

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

Riski Adelina Pane^{1*}, Yoszi M. Anaperta^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*riski.adelinapane@gmail.com

**yoszi_mingsi@yahoo.com

Abstract. The stability of the mine slope is the most important factor that must be considered in the continuation of mining activities. Research sites on three mining slopes PT. AICJ, namely coordinates S00°36'09.3"/E100°48'16.3", coordinates S00°43'27.0"/E100°47'11.1" with slope height = 35m and slope = 63°, and at coordinates S00°36'09.7"/E100°48'16.2" with slope height = 30m and slope = 63°. The method used is Bishop and Hoek and Bray. As a result of research, the following conclusions are drawn. First, based on the analysis of RQD, RMR, and SMR rock types on location classified in the class fair rock-good rock. Second, the results of the analysis of single and overall slope of actual earned value FK at the coordinates I, II, and III = 1.280/1.225, 1.323/1.203, 1.308/1.203(natural conditions) and FK = 0.844, 0.905, 0.859(saturated condition). Third, to obtain a safe FK that is 1.25, the geometry of the slope is modified, namely coordinate with a slope height of 31 m and slope 49°, coordinate II slope height 33 m and slope 50°, and coordinate III of slope height of 25 m and slope 54° in saturated condition.

Keywords : slope stability analysis, RQD, RMR, SMR, bishop method, hoek and bray method

1 Pendahuluan

PT. Allied Indo Coal Jaya (PT. AICJ) adalah salah satu perusahaan yang bergerak dibidang usaha pertambangan batubara di Kota Sawahlunto dengan status izin Perjanjian Kerjasama Pengusaha Pertambangan Batubara (PKP2B) sesuai kontrak No.J2/Ji.DU/25/1985 pada tanggal 21 Agustus 1985. PT. Allied Indo Coal Jaya melakukan penambangan dengan metode tambang terbuka (*strip mine*) dan metode tambang bawah tanah (*underground mine*). Dalam penambangan terbuka, desain lereng tambang adalah salah satu faktor terpenting yang harus diperhatikan dalam keberlangsungan kegiatan penambangan karena lereng yang tidak mantap/stabil akan mengakibatkan longsor dan kegiatan produksi terganggu/terhenti bahkan kemungkinan adanya korban jiwa. Proses-proses geologi yang terjadi selama dan setelah pembentukan batuan turut mempengaruhi sifat massa batuan (*rock mass properties*), termasuk sifat keteknikannya (*engineering properties*). Di alam massa

batuan cenderung tidak ideal dalam beberapa hal, seperti heterogen (komposisinya tidak seragam), anisotrop (karakteristik materialnya tidak sama di semua arah), *nonlinear* (kurva tegangan-regangannya tidak membentuk garis lurus), memiliki bidang diskontinu (sesar, kekar, dan bidang pelapisan), dan memiliki sifat nonkonservatif (perilakunya dipengaruhi oleh perlakuan terhadapnya di masa lalu)^[1].

Batuan pada lereng pit barat PT. Allied Indo Coal Jaya didominasi oleh batuan sedimen, dimana karakteristik batuan turut dipengaruhi oleh cuaca dan air hujan sehingga batuan yang awalnya cukup keras dapat menjadi batuan lunak pada saat tersingkap atau pada saat dimulainya proses penambangan. Selain itu, pada beberapa titik lokasi penambangan pit barat PT. Allied Indo Coal Jaya terjadi longsoran kecil dan batuan menggantung yang disebabkan banyaknya bidang diskontinuitas serta belum adanya rancangan geoteknik yang baik dan tidak ada penanggulangan terhadap longsoran yang mungkin terjadi di area penambangan. Berdasarkan hasil pengamatan aktual di lapangan,

penulis melakukan penelitian pada 3 *section* lereng yaitu A-A', B-B' dan *section* C-C' dengan batuan penyusannya berupa *Siltstone* dan batubara, dimana pada *section* A-A' dengan tinggi lereng (H) = 35 m dan kemiringan (α) = 63° banyak ditemukan bidang diskontinu berupa kekar dan keadaan lereng yang jenuh disebabkan adanya aliran air yang keluar dari dalam lereng. Kemudian pada *section* B-B' dengan tinggi dan kemiringan yang sama dengan *section* A-A' juga ditemukan banyaknya diskontinuitas berupa kekar serta adanya longsoran kecil pada bagian atas lereng dan untuk *section* C-C' dengan tinggi lereng (H) = 30 m dan kemiringan (α) = 63° merupakan lokasi yang masih aktif melakukan kegiatan blasting untuk membongkar lapisan interburden dan memiliki bidang diskontinu yang banyak.



