

Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode *Janbu Simplified* Pada Blok Bukit Jaya Pt. Cahaya Bumi Perdana Kota Sawahlunto Provinsi Sumatera Barat

Muhammad Ichsan Busra^{1, *}, Yoszi Mingsi Anaperta²

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

* ichsanbusra16@gmail.com

Abstract. At PT. Cahaya Bumi Perdana, there is a slope with a height of about ± 30 m with a slope of 710 on the slope there are two types of slope-forming material that are in 1 bench, namely soil and rock material that is likely to occur landslides, with the slope conditions potentially endangering workers and hindering production. Based on the data from the physical and mechanical properties of sandstone rock, the original bulk density value was 8.024 KN / m³, the saturated weight value was 16.016 KN / m³, the dry weight value was 5.005 KN / m³, cohesion (c) = 0.0059 Mpa and the inner angle of shear. (ϕ) = 63,808 °. The analysis of the value of the safety factor (FK) and the recommendation of the actual slope geometry used the Janbu simplified method with a height of 33m and a slope of 65° so that the FK obtained was 1.427. For geometric recommendations for slopes in a saturated state using the Janbu simplified method with a height of 33m and a slope of 65°, the FK obtained is 1.317. From the value of the safety factor (FK) the recommendations obtained can be concluded that the slopes are stable.

Keyword: Physical and Mechanical Properties of Rocks, Slope Geometry, Janbu Simplified, Safety Factors

1 Pendahuluan

PT. Cahaya Bumi Perdana merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dibidang usaha pertambangan batubara di Kota Sawahlunto. Kegiatan penambangan yang diterapkan adalah sistem tambang terbuka dengan metode *back filling* dan sistem tambang bawah tanah dengan metode *room and pillar*.

Dalam keadaan tidak terganggu (alamiah), tanah atau batuan umumnya berada dalam keadaan stabil atau seimbang. Perubahan kestabilan lereng dapat terjadi akibat pengangkatan, penurunan, penggalian, penimbunan, erosi, atau aktivitas lain di sekitar lereng tersebut. Untuk mengatasi perubahan itu, lereng akan berusaha untuk mencapai kondisi stabil yang baru secara alamiah. Cara ini biasanya berupa proses degradasi atau pengurangan beban, terutama dalam longsoran-longsoran atau gerakan-gerakan lain sampai tercapai keadaan kesetimbangan yang baru^[1].

Pada wilayah IUP PT. Cahaya Bumi Perdana masih minimnya pengkajian geoteknik mengenai kestabilan lereng secara berkala. Jika tidak dilakukan analisis kestabilan lereng serta penanganan yang maksimal terhadap lereng tersebut, dapat menyebabkan kerugian nantinya seperti kegiatan penambangan yang terganggu, bahkan bisa menyebabkan kerugian korban jiwa.

Kestabilan lereng banyak ditentukan oleh tingkat pelapukan dan struktur geologi yang ada pada massa batuan tersebut, seperti sesar, kekar, lipatan, dan bidang perlapisan^[2]. Struktur-struktur tersebut selain lipatan juga disebut bidang lemah. Disamping geologi struktur, kandungan air dan karakteristik sifat fisik mekanik juga dapat mempengaruhi kestabilan lereng. Lereng yang tidak stabil sangatlah berbahaya terhadap lingkungan sekitarnya, oleh sebab itu analisis kestabilan lereng sangat diperlukan. Ukuran kestabilan lereng dapat diketahui dengan menghitung nilai faktor keamanan.

2 Tinjauan Pustaka

2.1 Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami maupun buatan manusia. Lereng yang terbentuk secara alami misalnya: lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain: galian dan timbunan, tanggul dan dinding tambang terbuka^[3].

Dilihat dari material penyusunnya, terdapat dua macam lereng, yaitu lereng tanah dan lereng batuan, walaupun kenyataan yang dijumpai pada lereng tambang selalu merupakan gabungan dari material tanah dan batuan. Dalam analisis dan penentuan jenis tindakan pengamanannya, lereng tanah tidak dapat disamakan dengan lereng batuan karena parameter material dan jenis penyebab longsor kedua material pembentuk lereng tersebut sangat jauh berbeda.

2.2 RMR (*Rock Mass Rating*)

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^[4].

- Kuat tekan *point load index* (PLI)
- *Rock Qualities Designation* (RQD)
- Spasi diskontinuitas
- Kondisi diskontinuitas
- Kondisi air tanah
- Orientasi diskontinuitas

2.3 Kestabilan Lereng

Kestabilan dari suatu lereng dikontrol oleh kondisi geologi daerah setempat, bentuk keseluruhan lereng pada daerah tersebut, kondisi air tanah setempat, dan juga oleh teknik pembongkaran material yang digunakan dalam pembuatan lereng. Faktor pengontrol ini jelas sangat berbeda untuk situasi penambangan yang berbeda dan sangat

penting untuk memberikan aturan yang umum untuk menentukan seberapa tinggi atau seberapa landai suatu lereng untuk memastikan lereng itu stabil. Untuk menyatakan/memberikan bobot (tingkat) kestabilan suatu lereng, dikenal istilah faktor keamanan (*safety factor*). Faktor keamanan diperlukan untuk mengetahui kemantapan suatu lereng dalam mencegah bahaya longsor di waktu-waktu yang akan datang. Faktor ini merupakan perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng tetap stabil, dengan gaya penggerak yang menyebabkan terjadinya longsor. Secara matematis faktor kestabilan lereng dinyatakan sebagai berikut :

$$F = \frac{\sum \text{Gaya Penahan}}{\sum \text{Gaya Penggerak}} \quad (1)$$

Terdapat tiga kelompok rentang faktor keamanan (*safety factor*) ditinjau dari intensitas kelongsorannya dengan ketentuan :

- FK $\geq 1,3$: lereng dalam keadaan stabil.
- $1 < \text{FK} < 1,3$: lereng dalam keadaan kritis (akan longsor).
- FK ≥ 1 : lereng dalam keadaan tidak stabil.

2.4 Klasifikasi Longsor

Berdasarkan kedudukan bidang lemah pada batuan, longsor yang sering terjadi adalah longsor busur (*circular failure*) yaitu longsor yang berbentuk busur biasanya terbentuk pada material dengan heterogenitas kompleks sering terjadi longsor bidang (*plane failure*), longsor baji (*wedge failure*) dan juga longsor guling (*toppling*).

