
3	Spasi Diskontinuitas	10	
4	Kondisi Bidang Diskontinuitas	Kekerasan	3
		Kemenerusan	6
		Lebar Rongga	1
		Tingkat Pelapukan	3
		Material Pengisi	6
5	Muka Air Tanah	10	
6	Strike dan Dip Of Joint Set	0	
Total Rating		60	
Nomor Kelas Massa Batuan		III	

Berdasarkan hasil perhitungan klasifikasi massa batuan diatas maka diketahui nilai *rock mass rating* (RMR) di area kajian yakni sebesar 60. Berikut adalah arti dari nilai *rock mass rating* (RMR) tersebut:

Tabel 10. Nilai Kelas Batuan

KELAS PEMBOBOTAN MASSA/BATUAN					
Rating	100-80	80-61	60-41	40-21	<21
No Kelas	I	II	III	IV	V
Keterangan	Sangat Bagus	Bagus	Sedang	Buruk	Sangat Buruk

4.3 Analisis Data

4.3.1 Parameter Pengujian Laboratorium

4.3.1.1 Analisis Data Sifat Fisik Batuan

1 gr/cm³ = 9,8 kN/m³

4.3.1.1.1 Bobot isi asli (natural density)

$$\gamma = \frac{W_n}{W_w - W_s} = \frac{46,74}{49,05 - 28,62} = 2,288 \text{ gr/cm}^3$$

4.3.1.1.2 Bobot isi kering (dry density)

$$\gamma_{\text{dry}} = \frac{W_o}{W_w - W_s} = \frac{41,34}{49,05 - 28,62} = 2,023 \text{ gr/cm}^3$$

4.3.1.1.3 Bobot isi jenuh (saturated density)

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{W_w}{W_w - W_s} = \frac{49,05}{49,05 - 28,62} = 2,401 \text{ gr/cm}^3$$

Tabel 11. Hasil Uji Sifat Fisik

NO	Uji Sifat Fisik	Sampel			Rata-rata (gr/cm ³)	kN/m ³
		1 (gr/cm ³)	2 (gr/cm ³)	3 (gr/cm ³)		
1	Bobot Isi Asli	2,288	2,298	2,405	2,330	22,837
2	Bobot Isi Kering	2,023	1,995	2,155	2,058	20,169
3	Bobot Isi Jenuh	2,401	2,407	2,476	2,428	23,794

4.3.1.2 Analisis Uji Point Load

1 kg/cm² = 0,098 mpa

$$F = \left(\frac{D}{5}\right)0,45 = F = \left(\frac{2,8}{5}\right)0,45 = 0,77$$

$$I_s = F \frac{P}{D^2} = 0,77 \left(\frac{159,4}{2,8^2}\right) = 15,655 \text{ kg/cm}^2 = 1,534 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_c = 23I_s = 23 \times 15,665 \text{ kg/cm}^2 = 360,065 \text{ kg/cm}^2 = 35,286 \text{ Mpa}$$

Tabel 12. Hasil Perhitungan Uji Point Load

No	Parameter						
	D (cm)	F	P (Kg)	I _s (kg/cm ²)	I _s (Mpa)	σ _c (kg/cm ²)	σ _c (Mpa)
1	2,8	0,77	159,4	15,665	1,534	360,065	35,286
2	2,9	0,78	195	18,086	1,772	415,978	40,766
3	3	0,79	218,4	19,171	1,879	440,933	43,211
Average	2,9	0,78	190,33	17,637	1,728	405,659	39,755

4.3.1.3 Analisis Uji Kuat Geser Langsung (Direct Shear Strenght Test)

Tabel 13. Perhitungan Uji Kuat Geser Langsung

No	Tegangan Normal (σ _n)	Tegangan Geser (σ _p)	Xi Yi Puncak (Xi Yi) (Mpa)	Xi ²
	Xi (Mpa)	σ _p (Yi) (Mpa)		
1	0,261	0,339	0,088	0,068
2	0,398	0,345	0,138	0,159
3	0,521	0,599	0,313	0,272
Penjumlahan	1,180	1,284	0,538	0,498

Dari hasil perhitungan berdasarkan tabel 13 di atas, diperlukan kembali perhitungan untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (Ø) dalam bentuk nilai puncak (peak) yang akan dipergunakan untuk mendapatkan persamaan dalam bentuk grafik. Proses perhitungannya dapat dilihat sebagai berikut.