Gambar 1. Kondisi Lereng di Pit Barat PT. AICJ

Sebagai upaya untuk mendapatkan lereng yang stabil/aman, maka penelitian ini memberikan gambaran karakteristik massa batuan di lokasi penambangan sekaligus untuk mengevaluasi tingkat kestabilan lereng dan upaya penanggulangannya.

2. Kajian Teori

2.1 Konsep 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 menjadi tidak stabil dan akan terjadi longsoran^[2].

Faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah geometri lereng, penyebaran batuan, relief permukaan bumi, struktur geologi regional dan lokal, iklim dan curah hujan, sifat fisik dan mekanik batuan, serta gaya dari luar^[3]. Lereng tambang yang tidak stabil akan mengalami longsoran sampai lereng tersebut menemukan keseimbangan yang baru dan menjadi

stabil. Longsoran dapat terjadi pada hampir setiap kemungkinan, perlahan-lahan ataupun secara tiba-tiba dan dengan atau tanpa adanya suatu peringatan yang nyata. Diantaranya jenis longsoran yang mungkin timbul adalah^[4]:

1. Longsoran Busur (*Circular Failure*), banyak terjadi pada lereng tanah dan batuan lapuk atau sangat terkekarkan dan di lereng-lereng timbunan.
2. Longsoran Bidang (*Plane Failure*), disebabkan oleh adanya struktur geologi yang berkembang, seperti kekar (*joint*) ataupun patahan yang dapat menjadi bidang geluncur.
3. Longsoran Baji (*Wedge Failure*), disebabkan oleh adanya dua struktur geologi yang berkembang dan saling berpotongan.
4. Longsoran Guling (*Toppling Failure*), biasanya terjadi pada lereng yang terjal dan pada batuan yang keras dimana struktur bidang lemahnya berbentuk kolom.

2.2 Klasifikasi Massa Batuan

Klasifikasi massa batuan adalah proses pengklasifikasian massa batuan dengan cara melakukan observasi yang berhubungan dengan geometri dan kondisi bidang diskontinu. Pembuatan klasifikasi massa batuan bertujuan untuk memenuhi kepentingan berikut^[5]:

1. Mengidentifikasi parameter-parameter penting yang mempengaruhi perilaku massa batuan.
2. Membagi massa batuan ke dalam kelompok yang mempunyai perilaku sama di setiap kelas massa batuan.
3. Memberikan dasar-dasar untuk pengertian karakteristik dari setiap kelas massa batuan.
4. Menghubungkan pengalaman dari kondisi massa batuan di satu lokasi dengan lokasi lainnya.
5. Mengambil data kuantitatif dan pedoman untuk rancangan rekayasa (*engineering*).
6. Memberikan dasar umum untuk kemudahan komunikasi di antara para insinyur dan ahli geologi.

2.2.1 Rock Quality Designation (RQD)

RQD (Rock Quality Designation) merupakan persentase kualitas batuan, terdiri dari Nilai RQD dari pengamatan bidang diskontinu di lapangan yaitu dari persentase frekuensi diskontinuitas per meter berdasarkan jumlah diskontinuitas yang memotong garis pengamatan (*scan line*) pada singkapan batuan yang mengalami retakan-retakan (baik lapisan batuan maupun kekar atau sesar) berdasarkan rumus Hudson serta Nilai RQD diperoleh dari hasil pengukuran panjang inti bor (*core*) yang diukur langsung di lapangan bersamaan dengan kegiatan *core orienty* dilakukan.

2.2.2 Rock Mass Rating (RMR)

Klasifikasi RMR digunakan untuk menentukan kualitas massa batuan berdasarkan lima parameter, yaitu nilai

kuat tekan batuan utuh (UCS), RQD (dengan melakukan pengukuran atau estimasi), spasi bidang-bidang diskontinuitas, kondisi bidang-bidang diskontinu, dan kondisi air tanah^[6].