2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Faktor – faktor yang perlu diperhatikan dalam menganalisis kemantapan kestabilan lereng adalah ^[5]:

- Faktor-faktor Pembentuk Gaya Penahan
- Faktor-Faktor Pembentuk Gaya Penggerak
- Faktor-faktor yang Mempengaruhi Gaya Penahan
- Faktor-faktor yang Mempengaruhi Gaya Penggerak

2.6 Metode Keseimbangan Batas

Metode keseimbangan batas merupakan metode

yang cukup populer dan praktis dalam analisis kestabilan, dengan kondisi kestabilan dinyatakan dalam indeks faktor keamanan, yaitu dengan menghitung kesetimbangan gaya atau kesetimbangan momen, atau keduanya tergantung dari metode perhitungan yang dipakai. Dalam perhitungan analisis kestabilan lereng dengan metode ini menggunakan kondisi statik yang mengabaikan adanya hubungan tegangan-regangan pada material lereng dan bidang gelincir yang secara kinematik dipandang memungkinkan bertindak sebagai bidang kelongsoran, akan mengikuti suatu bentuk geometri tertentu. Untuk lereng batuan yang lemah umumnya longsoran terjadi karena kekuatan massa batuan tidak mampu untuk menahan gaya geser yang bekerja. Pada kasus ini, biasanya bidang runtuh berupa sebuah busur lingkaran atau berupa bidang lengkung.

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 (non-sirkular). Metode ini menggunakan suatu faktor koreksi (f_0) untuk mengkoreksi bentuk bidang gelincir yang tidak berupa busur lingkaran. Untuk menghitung nilai faktor keamanan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut ^[6] :

$$FK = \frac{f_0 \cdot \sum X / (1 + \frac{Y}{FS})}{\sum Z + Q} \quad (2)$$

2.7 Metode Scan Line

Para geologiawan pada umumnya melakukan pengukuran rekahan dengan metode *scanline*. Metode *scanline* adalah sebuah garis pada permukaan batuan yang digunakan untuk mengukur semua rekahan yang berpotongan dengan garis tersebut^[7]. Rekahan memiliki beberapa unsur, yaitu jenis, kedudukan, panjang, jarak atau spasi antar rekahan, bukaan, dan morfologi rekahan^[8].

Dengan menggunakan metode *scanline*, rekahan dalam ukuran milimeter dapat terekam, karena datanya diperoleh secara langsung di lapangan. Namun, pengambilan data secara langsung di lapangan memiliki keterbatasan, salah satunya adalah akuisisi datanya terbatas, dan hanya dapat memperoleh singkapan yang dapat dijangkau oleh manusia.

2.8 Dasar Hukum Geoteknik Tambang

Dasar hukum dalam kestabilan lereng berpedoman terhadap Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018 dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang^[9]

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (Consequences of Failure/ CoF)	Kriteria dapat diterima (Acceptance Criteria)		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (Min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor (Probability of Failure) (maks) PoF (FK \leq 1)
Lereng tunggal	Rendah s.d. Tinggi	1,1	Tidak ada	25-50%
Inter-ramp	Rendah	1,15-1,2	1,0	25%
	Menengah	1,2-1,3	1,0	20%
	Tinggi	1,2-1,3	1,1	10%
Lereng Keseluruhan	Rendah	1,2-1,3	1,0	15-20%
	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3-1,5	1,1	5%

3 Metodologi Penelitian

3.1 Jenis Penelitian

Dalam Dalam penelitian ini menggunakan jenis penelitian kuantitatif. Hal ini dikarenakan dalam penelitian nantinya, akan menggunakan data-data berupa angka-angka. Penelitian kuantitatif adalah proses menemukan pengetahuan yang menggunakan data berupa angka sebagai alat menganalisis keterangan mengenai apa yang ingin diketahui^[10].

Dalam pelaksanaan penelitian ini menggunakan data sekunder dan data primer yang kemudian dikembangkan sesuai dengan tujuan penelitian. Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung oleh pihak yang diperlukan datanya, data sekunder adalah data yang tidak diperoleh langsung dari pihak yang diperlukan datanya^[10].

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dari lapangan berupa data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang didapat langsung di lapangan seperti : *strike and dip* kekar, spasi, kondisi kekar dilapangan, data geomteri lereng aktual, sampel batu untuk uji sifat fisik dan mekanik, data hasil pengujian sifat fisik dan mekanik batuan, dan data pengukuran bidang lemah batuan. Sedangkan data

sekunder diperoleh dari studi literatur maupun dari perusahaan.

3.3 Pengolahan Data

3.3.1 Pembuatan Lereng

Pembuatan model lereng dibuat dalam dua dimensi yang diolah dengan bantuan perangkat lunak (*software*). Dalam pembuatan model perlapisan material penyusun lereng diasumsikan sama atau sejenis.

3.3.2 Uji Laboratorium

Pengujian laboratorium dilakukan untuk mendapatkan data sifat fisik dan mekanik batuan. Data yang didapatkan dari pengujian sifat fisik adalah bobot isi asli (*natural density*), bobot isi kering (*dry density*), bobot isi jenuh (*saturated density*), kadar air asli (*natural water content*), *Saturated water content (absorption)*, derajat kejenuhan (*degree of saturation*), porositas (*n*), serta *Void ratio (e)*.

Sedangkan data yang didapatkan dari pengujian sifat mekanik batuan yaitu kuat tekan, kuat Tarik, kuat geser, *modulus elastisitas*, dan *nisbah poisson*. Untuk penentuan sifat mekanik di laboratorium biasanya dilakukan dengan uji kuat tekan *point load index* dan uji kuat geser langsung.

3.4 Analisis Hasil Pengolahan Data

Analisis pada area pada area jalan utama menuju penambangan menggunakan konsep pendekatan analisis kemandapan lereng bukaan tambang. Pemodelan dan analisis untuk mendapatkan faktor stabilitas lereng ($SF=1.30$).

Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan metode *Janbu Simplified* dan penyelesaian perhitungannya dibantu dengan menggunakan perangkat lunak (*software*). 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.