Tegangan Normal:

$$1. \quad 1 \text{ kN} = 1 \times 101,97 = 101,97 \text{ Kg}$$

$$\frac{\rho_n}{A} = \frac{101,97}{38,34} = 2,660 \text{ Kg/cm}^2 = 0,261 \text{ mpa}$$

Pada tegangan geser puncak (Tp) :

$$1. \quad a_i = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$a_i = \frac{3(0,538) - 1,180}{3(0,498) - 1,180^2}$$

$$a_i = 0,981 \text{ Mpa}$$

$$2. \quad a_o = \frac{\sum Y_i}{n} - a_i \left(\frac{\sum X_i}{n}\right)$$

$$a_o = \frac{1,281}{3} - 0,981 \left(\frac{1,180}{3}\right)$$

$$a_o = 0,042$$

Jadi, Y = a_o + a_ix

$$Y_1 = 0,042 + 0,981 x$$

$$Y_1 = 0,042 + 0,981 x_1$$

$$Y_1 = 0,042 + 0,981 (0,261)$$

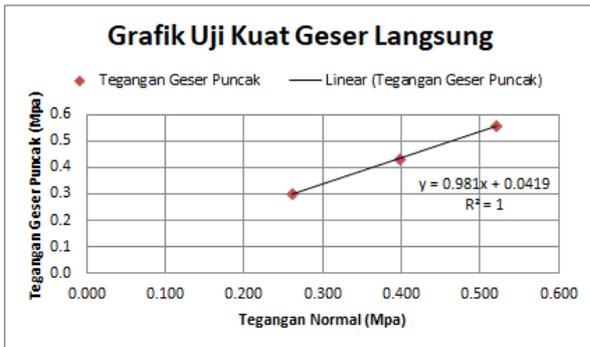
$$Y_1 = 0,298$$

Tabel 14. Nilai Tegangan Puncak

Tegangan Geser Puncak		
Y = a _i *x _i + a _o		
A _i	0,981	Mpa
A _o	0,042	Mpa
Y ₁	0,298	Mpa
Y ₂	0,433	Mpa
Y ₃	0,553	Mpa

Tabel 15. Hasil Uji Geser Langsung

No	Tegangan Normal (Mpa)	Tegangan Geser Puncak (Mpa)
1	0,261	0,298
2	0,398	0,433
3	0,521	0,553



Gambar 7. Grafik Uji Kuat Geser Langsung

Berdasarkan persamaan dari grafik hasil uji kuat geser $y = 0,981x + 0,0419$.

- Kohesi
 $c = 0,419$ MPa
 $c = 41,9$ kPa
- Sudut geser dalam
 $\tan \phi = 0,981$
 $\phi = \text{Arctan}(0,981)$
 $\phi = 44,45^\circ$

4.4 Pengolahan Data Kekar untuk Metode Stereografis Analisa Kinematik

Setelah data bidang diskontinuitas yang telah diambil dari hasil pengamatan dilapangan berupa *strike, dip, dip direction* serta kondisi bidang diskontinu menggunakan metode *scanline* maka selanjutnya adalah melakukan pengolahan data dengan menggunakan perangkat lunak *Stereonets Dips* untuk melihat orientasi penyebaran bidang diskontinuitas pada stereonets. Tujuan utama dari pengeplotan data diskontinuitas ini adalah untuk melihat arah umum dan orientasi mayor dan minornya. Dari pengamatan dan pengukuran bidang diskontinu terhadap scanline dengan point station dapat diketahui bahwa kedudukan lereng pengamatan adalah $N 83^\circ E/46^\circ$. Setelah seluruh data kekar diambil maka dilakukan proses pengelompokan data kekar dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *Stereonets* dan *Dips*. Untuk mendapatkan set diskontinuitas pada kekar.