2.2.3 Slope Mass Rating (SMR)

Klasifikasi SMR dapat memberikan panduan awal dalam analisis kestabilan lereng dan memberikan informasi yang berguna tentang tipe keruntuhan serta hal-hal yang diperlukan untuk perbaikan lereng.

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \quad (1)$$

Nilai SMR diperoleh dari nilai RMR yang ditambah dengan faktor-faktor koreksi. F1, F2, F3 merupakan faktor koreksi terhadap kondisi kekar (*joints*), sedangkan F4 merupakan faktor koreksi terhadap metode penggalian yang digunakan pada lereng.

2.3 Metode Analisis Kestabilan Lereng

2.3.1 Metode Bishop

Metode Bishop merupakan metode sangat populer dalam analisis kestabilan lereng dikarenakan perhitungannya yang sederhana, cepat dan memberikan hasil perhitungan faktor keamanan yang cukup teliti. Metode ini sangat cocok digunakan untuk pencarian secara otomatis bidang runtuh kritis yang berbentuk busur lingkaran untuk mencari faktor keamanan minimum^[7].

2.2.2 Metode Hoek and Bray

Metode *Hoek and Bray* adalah salah satu metode grafik yang menggambarkan lima buah pola aliran tanah dari kondisi kering sampai kondisi jenuh. Metode *Hoek and Bray* sendiri tergantung pada :

1. Jenis tanah dan batuan, dalam hal ini tanah dan batuan dianggap homogen dan kontinu.
2. Longsor yang dapat terjadi menghasilkan bidang luncur berupa busur lingkaran.
3. Tinggi permukaan air tanah pada lereng

3 Metode Penelitian

3.1 Desain Penelitian

3.1.1 Jenis Penelitian

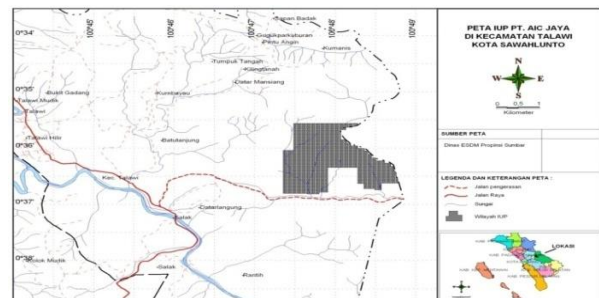
Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif. Dimana, Penelitian tipe kuantitatif dapat digunakan apabila data yang dikumpulkan berupa data kuantitatif atau jenis data lain yang dapat dikuantitaskan dan diolah menggunakan teknik statistik^[8]. Selain itu juga, penelitian ini termasuk penelitian terapan karena ditujukan untuk memberikan solusi atas permasalahan yang ada.

3.1.2 Waktu penelitian

Kegiatan observasi lapangan dilaksanakan pada tanggal 18-19 Januari 2019 dan kemudian dilanjutkan kegiatan pengambilan data yang dilakukan mulai tanggal 25 Maret sampai 25 April 2019.

3.1.3 Lokasi Penelitian

Pengambilan data dilaksanakan di wilayah penambangan terbuka PT. Allied Indo Coal Jaya. Penelitian kemudian dibatasi dan di fokuskan pada area penambangan pit barat PT. Allied Indo Coal Jaya Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat.



Gambar 2. Peta Kesampaian Daerah Sawahlunto

3.2 Jenis Dan 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 dan data curah hujan.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan berupa hasil pengujian sampel batuan di laboratorium, yaitu pengujian sifat fisik batuan dan sifat mekanik batuan berupa uji kuat tekan uniaksial (UCS).