Untuk analisa data sifat mekanik tanah dan batuan menggunakan kriteria kekuatan Mohr-Coulomb, dimana data yang diperlukan berupa berat jenis (*unit weight*), kohesi (*cohesion*) dan sudut geser dalam (*internal friction angle*).

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Penelitian

4.1.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di area Blok Bukit Jaya PT. Cahaya Bumi Perdana dilakukan pada titik koordinat seperti pada Tabel 2, yang merupakan titik lokasi penelitian, sedangkan lokasi penelitian terlihat pada Gambar 1.

Tabel 2. Koordinat Lokasi Penelitian

No	Titik	Koordinat	
		S	E
1	A	00° 37' 00.7''	100° 46' 33.3''

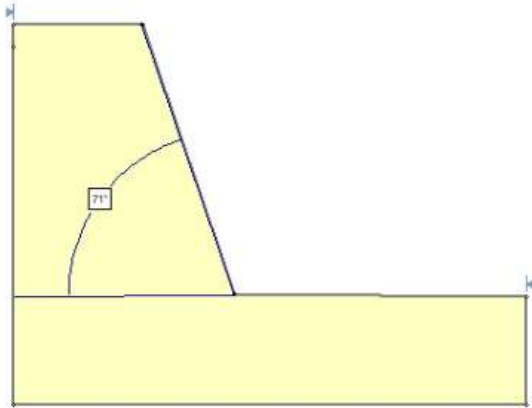


Gambar 1. Lokasi Penelitian^[11]

Dilihat dari geologi regional yang diberikan persahaan dan berdasarkan hasil *measuring stratigrafi* yang telah dilakukan oleh penulis, yang menjadi material utama penyusun lapisan tersebut adalah batu pasir (*sandstone*).

4.1.2 Kondisi Lereng

Penelitian dilakukan pada area Blok Bukit Jaya PT. Cahaya Bumi Perdana yang terletak pada elevasi 344 mdpl sampai elevasi 311 mdpl. Secara umum lapisan penyusun lereng relative mengikuti kemiringan batu bara dengan nilai *strike* dan *dip* rata-rata adalah $N 139^\circ E/71^\circ$.



Gambar 2. Kondisi Lereng Lokasi Penelitian^[12]

4.2 Klasifikasi Massa Batuan

Klasifikasi massa batuan yang digunakan pada penelitian ini adalah klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR). Dalam penerapannya klasifikasi ini membutuhkan beberapa parameter yang telah diketahui berapa jumlah bobot yang dijumlahkan sehingga total bobot tersebut dapat menentukan kelas massa batuan berdasarkan teori Bieniawski^[4]. Parameter *rock mass rating* yang digunakan sebagai parameter berdasarkan tabel Bieniawski (1989) adalah:

4.2.1 Kuat tekan (*point load indeks*)

Hasil rata-rata uji *point load indeks* dari 3 sampel batuan *sandstone* yaitu bernilai 1.5 MPa dan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 32.36 MPa. Hal ini sejalan dengan teoritis yang menyatakan bahwa nilai *point load indeks* untuk jenis batu sedimen *sandstone* berkisar antara 1-8 Mpa dan *uniaxial compressive strength* berkisar antara 20 – 170 Mpa.

Jika di input kedalam tabel *Rock Mass Rating System* diperoleh bobot sebesar 4^[4].

4.2.2 RQD

Dari hasil pengukuran kekar di lapangan dan pengolahan data RQD yang dilakukan didapatkan rata-rata nilai RQD sebesar 85.0164%, jika di input kedalam tabel *Rock Mass Rating System* (Bieniawski, 1989), maka diperoleh hasil pembobotan RQD sebesar bobot 15.67^[4].

4.2.3 Spasi discontinuitas

Dari hasil pengukuran kekar di lapangan dan pengolahan data *spasi diskontinuitas* yang telah dilakukan maka diperoleh rata-rata antar kekar pada lereng sebesar 0.148 m atau 14.8 cm. Jika di

input ke tabel *Rock Mass Rating System*, maka diperoleh bobot sebesar 6.89^[4].

4.2.4 Kondisi discontinuitas

Berdasarkan hasil pengukuran kekar dilapangan didapatkan bahwa tingkat kekerasan bidang diskontinuitas berada pada kelas agak kasar, jika di input kedalam tabel *Rock Mass Rating System* diberi bobot 3, pada lokasi penelitian memiliki panjang rata-rata 0.455 m, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa rata-rata kemenerusan < 1 m diberi bobot 6. Lebar bukaan sedang dengan rata-rata 0.704 mm yang berkisar antara 0,1-1 mm diberi bobot 4^[4].

Berdasarkan data yang diperoleh pada lokasi penelitian, pelapukan batuan tergolong cukup lapuk (*moderately weather*), jika di input kedalam tabel *Rock Mass Rating System* diberi bobot 3. Untuk isian (*gouge*) saat pengujian dilapangan tidak terdapat pengisi pada rongga, diberi bobot 6^[4].

4.2.5 Kondisi Air Tanah

Pada penelitian ini dilakukan pengamatan pada lereng tambang dengan cara visual. Berdasarkan pengamatan secara visual di area penelitian didapat hasil kondisi air tanah pada lereng digolongkan kepada kondisi lembab. Apabila hasil pengamatan ini di input ke tabel *rock mass rating system* di dapat hasil pembobotan muka air tanah yaitu sebesar 10^[4].

4.2.6 Orientasi discontinuitas

Berdasarkan hasil pengelompokan *strike* dan *dips* berdasarkan *software dips 6.00* di dapat hasil arah persebarannya N139°E dengan nilai *dips* rata-rata 68°. Berdasarkan tabel 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 3 berikut:

Tabel 3. Hasil Pembobotan Parameter RMR^[4]

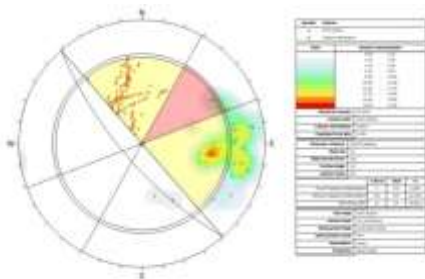
Parameter Klasifikasi RMR Sistem		
No	Parameter	Rating
1	<i>Point Load Indeks</i>	4
2	RQD	15.67
3	<i>Spasi Diskontinuitas</i>	6.89

4	Kondisi Bidang Diskontinuitas	Kekerasan	3
		Kemenerusan	6
		Lebar Rongga	4
		Tingkat Pelapukan	3
		Material Pengisi	6
5	Muka Air Tanah	10	
6	strike dan Dip Of Joint Set	0	
Total Rating		58.56	
Nomor Kelas Massa Batuan		III	

4.3 Analisis Potensi Longsoran pada Daerah Penelitian

Pengamatan lereng dilokasi penelitian menggunakan *scanline point station* sehingga mendapat model dan arah longsoran pada bidang *scanline point station* tersebut.