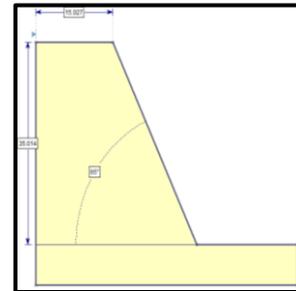
Tabel 16. Tipe Longsoran pada Daerah Penelitian

No	Tipe Longsoran	Persentase Longsoran (%)	Keterangan
1	Bidang	67,44	Akan terjadi apa bila terdapat titik pole di kawasan tersebut
2	Guling	0	Lereng tidak memiliki kemungkinan longsoran guling
3	Baji	61,27	Kemiringan lereng lebih besar dari kemiringan garis potong bidang dikontinuitas dan lebih kecil dari pada sudut geser dalam.

4.5 Analisis Kestabilan Lereng

4.5.1 Analisis Kestabilan Lereng Aktual

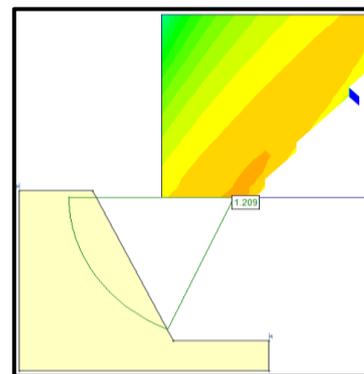
Berdasarkan proses pengambilan data lapangan diperoleh hasil dari geometri lereng aktual yaitu dengan ketinggian lereng 35 m dan kemiringan lereng 65° . Keadaan lereng secara 2 dimensi dapat dilihat pada gambar 8 berikut:



Gambar 8. Lereng Penelitian dalam 2 dimensi

4.5.1.1 Lereng keadaan natural

Keadaan faktor keamanan lereng aktual dapat dilihat pada gambar 9 berikut:

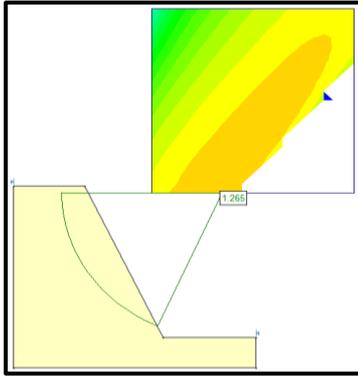


Gambar 9. Nilai FK Lereng Dalam Kondisi Natural

Berdasarkan pengambilan data pada Januari 2021 diketahui faktor keamanan (FK) lereng secara aktual tersebut menunjukkan lereng dalam keadaan tidak aman. Berdasarkan hasil analisis menggunakan Software slide 6.0 diperoleh nilai faktor keamanan lereng tunggal dalam kondisi aktual yaitu 1,209.

4.5.1.2 Lereng Keadaan Kering

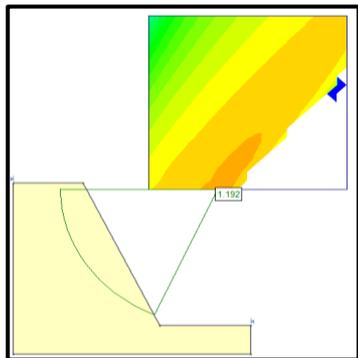
Faktor keamanan lereng pada saat keadaan kering bisa dilihat pada gambar 10 dibawah ini.



Gambar 10. Nilai FK Lereng dalam Kondisi Kering

4.5.1.3 Lereng Keadaan Jenuh

Faktor keamanan lereng pada saat keadaan jenuh bisa dilihat pada gambar 11 berikut.