3.4. Teknik Analisis Data

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

1. Melakukan analisis perhitungan kualitas massa batuan berdasarkan nilai RQD, RMR dan SMR sehingga diperoleh karakteristik batuan pada lereng tersebut.
2. Melakukan analisis tingkat kestabilan lereng dengan menggunakan menggunakan metoda *Bishop* dengan

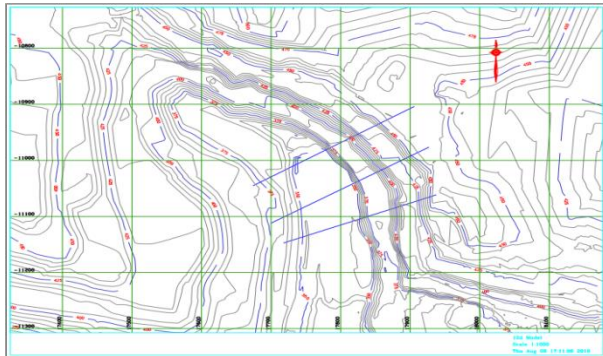
dibantu software Rosience Slide 6.0 dan metode grafik *Hoek and Bray*

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Penelitian

4.1.1 Data Hasil Pengukuran di Lapangan

Penelitian dilakukan pada titik koordinat S 00°36'09,3" / E 100°48'16,3" (*section A-A'*) dengan tinggi lereng (H) = 35 m, kemiringan lereng (α) = 63° dan panjang lintasan scanline 10 m pada elevasi 302 mRL, titik koordinat S 00°43'27,0" / E 100°47'11,1" (*section B-B'*) dengan tinggi lereng (H) = 35 m, kemiringan lereng (α) = 63° dan panjang lintasan scanline 10 m pada elevasi 354 mRL dan titik koordinat S 00°36'09,7" / E 100°48'16,2" (*section C-C'*) dengan tinggi lereng (H) = 30 m, kemiringan lereng (α) = 63° dan panjang lintasan scanline 10 m pada elevasi 349 mRL.



Gambar 3. Lokasi Penelitian

4.1.2 Data Hasil Pengujian Sampel Batuan di Laboratorium

4.1.2.1 Uji Sifat Fisik Batuan

Pengujian sifat fisik batuan merupakan pengujian untuk mendapatkan bobot isi/density dari sampel batuan yang diuji yang mana pengujiannya tanpa merusak (*non destructive test*)^[9]. Sampel yang digunakan berupa contoh batuan yang telah di coring berbentuk silinder dengan diameter 5,6 cm dan tinggi untuk pengujian sifat fisik batuan dapat lebih besar maupun lebih kecil dari ukuran diameternya, disini penulis memakai tinggi sampel batuan 2,5 cm atau lebih kecil dari diameternya

$$\text{bobot isi asli} = \frac{W_n}{W_w - W_s} \quad (2)$$

$$\text{bobot isi jenuh} = \frac{W_w}{W_w - W_s} \quad (3)$$

$$\text{bobot isi kering} = \frac{W_o}{W_w - W_s} \quad (4)$$

Tabel 1. Nilai Rata-Rata Uji Sifat Fisik Batuan

Titik	Bobot isi asli (gr/cm ³)	Bobot isi kering (gr/cm ³)	Bobot isi jenuh (gr/cm ³)
1	2,08	1,76	2,13
2	2,09	1,75	2,14
3	1,91	1,48	1,95

Berdasarkan range bobot isi batuan sedimen untuk jenis batuan Siltstone dalam keadaan natural yaitu 1,2-1,8 g/cm³, sedangkan dalam keadaan basah atau jenuh bobot isinya berkisar 1,8-2,2 g/cm³. Jadi, dapat disimpulkan bahwa jenis batuan yang diuji tersebut adalah *Siltstone*.

4.1.2.2 Uji Sifat Mekanik

Nilai kuat tekan batuan dilakukan berdasarkan uji kuat tekan uniaksial (*UCS*) pada sampel batuan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan batuan (σ_c). Contoh batuan yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter (D) = 5,4 cm dan tinggi sampel = 11 cm.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Uniaksial

Data Hasil Uji Kuat Tekan Uniaksial						
No Sampel	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Beban (kg)	Luas Penampang (cm ²)	Nilai Kuat Tekan (kg/cm ²)	Nilai Kuat Tekan (Mpa)
1	5,4	11	471,05	22,89	20,58	2,02
2	5,4	11	500,62	22,89	21,87	2,14
3	5,4	11	383,37	22,89	16,75	1,64