Dari pengamatan dan pengukuran bidang diskontinu terhadap *scanline* dengan *point station* dapat diketahui bahwa kedudukan lereng pengamatan adalah N 139°E/71°. 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, berikut ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Plot Diskontinuitas Scanline^[13]

Berdasarkan hasil plot bidang diskontinuitas berdasarkan *software dips* maka didapat pula potensi longsoran yang akan terjadi pada daerah penelitian yaitu berupa longsoran guling (*Toppling Failure*).

4.4 Pemodelan Lereng

4.4.1 Parameter Pengujian Laboratorium Geoteknik

4.4.1.1 Pengujian Sifat Fisik Batuan

Bobot isi merupakan salah satu parameter dari hasil uji sifat fisik yang penting dalam analisis kestabilan lereng. Nilai bobot isi dapat dibagi atas nilai bobot isi asli, bobot isi kering (*dry density*) dan bobot isi jenuh (*saturated density*). Hasil pengujian bobot isi ditunjukkan oleh Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Uji Sifat Fisik Batuan

No	Uji Sifat Fisik	Kode Sampel		
		1	2	3
1	Bobot Isi Asli (gr/cm ³)	0.821	0.822	0.813
2	Bobot Isi Kering (gr/cm ³)	0.512	0.510	0.510
3	Bobot Isi Jenuh (gr/cm ³)	1.639	1.630	1.634

4.4.1.2 Pengujian Sifat Mekanik Batuan

• Pengujian *Point Load Test*

Pengujian *point load test* dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat tekan (σ_c) dari material. Berdasarkan hasil rata-rata uji *point load* dari 3 sampel batuan *sandstone* didapatkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 32.367 MPa.

• Pengujian Kuat Geser Batuan

Pengujian kuat geser langsung ditujukan untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) dalam bentuk nilai puncak (*peak*) dan residual. Dalam penelitian ini penulis melakukan pengujian kuat geser batuan sebanyak 3 buah sampel. Hasil uji kuat geser langsung dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil Uji Kuat Geser

Tegangan Geser	Kohesi (Mpa)	Sudut Geser Dalam (°)
Puncak	0.0059	63.808

4.4.2 Properties Material

Properties material meliputi bobot isi asli, bobot isi jenuh, kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ). Nilai yang dipakai sebagai data awal properties material adalah nilai rata-rata yang didapatkan dari hasil pengujian laboratorium. Untuk parameter kohesi dan sudut geser dalam digunakan nilai puncak dari

hasil pengujian. Hasil Properties Material dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

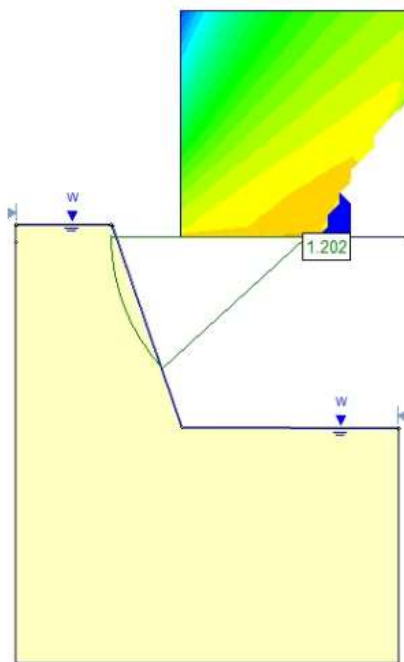
Tabel 6. Data Properties Material^[14]

Lhitology	Bobot Isi Asli (KN/m ³)	Bobot Isi Jenuh (KN/m ³)	Cohesion (Mpa)	Friction Angle (°)
Sandstone	10.878	11.401	0.0059	63.808

4.5 Analisis Kestabilan Lereng

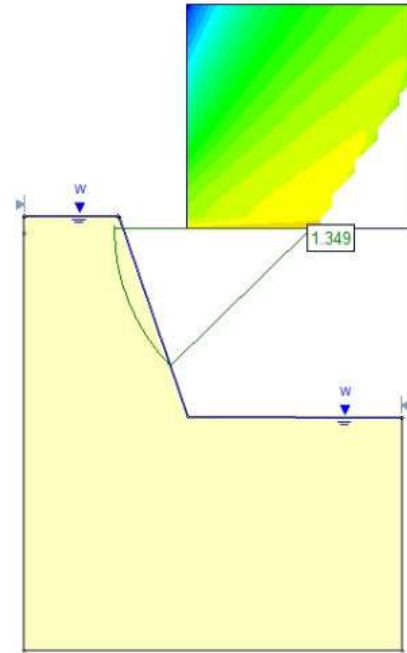
Analisis kestabilan lereng merupakan suatu perhitungan untuk menentukan faktor keamanan dari bidang longsor yang potensial yaitu dengan cara menghitung besarnya pengaruh pergeseran pada batuan. Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan metode kesetimbangan batas yaitu metode *Janbu Simplified* dimana penggambaran disajikan dalam bentuk tabel atau grafik. Serta penyelesaian perhitungan dibantu dengan menggunakan perangkat lunak (*software Roscience Slide*).

Berdasarkan proses pengambilan data lapangan diperoleh hasil dari geometri lereng aktual yaitu dengan ketinggian lereng 33 m dan kemiringan lereng 71°, 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 1.202.