Gambar 11. Nilai FK Lereng dalam Kondisi Jenuh

Melihat dari ketiga keadaan lereng ini, diperlukan adanya perbaikan pada geometri lereng agar faktor keamanan dari lereng bisa berada pada keadaan yang aman. Maka ketiga hasil Faktor Keamanan (FK) dari masing-masing kondisi lereng dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 17. FK Lereng Aktual

Lereng Aktual (65°)	
Keadaan	Nilai FK
Asli	1,209
Kering	1,265
Jenuh	1,192

4.5.2 Rekomendasi Lereng

4.5.2.1 Rekomendasi Lereng Menggunakan Single Slope

Berdasarkan modifikasi geometri lereng tambang yang dilakukan dalam keadaan jenuh berdasarkan hasil analisis software slide 6.0 dan menggunakan metode janbu *simplified* didapat hasil tinggi lereng 35 m dan kemiringan lereng menjadi 58° lalu diterapkan ke semua keadaan lereng, seperti lereng dalam keadaan asli, lereng dalam keadaan kering, dan lereng dalam keadaan jenuh. Alasan mengapa penulis mengambil kemiringan pada lereng menjadi 58°, karena FK yang paling mendekati aman ($FK \geq 1,3$) yaitu dengan kemiringan 58°, lalu perbandingan ini hanya diambil pada lereng jenuh,

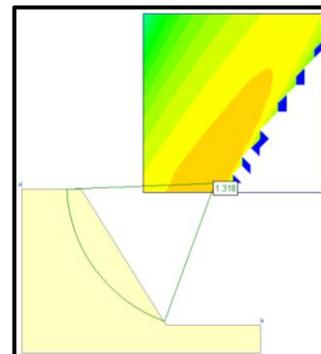
karena pada lereng jenuhlah FK terendah berada dibanding lereng pada kondisi asli, dan lereng pada kondisi aktual, perbandingannya dapat dilihat pada tabel 18 berdasarkan hasil analisis software slide 6.0

Tabel 18. Simulasi Rekomendasi Geometri Lereng dalam kondisi jenuh untuk Nilai FK > 1,3

Kohesi (KN/m ²)	Sudut Geser Dalam (°)	Kemiringan	FK
41,9	44,45	55°	1,374
		56°	1,351
		57°	1,316
		58°	1,300
		59°	1,292
		60°	1,259

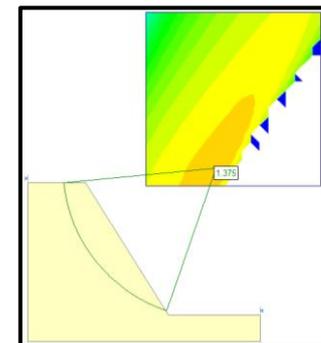
4.5.2.1.1 Lereng kondisi natural

Rekomendasi untuk lereng tunggal pada saat dalam kondisi asli untuk mendapatkan nilai FK aman dengan tinggi lereng tunggal 35 meter dan sudut sebesar 58° dapat dilihat pada gambar 12 berikut.



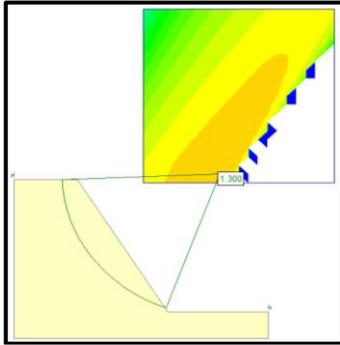
Gambar 12. Lereng Rekomendasi dalam Kondisi Natural

4.5.2.1.2 Lereng dalam kondisi kering



Gambar 13. Lereng Rekomendasi dalam Kondisi Kering

4.5.2.1.3 Lereng dalam kondisi jenuh



Gambar 14. Lereng Rekomendasi Dalam Kondisi Jenuh

4.5.2.2 Rekomendasi lereng menggunakan overall slope (2 single slope)

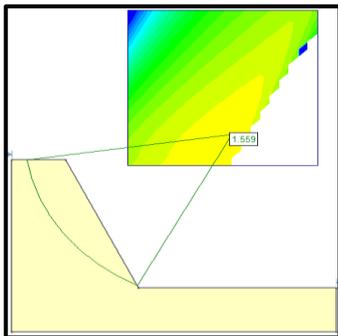
Sudut lereng yang aman untuk tinggi lereng tertentu dipengaruhi oleh karakteristik material penyusun lereng. Dengan mengambil data percobaan kemiringan rekomendasi lereng dapat dilihat pada tabel 19.