4.2 Analisis Karakterisasi Massa Batuan

4.2.1 Rock Quality Designation (RQD)

Pengamatan RQD sangat penting karena menyangkut fracture dalam jarak yang dekat, perhitungan RQD dilakukan langsung di lapangan dan berdasarkan panjang lereng secara horizontal (*scan line*) dengan melihat spasi kekar lereng dengan persamaan sebagai berikut :

$$RQD = 100e^{(-0,1\lambda)} \cdot (0,1\lambda + 1) \quad (5)$$

Dari hasil pengukuran data di lapangan maka diperoleh hasil sebagai berikut :

4.2.1.1 Titik koordinat S 00°36'09,3" / E 100°48'16,3"

Tabel 3. Data RQD pada Koordinat S 00°36'09,3" / E 100°48'16,3".

No	Rata-rata (m)	λ	RQD (%)
1	0,142	7,042253521	84,2724921
2	0,071923077	13,90374332	59,5160386
3	0,346875	2,882882883	96,5630658
4	0,070833333	14,11764706	58,7777982
5	0,046666667	21,42857143	36,8717379
6	0,069375	14,41441441	57,7612054
7	0,12625	7,920792079	81,1636505
8	0,046363636	21,56862745	36,5209538
9	0,058	17,24137931	48,578657
10	0,066428571	15,05376344	55,6027579
Rata-Rata			61,5628357

Berdasarkan tabel diatas nilai RQD pada koordinat S 00°36'09,3"/ E 100°48'16,3" adalah 50-75 % dengan kualitas batuan sedang (*fair*) dan rating 13.

4.2.1.2 Titik Koordinat S 00°43'27,0"/E 100°47'11,1"

Tabel 4. Data RQD pada Koordinat S 00°43'27,0"/E 100°47'11,1"

No	Rata-rata (m)	Δ	RQD (%)
1	0,14	7,142857	83,92143
2	0,068	14,70588	56,77171
3	0,177777778	5,625	89,02857
4	0,068333333	14,63415	57,01441
5	0,171666667	5,825243	88,38189
6	0,13875	7,207207	83,69613
7	0,146666667	6,818182	85,04899
8	0,109	9,174312	76,60983
9	0,115	8,695652	78,35979
10	0,1525	6,557377	85,94256
Rata-Rata			78,47753

Berdasarkan tabel diatas nilai RQD pada koordinat S 00°43'27,0"/E 100°47'11,1" adalah 75 – 90 % dengan kualitas batuan baik (*good*) dan rating 17.

4.2.1.3 Titik Koordinat S 00°36'09,7"/E 100°48'16,2"

Tabel 5. Data RQD pada Koordinat S 00°36'09,7"/E 100°48'16,2"

No	Rata-rata (m)	Δ	RQD (%)
1	0,152857143	6,54206	85,9947
2	0,100769231	9,92366	73,8567
3	0,155	6,45161	86,3015
4	0,161666667	6,18557	87,1951
5	0,106	9,43396	75,6571
Rata-Rata			81,801

Berdasarkan tabel diatas nilai RQD pada koordinat S 00°36'09,7"/E 100°48'16,2" adalah 75 – 90 % dengan kualitas batuan baik (*good*) dan rating 17.

4.2.2 Rock Mass Rating (RMR)

Pembobotan massa batuan untuk tiap lereng dalam titik pengamatan dilakukan perhitungan dan analisis Rock Mass Rating dengan menggunakan lima parameter, yaitu kekuatan batuan utuh, *Rock Quality Designation* (RQD), jarak antar diskontinuitas, kondisi bidang diskontinuitas, keadaan air tanah^[10].