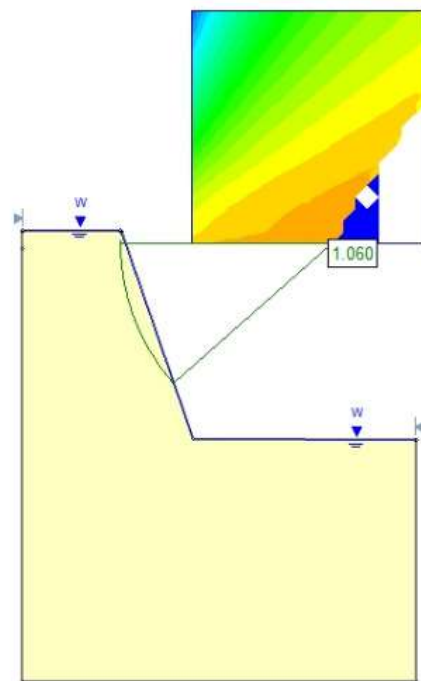
Gambar 4. Faktor Keamanan Lereng Aktual^[12]

Sedangkan keadaan faktor keamanan lereng pada saat keadaan kering diperoleh nilai faktor keamanan lereng tunggal dalam kondisi kering yaitu 1.349.



Gambar 5. Faktor Keamanan Lereng Aktual Keadaan Kering^[12]

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *Software slide 6.0* diperoleh nilai faktor keamanan lereng tunggal dalam kondisi jenuh yaitu 1.060.



Gambar 6. Faktor Keamanan Lereng Jenuh^[12]

Melihat dari ketiga keadaan lereng ini, diperlukan adanya perbaikan pada geometri lereng agar faktor keamanan dari lereng bisa berada pada keadaan yang aman.

Analisis kestabilan lereng pada area penelitian diperlukan agar keadaan dari lereng tersebut menjadi aman. Maka dilakukanlah analisis kestabilan lereng dengan bantuan *software slide 6.0* menggunakan metode *janbu simplified* untuk mempermudah perhitungan faktor keamanan (FK) dari lereng tersebut.

Oleh karena itu, penulis akan melakukan modifikasi atau perubahan pada geometri lereng. Sudut lereng yang aman untuk tinggi lereng tertentu dipengaruhi oleh karakteristik material penyusun lereng.

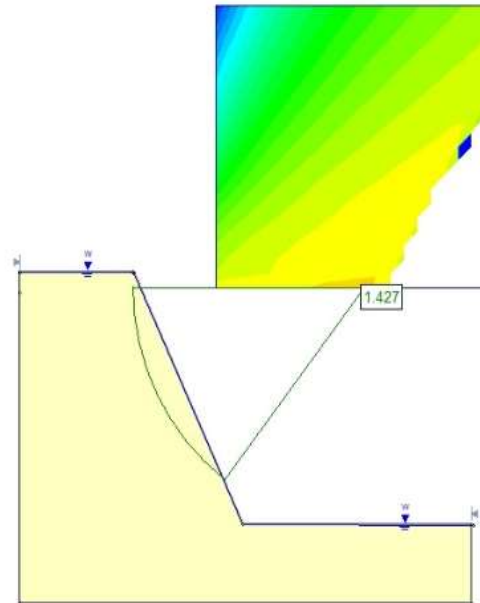
Berdasarkan modifikasi geometri lereng tambang yang dilakukan dalam keadaan jenuh berdasarkan hasil analisis *software slide 6.0* didapat hasil tinggi lereng 33 m dan kemiringan lereng menjadi 65°.

Alasan mengapa penulis mengambil kemiringan pada lereng menjadi 65°, karena FK yang paling mendekati aman ($FK \geq 1,3$) yaitu dengan kemiringan 65°, 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 7 berdasarkan hasil analisis *software slide 6.0*.

Tabel 7. Data Percobaan Kemiringan Rekomendasi Lereng

Lereng Modifikasi kondisi jenuh	
kemiringan (°)	FK
63	1.4
64	1.373
65	1.317
66	1.269
67	1.211

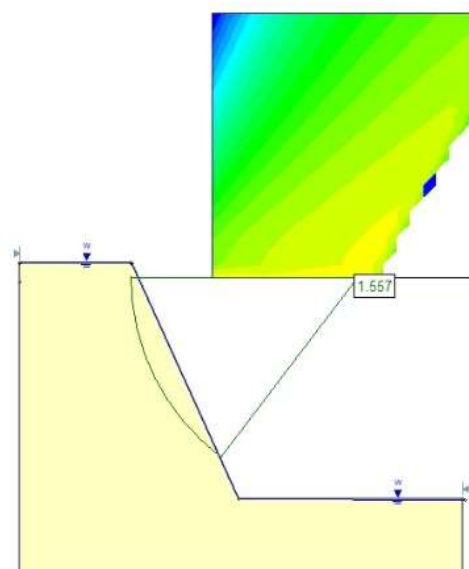
Rekomendasi untuk lereng tunggal pada saat dalam kondisi asli untuk mendapatkan nilai FK aman dengan tinggi lereng tunggal 33 meter dan sudut sebesar 65° dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Modifikasi Faktor Keamanan Lereng Asli^[12]

Berdasarkan modifikasi geometri lereng tambang yang dilakukan dalam keadaan aktual berdasarkan hasil analisis *software slide 6.0* didapat hasil faktor keamanan (FK) 1.427 dengan tinggi lereng 33 dan kemiringan lereng menjadi 65° maka keadaan lereng tambang menjadi aman.

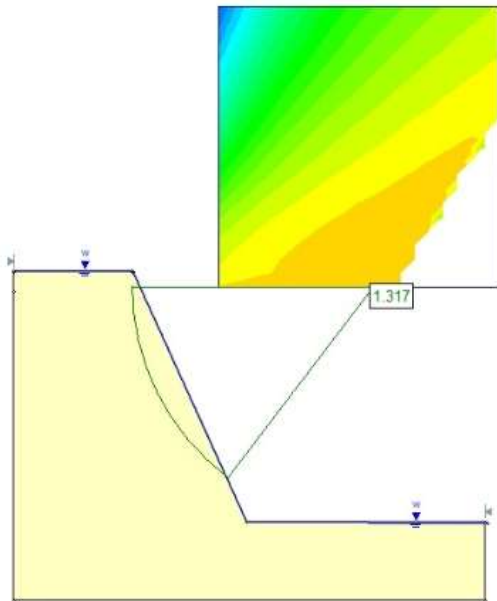
Rekomendasi untuk lereng tunggal dalam kondisi kering untuk mendapatkan nilai FK aman dengan tinggi lereng 33 meter dan sudut sebesar 65° dan hasil input data didapatkan nilai FK 1.557 seperti pada gambar 8 berikut.