Tabel 19. Data Percobaan Kemiringan Rekomendasi Lereng

Kohesi (KN/m ²)	Sudut Geser Dalam (°)	Kemiringan	Tinggi Lereng (m)	Bench Width (m)	FK
41,9	44,45	65	17,5 + 17,5 = 35	6 + 6 = 12	1,384
		66	17,5 + 17,5 = 35	6 + 6 = 12	1,366
		67	17,5 + 17,5 = 35	6 + 6 = 12	1,355
		68	17,5 + 17,5 = 35	6 + 6 = 12	1,338

4.5.2.2.1 Lereng dalam kondisi natural

Rekomendasi untuk lereng keseluruhan dibagi menjadi 2 lereng tunggal dalam kondisi *natural*, untuk mendapatkan nilai FK aman dengan tinggi lereng tunggal 17,5 meter dan sudut sebesar 65° dapat dilihat pada gambar 15.

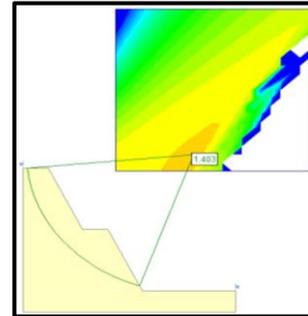


Gambar 15. Modifikasi FK Lereng Tunggal dalam Kondisi *Natural*

Rekomendasi geometri *overall slope* dibagi menjadi 2 lereng tunggal yang mana tinggi masing-masing lereng adalah 17, 5 meter dan sudutnya sebesar 65° dengan lebar jenjang minimum sebesar 6 meter. Apabila lereng belum stabil maka dilakukan perubahan sudut overall dengan memperbesar lebar jenjang. Untuk hasil rekomendasi lereng dalam kondisi *natural* terdapat pada Tabel 20 Dan hasil analisis desain geometri rekomendasi terdapat pada gambar 16.

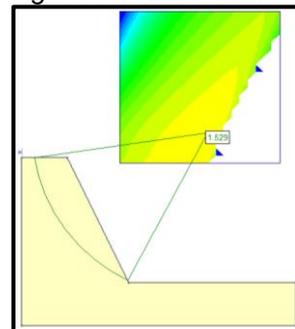
Tabel 20. Rekomendasi Geometri Lereng dalam Kondisi *Natural*

Rekomendasi Geometri Overall Slope (<i>Natural</i>)	
Tinggi Lereng (m)	17,5 x 2 = 35
Bench Width (m)	6 x 2 = 12
Single Slope (°)	65°
Overall Slope (°)	51°
FK Single Slope 17,5 m (°)	1,559
FK Overall Slope (°)	1,403