4.2.2.1 Titik koordinat S 00°36'09,3"/ E 100°48'16,3"

Tabel 6. Nilai RMR pada Koordinat S 00°36'09,3"/ E 100°48'16,3"

Parameter	Nilai	Bobot
RQD (%)	61,563	13
Kuat Tekan (Point Load)	1,8	4
Spasi (mm)	6-20 cm	8
Kondisi Discontinuitas		
1. Persistence (m)	<1m	6
2. Lebar Rongga (mm)	0,1-1 mm	4
3. Kekasaran Kekar	65,243	3
4. Material Pengisi	None	6
5. Pelapukan	Tidak Melapuk	6
Kondisi Air	Kering	15
Orientasi kekar	Menguntungkan (Favorable)	-5
RMR		60
Kelas Massa Batuan		III
Deskripsi Masa Batuan		Fair Rock
Nilai GSI = (RMR-5)		55

4.2.2.2 Titik Koordinat S 00°43'27,0"/E 100°47'11,1"

Tabel 7. Nilai RMR pada Koordinat S 00°43'27,0"/E 100°47'11,1"

Parameter	Nilai	Bobot
RQD (%)	78,478	17
Kuat Tekan (Point Load)	1,92	4
Spasi (mm)	<6 cm	5
Kondisi Discontinuitas		
1. Persistence (m)	<1 m	6
2. Lebar Rongga (mm)	0,1-1 mm	4
3. Kekasaran Kekar		3
4. Material Pengisi	None	6
5. Pelapukan	Tidak Melapuk	6
Kondisi Air	Kering	15
Orientasi kekar	Menguntungkan (Favorable)	-5
RMR		61
Kelas Massa Batuan		II
Deskripsi Masa Batuan		Good Rock
Nilai GSI = (RMR-5)		56

4.2.2.3 Titik Koordinat S 00°36'09,7"/E 100°48'16,2"

Tabel 8. Data RMR pada Koordinat S 00°36'09,7"/E 100°48'16,2"

Parameter	Nilai	Bobot
RQD (%)	81,801	17
Kuat Tekan (Point Load)	1,82	4
Spasi (mm)	6-20 cm	8
Kondisi Discontinuitas		
1. Persistence (m)	<1 m	6
2. Lebar Rongga (mm)	0,1-1 mm	4
3. Kekasaran Kekar		3
4. Material Pengisi	None	6
5. Pelapukan	Tidak Melapuk	6
Kondisi Air	Kering	15
Orientasi kekar	Menguntungkan (Favorable)	-5
RMR		64
Kelas Massa Batuan		II
Deskripsi Masa Batuan		Good Rock
Nilai GSI = (RMR-5)		59

4.2.3 Slope Mass Rating (SMR)

Dalam pembobotan massa batuan pada lereng, bobot pengatur orientasi kekar disertakan untuk memodifikasi RMR menjadi klasifikasi massa batuan baru yang disebut *Slope Mass Rating* (SMR)^[5]. Hubungan RMR dan SMR untuk masing-masing tiap titik koordinat daerah pengamatan dapat dilihat sebagai berikut.

4.2.3.1 Koordinat Titik Lereng S 00°36'09,3"/ E 100°48'16,3"

Tabel 9. Bobot Parameter SMR pada Titik Koordinat S 00°36'09,3"/ E 100°48'16,3"

Parameter SMR	Nilai	Bobot
F1	-224,39	1
F2	51,22	1
F3	-18,78	-60
F4	Peledakan normal	0

Nilai SMR pada titik koordinat S 00°36'09,3"/ E 100°48'16,3" adalah sebagai berikut :

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

$$= 60 + (1 \times 1 \times (-60)) + 0 = 0$$

Berdasarkan tabel deskripsi untuk setiap keelas SMR tersebut maka batuan di lereng tersebut termasuk dalam kelas nomor I dengan kelas massa batuan sangat jelek, tingkat kestabilan lereng sangat tidak stabil, jenis longsoran yang dapat terjadi dapat berupa longsoran bidang besar atau seperti tanah, dan sistem penyangga yang dapat digunakan adalah Re-excavation.

4.2.3.2 Koordinat Titik Lereng S 00°43'27,0"/E 100°47'11,1"

Tabel 10. Bobot Parameter SMR pada Titik Koordinat S 00°43'27,0"/E 100°47'11,1"

Parameter SMR	Nilai	Bobot
F1	-51,96	1
F2	60,75	1
F3	-4,25	-50
F4	Peledakan normal	0

Nilai SMR pada titik koordinat S 00°36'09,3"/ E 100°48'16,3" adalah sebagai berikut :

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

$$= 56 + (1 \times 1 \times (-50)) + 0 = 6$$

Berdasarkan tabel deskripsi untuk setiap keelas SMR tersebut maka batuan di lereng tersebut termasuk dalam kelas nomor I dengan kelas massa batuan sangat jelek, tingkat kestabilan lereng sangat tidak stabil, jenis longsoran yang dapat terjadi dapat berupa longsoran

bidang besar atau seperti tanah, dan sistem penyangga yang dapat digunakan adalah Re-excavation.