Gambar 8. Modifikasi Faktor Keamanan Lereng Keadaan Kering^[12]

Berdasarkan modifikasi geometri lereng tambang yang dilakukan dalam keadaan kering berdasarkan hasil analisis *software slide 6.0* didapat hasil tinggi lereng 33 m dan kemiringan lereng menjadi 65°.

Rekomendasi untuk lereng tunggal dalam kondisi jenuh untuk mendapatkan nilai FK aman dengan tinggi lereng 33 meter dan sudut sebesar 65° dan hasil input data didapatkan nilai FK 1.317 seperti pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Modifikasi Faktor Keamanan Lereng Jenuh^[12]

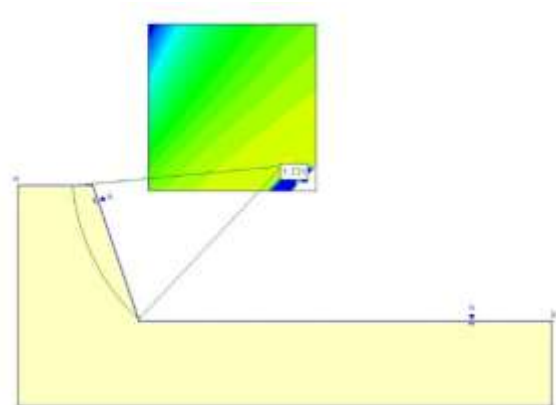
Penanggulangan keruntuhan lereng tambang dengan mengurangi gaya pendorong dapat dilakukan antara lain dengan cara mengubah geometri lereng atau mengendalikan air permukaan untuk mengurangi tekanan hidrostatik yang bekerja pada zona yang tidak stabil ^[15]. Oleh karena itu, penulis akan melakukan modifikasi/perubahan pada geometri lereng. 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 8.

Tabel 8. Data Percobaan Kemiringan Rekomendasi Lereng

Lereng Modifikasi kondisi jenuh	
kemiringan (°)	FK
70	1.393
71	1.374
72	1.334
73	1.307

74	1.285
----	-------

Rekomendasi untuk lereng tunggal pada saat dalam kondisi asli untuk mendapatkan nilai FK aman dengan tinggi lereng tunggal 11 meter dan sudut sebesar 71° dapat dilihat pada Gambar 10.

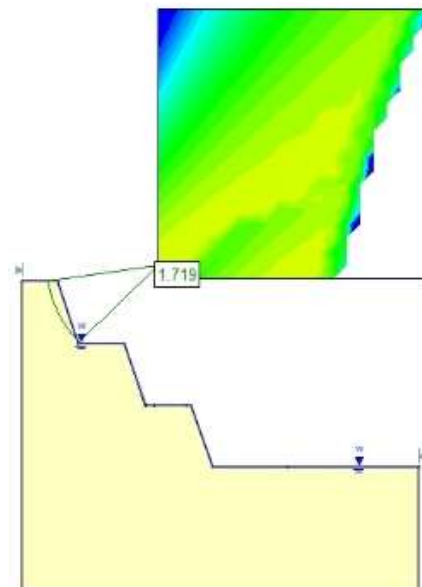


Gambar 10. Modifikasi FK Lereng Tunggal dalam Kondisi Asli^[12]

Untuk hasil rekomendasi lereng dalam kondisi asli terdapat pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekomendasi Geometri Lereng dalam Kondisi Asli

Rekomendasi Geometri Lereng	
Tinggi Lereng (m)	(11x3) = 33
Bench Width (m)	(6x3) = 18
Sudut (°)	71°
Overall Slope (°)	51°
FK Single Slope (°)	1.731
FK Overall Slope (°)	1.719

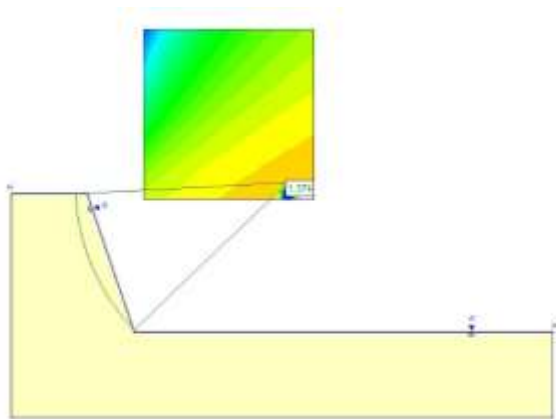


Gambar 11. Modifikasi FK Lereng

Keseluruhan dalam Kondisi Asli^[12]

Berdasarkan analisis menggunakan *Software slide* 6.0 diperoleh nilai faktor keamanan lereng tunggal dalam kondisi asli sebesar 1.731 dan untuk nilai faktor keamanan lereng keseluruhan sebesar 1.719 yang berarti lereng dalam keadaan aman.

Rekomendasi untuk lereng tunggal dalam kondisi jenuh untuk mendapatkan nilai FK aman dengan tinggi lereng 11 meter dan sudut sebesar 71° dapat dilihat pada Gambar 11.



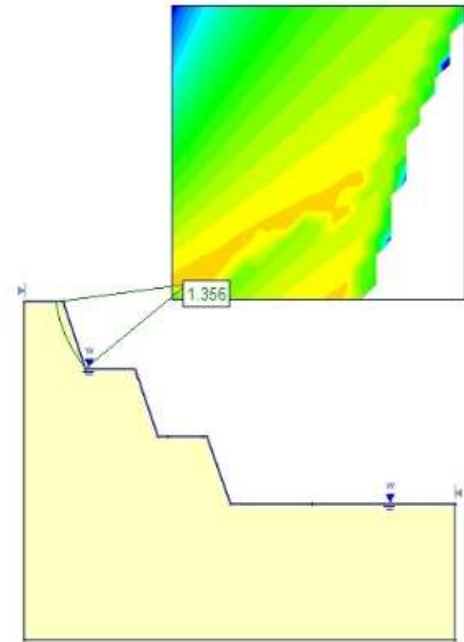
Gambar 11. Modifikasi FK Lereng Tunggal dalam Kondisi Jenuh^[12]

Rekomendasi untuk lereng tunggal dalam kondisi setengah jenuh untuk mendapatkan nilai FK aman dengan tinggi lereng 11 meter dan sudut sebesar 71° didapatkan nilai FK 1.374.