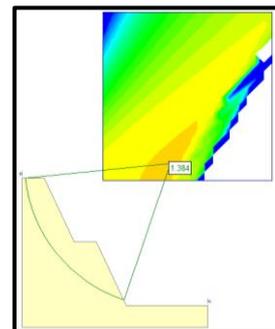


Gambar 16, Rekomendasi Geometri Lereng Keseluruhan dalam Kondisi *Natural*

4.5.2.2.2 Lereng dalam Kondisi Jenuh

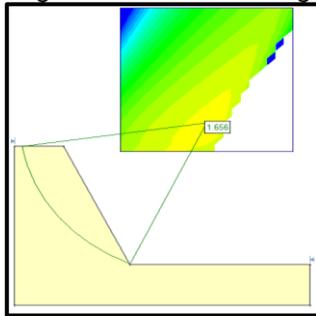


Gambar 17. Modifikasi FK Lereng Tunggal dalam Kondisi Jenuh

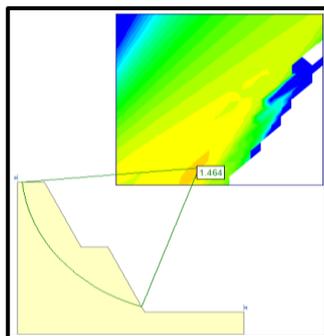


Gambar 18. Modifikasi FK Lereng Keseluruhan dalam Kondisi Jenuh

4.5.2.2.3 Lereng dalam Kondisi Kering



Gambar 19. Modifikasi FK Lereng Tunggal dalam Kondisi Kering



Gambar 20. Modifikasi FK Lereng Keseluruhan dalam Kondisi Kering

Tabel 21. Rangkuman Rekomendasi Lereng

Kondisi lereng	Analisis Slope	Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Lebar Bench (m)	Faktor Keamanan
Natural	Single Slope	35	53	15	1,318
	Overall	35	48	6 x 2 = 12	1,403
	2 Single Slope	17,5	65	6	1,559
Jenuh	Single Slope	35	53	15	1,300
	Overall	35	48	6 x 2 = 12	1,384
	2 Single Slope	17,5	65	7,5	1,529
Kering	Single Slope	35	53	15	1,375
	Overall	35	48	6 x 2 = 12	1,464
	2 Single Slope	17,5	65	6	1,656

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Arah dan Tipe Longsoran

Berdasarkan hasil dari pengolahan orientasi bidang diskontinu menggunakan analisis stereografis arah dan tipe longsoran adalah N 83° E/46° dan longsoran bidang.

- Berdasarkan 6 parameter klasifikasi massa batuan dengan metode RMR, maka didapatkan nilai pembobotan 60 dan batuan ini digolongkan pada kelas III dengan kualitas batuan dalam golongan sedang.
- Hasil pengujian sifat fisik dan mekanik batuan.

a. Pengujian Sifat Fisik

- Nilai rata-rata bobot isi asli dari material siltstone yaitu, 22,84 KN/m³
- Nilai rata-rata bobot isi kering dari material siltstone yaitu, 20,17 KN/m³
- Nilai rata-rata bobot isi jenuh dari material siltstone yaitu, 23,79 KN/m³

b. Pengujian Sifat Mekanik

1) Pengujian point load index

Nilai rata-rata hasil pengujian *point load index* (σ_c) adalah 39,755 Mpa dan *index strength* sebesar 1,728 mpa.

2) Hasil nilai pengujian kuat geser batuan

Nilai rata-rata hasil pengujian kuat geser batuan yaitu kohesi (c) 0.0419 Mpa dan sudut geser dalam (ϕ) 44,45°

- Berdasarkan analisis menggunakan *software slide* 6.0, didapatkan nilai dari faktor keamanan lereng dalam kondisi jenuh sebesar 1,192, kondisi *natural* sebesar 1,209 dan kondisi kering sebesar 1,265 maka, dapat disimpulkan bahwa kondisi lereng area penelitian adalah tidak aman atau labil.

5. Rekomendasi Geometri Lereng.

Untuk memperbaiki faktor keamanan lereng, penulis memberikan rekomendasi geometri pada lereng BMK 35 sebagai berikut:

- Rekomendasi lereng dengan menggunakan metode janbu *simplified* dengan ketinggian 35 m kemiringan lereng 65°, berubah menjadi ketinggian 35 m dengan kemiringan 58° yang diterapkan untuk seluruh kondisi lereng, maka di peroleh nilai FK 1,318 untuk keadaan *natural*, diperoleh nilai FK 1,375 untuk keadaan kering, dan diperoleh nilai FK 1,300 untuk keadaan jenuh.