4.2.3.3 Koordinat Titik Lereng S 00°36'09,7"/E 100°48'16,2"

Tabel 11. Bobot Parameter SMR pada Titik Koordinat S 00°36'09,3"/ E 100°48'16,3"

Parameter SMR	Nilai	Bobot
F1	-157,28	1
F2	69,83	1
F3	13,83	0
F4	Peledakan normal	0

Nilai SMR pada titik koordinat S 00°36'09,3"/ E 100°48'16,3" adalah sebagai berikut :

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

$$= 59 + (1 \times 1 \times 0) + 0 = 59$$

Berdasarkan tabel deskripsi untuk setiap keelas SMR tersebut maka batuan di lereng tersebut termasuk dalam kelas nomor III dengan kelas massa batuan sedang, tingkat kestabilan lereng yaitu stabil sebagian, jenis longsoran yang dapat terjadi dapat berupa beberapa kekar atau banyak baji, dan sistem penyangga yang dapat digunakan adalah Sistematis.

4.3 Analisis Kestabilan Lereng Pit Barat PT. Allied Indo Coal Jaya

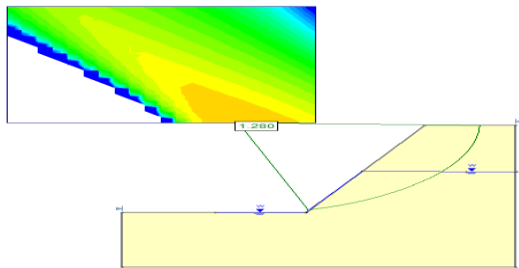
4.3.1 Analisis Tingkat Kestabilan Lereng Metode Bishop dengan Menggunakan Program Rosience Slide 6.0

Untuk melakukan analisis kestabilan lereng dengan menggunakan software *rosience slide 6.0*, maka diperlukan data berupa geometri lereng tambang, bobot isi batuan, kohesi (c) dan sudut geser dalam (θ) serta material penyusun lereng tersebut^[6]. Berdasarkan kualitas massa batuan dari hasil analisis RMR dan SMR sebelumnya, batuan pada daerah penelitian berada dalam kelas batuan sedang sampai baik, hal ini dikarenakan banyaknya bidang diskontinuitas serta jenis longsoran yang mungkin terjadi berupa longsoran busur, sehingga dalam analisis tingkat kestabilan lereng penulis menggunakan metode *bishop* dan metode grafis *hoek and bray*. Metode *bishop* merupakan salah satu metode irisan yang mana geometri dari bidang gelinciran harus ditentukan atau diasumsikan terlebih dahulu. Untuk menyederhanakan perhitungan, bidang runtuh biasanya dianggap berupa busur lingkaran, gabungan busur lingkaran dengan garis lurus, atau gabungan dari beberapa dari beberapa garis lurus. Metode *bishop* mengasumsikan bahwa gaya geser antar-irisan sama dengan nol ($X=0$).

4.3.1.1 Titik Koordinat S00°36'09,3"/E 100°48'16,3"

4.3.1.1.1 Analisis FK Lereng dengan Kondisi Natural

- Tinggi lereng (H) : 35 m
- Sudut kemiringan lereng (α): 63°
- Bobot isi asli (γ nat) : 2,08 gr/cm³ : 20,39 kN/m³
- GSI : 58
- Kohesi (c) : 0,106 Mpa = 106 Kn/m²
- Sudut geser dalam (θ) : 31,08°