Rekomendasi geometri lereng keseluruhan untuk lereng tunggal dibuat tinggi lereng 11 meter dan sudut 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 jenuh terdapat pada Tabel 10.

Tabel 10. Rekomendasi Geometri Lereng dalam Kondisi Jenuh

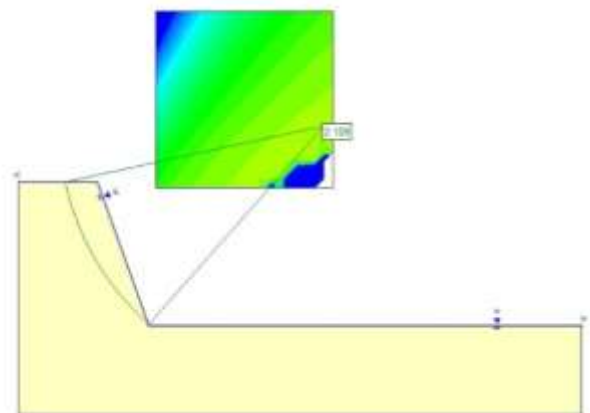
Rekomendasi Geometri Lereng	
Tinggi Lereng (m)	(11x3) = 33
Bench Width (m)	(6x3) = 18
Sudut (°)	71°
Overall Slope (°)	51°
FK Single Slope (°)	1.374
FK Overall Slope (°)	1.356



Gambar 12. Modifikasi FK Lereng Keseluruhan dalam Kondisi Jenuh^[12]

Berdasarkan analisis menggunakan *Software slide* 6.0 diperoleh nilai faktor keamanan lereng tunggal dalam kondisi jenuh sebesar 1.374 dan untuk nilai faktor keamanan lereng keseluruhan sebesar 1.356 yang berarti lereng dalam keadaan aman.

Rekomendasi untuk lereng tunggal dalam kondisi kering untuk mendapatkan nilai FK aman dengan tinggi lereng 11 meter dan sudut sebesar 71° didapatkan nilai FK 2.109 seperti pada gambar 13.

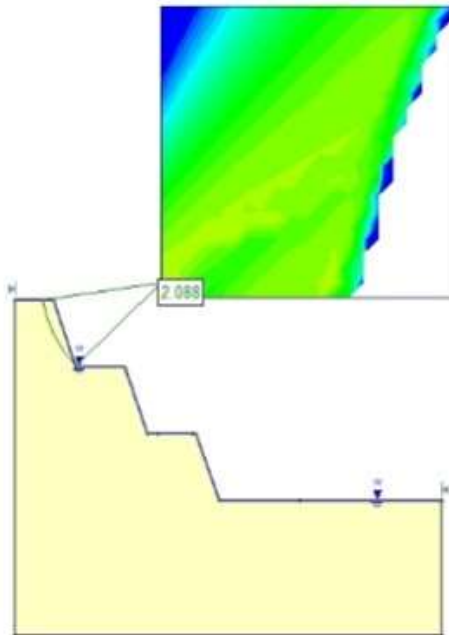


Gambar 13. Modifikasi FK Lereng Tunggal dalam Kondisi Kering^[12]

Rekomendasi geometri lereng keseluruhan untuk lereng tunggal dibuat tinggi lereng 11 meter dan sudut sebesar 71° dengan lebar jenjang minimum sebesar 6 meter. Untuk hasil rekomendasi lereng dalam kondisi setengah jenuh terdapat pada Tabel 11.

Tabel 11. Rekomendasi Geometri Lereng dalam Kondisi Kering

Rekomendasi Geometri Lereng	
Tinggi Lereng (m)	(11x3) = 33
Bench Width (m)	(6x3) = 18
Sudut (°)	71°
Overall Slope (°)	51°
FK Single Slope (°)	2.109
FK Overall Slope (°)	2.088



Gambar 14. Modifikasi FK Lereng Keseluruhan dalam Kondisi kering^[12]

Berdasarkan analisis menggunakan *Software slide* 6.0 diperoleh nilai faktor keamanan lereng tunggal dalam kondisi setengah jenuh sebesar 2.109 dan untuk nilai faktor keamanan lereng keseluruhan sebesar 2.088 yang berarti lereng dalam keadaan aman.

Berdasarkan hasil analisis diatas dengan modifikasi geometri lereng untuk mendapatkan geometri lereng dengan kondisi lereng aman dapat dilihat pada Tabel 12 berikut.

Tabel 12. Rekomendasi Geometri Lereng

Kondisi Lereng	Analisis Slope	Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Lebar Bench (m)	Faktor Keamanan
Asli	1 Single	33	65	15	1,427
	Overall	33	51	(11x3) = 33	1,719
	3 Single	11	71	(6x3) = 18	1,731
Jenuh	1 Single	33	65	15	1,317
	3 Single	11	71	(6x3) = 18	1,374
	Overall	33	51	(10x3) = 30	1,356
Kering	1 Single	33	65	15	1,557

	3 Single	11	71	(6x3) = 18	2,109
	Overall	33	51	(11x3) = 33	2,088

Berdasarkan hasil data geometri lereng aktual dalam keadaan asli, jenuh dan kering didapat nilai FK masing-masing belum dalam kondisi stabil sehingga perlu dilakukan evaluasi dan memberikan rekomendasi agar keadaan lereng dapat dalam keadaan stabil. Maka penulis memberi rekomendasi dengan dua bentuk rekomendasi yaitu dengan 1 *single slopedan* 3 *single slope* yang dapat dilihat pada Tabel 12.

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan hasil analisa yang dilakukan pada lokasi penelitian area Blok Bukit Jaya pada PT. Cahaya Bumi Perdana, dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya yaitu:

5.1.1 *Klasifikasi massa batuan berdasarkan metode Rock Mass Rating* didapat hasil 6 parameter yaitu:

5.1.1.1 *Point load indeks* bernilai 32.367 MPa

5.1.1.2 *RQD* bernilai 85.0164.