b. Rekomendasi lereng untuk *overall slope*

Rekomendasi untuk *overall slope* terdiri dari 2 *single slope* dimana masing-masing memiliki ketinggian 17,5 meter sehingga tinggi lereng keseluruhan adalah 35 meter. Kemiringan untuk masing-masing *slope* adalah 65° dan 51° untuk *overall slope*. Dalam kondisi *natural*, lereng tunggal dengan tinggi 17,5 mendapatkan faktor keamanan sebesar 1,559, sedangkan faktor keamanan untuk *overall slope* sebesar 1,403. Dalam kondisi jenuh, lereng tunggal dengan ketinggian 17,5 meter mendapatkan faktor keamanan sebesar 1,529, sedangkan faktor keamanan untuk *overall slope* sebesar 1,384. Dalam kondisi kering, lereng tunggal mendapatkan faktor keamanan sebesar 1,656, sedangkan faktor keamanan untuk *overall slope* sebesar 1,464.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Arif, Irwandi. 2013. *Geoteknik Tambang: Mewujudkan Produksi Tambang yang Kontinu dengan Menjaga Kestabilan Lereng*. Bandung: ITB
- Arrozi, Muh. Fachrudin., dkk. 2015. *Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Pengaruh Hujan Bulanan Maksimum di DAS Tirtomoyo Wonogiri Menggunakan Metode Bishop Disederhanakan*. E-Journal MATRIKS Teknik Sipil **546**.
- Audah., dkk. *Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Slope Mass Rating Dan Metode Stereografis Pada*

Pit Berenai Pt. Dwinad Nusa Sejahtera (Sumatera Copper And Gold) Kabupaten Musi Rawas Utara Provinsi Sumatera Selatan. E Journal Unsri, JP Vol.1 No.5.

- [4] Bria, Kornelis & Isjudarto, Ag. 2017. *Analisis Kestabilan Lereng pada Tambang Batubara Terbuka Pit D Selatan Pt. Artha Niaga Cakrabuana Job Site Cv. Prima Mandiri Desa Dondang Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. Journal itny.*
- [5] Haryanto, Lucky., Susanto Basuki. 2006. *Analisis Kestabilan Lereng Timbunan Overburden Studi Kasus Desa Kampung Baru Kecamatan Cempaka Banjarbaru. Jurnal INFOTEKNIK Vol. 7 No. 1.*
- [6] Metriani, Riri., dkk. 2019. *Analisis Balik Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Bishop yang disederhanakan Pada Front II Existing Tambang Quarry PT. Semen Padang, Sumatera Barat. Jurnal Bina Tambang Vol. 4, No. 4*
- [7] Noor, Djauhari., Solihin. 2017. *Kajian Geoteknik Kestabilan Lereng di Daerah Quarry Hambalang Kecamatan Citeureup Kabupaten Bogor Jawa Barat. Jurnal Teknologi Vol. 1, Edisi 29. Hlm. 34-42.*
- [8] Pane, Riski Adelina & Anaperta, Yoszi M. 2019. *Karakterisasi Massa Batuan dan Analisis Kestabilan Lereng Untuk Evaluasi Geometri Lereng di Pit Barat Tambang Terbuka PT. AICJ (Allied Indo Coal Jaya) Kota Sawahlunto Provinsi Sumatera Barat. Jurnal Bina Tambang, Vol. 4, No. 3*
- [9] Rajagukguk, Octovian Cherianto Parluhutan., dkk. 2014. *Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop. Jurnal Sipil Statik Vol. 2 No. 3. Hlm. 139- 147.*
- [10] Syafar, Zainul., dkk. 2016. *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop Pada Penambangan Nikel. Jurnal Geomine, Vol 4, No. 3*
- [11] Yulikasari, Andriyan., dkk. 2017. *Analisis Stabilitas Lereng Tanah di Daerah Olak Alen Blitar. Jurnal Teknik ITS Vol. 6 No. 2*