5.1.1.3 *Spasi Diskontinuitas* bernilai 0.148 m atau 14.8 cm

5.1.1.4 *Kondisi Discontinuitas*

- Kekerasan bidang *discontinuitas* berada pada kelas sedikit kasar.
- Kemenerusan bidang *discontinuitas* berkisar 0.148 m atau kurang dari 1 meter.
- Lebar rongga sedang dengan rata-rata 0.7 mm.
- Pelapukan batuan tergolong pada cukup lapuk (*moderately weather*)
- Material pengisi, tidak terdapat pengisi pada rongga.

5.1.1.5 *Kondisi air tanah* digolongkan sedikit lembab.

5.1.1.6 *Orientasi Diskontinuitas*, berdasarkan jurus dengan kemiringan 45°-90° maka bernilai bobot 0.

Berdasarkan 6 parameter klasifikasi massa batuan dengan metode RMR, maka batuan ini digolongkan pada kelas III dengan kualitas batuan sedang.

5.1.2 Hasil pengujian sifat fisik dan mekanik batuan.

5.1.2.1 Pengujian Sifat Fisik

- Nilai rata-rata bobot isi asli dari material *sandstone* yaitu, 8.024 KN/m³.
- Nilai rata-rata bobot isi kering dari material *sandstone* yaitu, 5.005 KN/m³.
- Nilai rata-rata bobot isi jenuh dari material *sandstone* yaitu, 16.016 KN/m³.

5.1.2.2 Pengujian Sifat Mekanik

- Pengujian *point load index*

Nilai rata-rata hasil pengujian *point load index* (σ_c) adalah 32.367 Mpa.

- Hasil nilai pengujian kuat geser batuan

Nilai rata-rata hasil pengujian kuat geser batuan yaitu kohesi (c) 0.0059 Mpa dan sudut geser dalam (ϕ) 63.808°.

5.1.3 Arah dan Tipe Longsoran

Berdasarkan hasil dari pengolahan orientasi bidang diskontinu menggunakan analisis stereografis arah dan tipe longsoran adalah N 139°E/71° dan longsoran guling. pada keadaan aktual lereng didapat FK pada kondisi jenuh sebesar 1,060 yang berarti lereng dalam kondisi kritis maka dari itu harus dilakukan analisis lalu memberikan rekomendasi agar lereng berada pada kondisi aman.

5.1.4 Rekomendasi geometri lereng.

Rekomendasi geometri lereng Blok Bukit Jaya adalah sebagai berikut:

- 5.1.4.1 Rekomendasi lereng dengan menggunakan *metode janbu simplified* dengan ketinggian 33 m kemiringan lereng 71°, berubah menjadi ketinggian 33 m dengan kemiringan 65° yang diterapkan untuk seluruh kondisi lereng, maka di peroleh nilai FK 1,427

untuk keadaan asli, diperoleh nilai FK 1,557 untuk keadaan kering, dan diperoleh nilai FK 1,317 untuk keadaan jenuh.

- 5.1.4.2 Rekomendasi lereng dalam keadaan asli dengan ketinggian 11 meter dan *single slope angle* 71° dengan FK 1,731. Tinggi lereng keseluruhan 33 meter dan sudut kemiringan lereng keseluruhan 51° di peroleh FK = 1,719. Pada kondisi kering dengan ketinggian 11 meter dan *single slope angle* 71° dengan FK 2,019. Tinggi lereng keseluruhan 33 meter dan sudut kemiringan lereng keseluruhan 51° di peroleh FK = 2,088. Sedangkan pada kondisi jenuh dengan ketinggian 11 meter dan *single slope angle* 71° dengan FK 1,374. Tinggi lereng keseluruhan 33 meter dan sudut kemiringan lereng keseluruhan 51° di peroleh FK = 1,356.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- 5.2.1 Perubahan geometri lereng hal ini dilakukan dengan memperbaiki geometri lereng yang ada dengan mengikuti rekomendasi desain yang telah dibuat untuk menjaga kestabilan lereng dengan nilai FK > 1.3.
- 5.2.2 Perlunya ketelitian pada saat melakukan pengujian sampel di laboratorium agar hasil yang didapatkan lebih akurat.
- 5.2.3 Langkah pemeliharaan, pemantauan, dan penanganan pada lereng tambang sangat diperlukan untuk menjaga agar lereng tetap dalam kondisi aman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arif Irwandi, *Geoteknik Tambang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2016.
- [2] S. B, *Geoteknik Buku 1: Analisis Kemantapan Lereng. Pelatihan Perancangan Tambang, Departemen Teknik Pertambangan*. Bandung: ITB,

- 2001.
- [3] Arief S, *Dasar-Dasar Analisis Kestabilan Lereng*. Sorowako: PT INCO, 2007.
- [4] Z. . Bieniawski, *Engineering Rock Mass Classification*. John Wiley & Sons: ISBN 0-471-60172-1, 1989.
- [5] Yoszi Mingsi Anaperta, "Evaluasi Kestabilan Lereng Tambang Di Pit Tambang Air Laya (Tal) Barat Sekuen Januari 2017 Penampang C-C' Pt. Bukit Asam (Persero) Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan.," *Teknol. Inf. Pendidik.*, vol. 10, no. 1, 2017.
- [6] A. M. . and R. K. S, *Slope Stability Geotechnical Engineering and Geomorphology*. 1987.
- [7] B. B. H. G. and B. E. T, *Rock Mechanics*. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [8] A. Herlambang, *Analisis Distribusi Rekahan dan Stilolyte Menggunakan Data Singkapan dan Data Sumur Pada Batugamping Formasi Rajamandala di Area Cikamuning, Padalarang, Jawa Barat, Indonesia*. Bandung. Bandung, 2014.
- [9] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, *Kepmen ESDM RI Nomor 1827 K/30/MEM/2018: Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Lampiran II*. Jakarta, 2018.
- [10] Kuntjojo, *Metode Penelitian*. Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu, 2009.
- [11] "Dokumentasi Penulis."
- [12] "Software Slide 6.0 Penulis."
- [13] "Software Dip Penulis."
- [14] *Pengujian Laboratorium Penulis*. .
- [15] R. A. dan Y. M. A. Pane, "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," *Bina Tambang.*, vol. 4, no. 3, 2019.