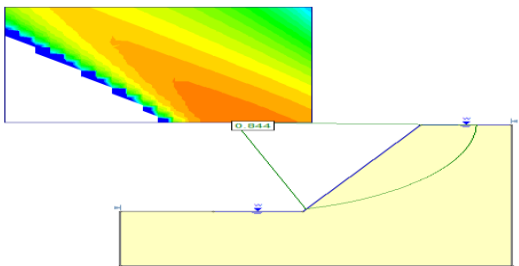


Gambar 4. Analisis FK Lereng dengan Kondisi Natural pada Titik Koordinat S 00°36'09,3''/ E 100°48'16,3''

Berdasarkan analisis dengan menggunakan software *slide 6.0* diperoleh nilai faktor keamanan lereng dengan kondisi natural pada koordinat S 00°36'09,3''/ E 100°48'16,3'' sebesar 1,280 (FK>1,25) yang berarti lereng dalam keadaan aman.

4.3.1.1.2 Analisis FK Lereng dengan kondisi Jenuh

- Tinggi lereng (H) : 35 m
- Sudut kemiringan lereng (α): 63°
- Bobot isi jenuh (γ dry) : 2,13 gr/cm³ : 20,93 kN/m³
- GSI : 53
- Kohesi (c) : 0,102 Mpa = 102 Kn/m²
- Sudut geser dalam (θ) : 30,50°



Gambar 5. Analisis FK Lereng dengan Kondisi Jenuh Pada Titik Koordinat S 00°36'09,3''/ E 100°48'16,3''

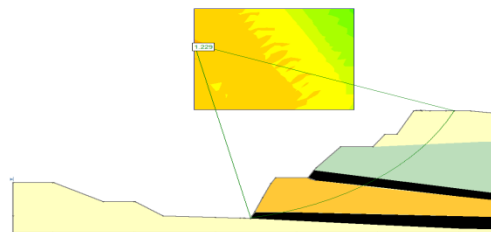
Berdasarkan analisis dengan menggunakan software *slide 6.0* diperoleh nilai faktor keamanan lereng dengan kondisi jenuh pada koordinat S 00°36'09,3''/ E

100°48'16,3'' sebesar 0,844 (FK<1,25) yang berarti lereng dalam keadaan tidak aman.

4.3.1.1.3 Analisis Overall Slope Natural

Tabel 12. Data Input Analisis Kestabilan Lereng Metode Bishop

Tinggi dan Kemiringan Slope	Lapisan Material	Parameter			Warna
		Bobot Isi(kN/m ³)	Kohesi (kN/m ²)	Sudut Geser Dalam	
30 m dan 50°	Siltstone	20,39	106	31,08	
35 m dan 60°	Siltstone	20,39	106	31,08	
	Batubara	1,25	106	31,08	
35 m dan 63°	Siltstone	20,39	106	31,08	
	Batubara	1,25	106	31,08	



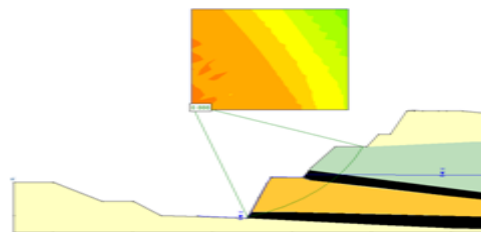
Gambar 6. Analisis FK Overall Slope Pada Titik Koordinat S 00°36'09,3''/ E 100°48'16,3''

Berdasarkan hasil analisis FK diatas diketahui FK = 1,229 < 1,25 yang berarti lereng dalam keadaan tidak aman secara keseluruhan.

4.3.1.1.4 Analisis Overall Slope Jenuh

Tabel 13. Data Input Analisis Kestabilan Lereng Metode Bishop

Tinggi dan Kemiringan Slope	Lapisan Material	Parameter			Warna
		Bobot Isi(kN/m ³)	Kohesi (kN/m ²)	Sudut Geser Dalam	
30 m dan 50°	Siltstone	20,93	102	30,50	
35 m dan 60°	Siltstone	20,93	102	30,50	
	Batubara	1,25	102	30,50	
35 m dan 63°	Siltstone	20,93	102	30,50	
	Batubara	1,25	102	30,50	



Gambar 7. Analisis FK Overall Slope Jenuh Pada Titik Koordinat S 00°36'09,3''/ E 100°48'16,3''

Berdasarkan hasil analisis FK diatas diketahui FK = 0,888 < 1,25 yang berarti lereng dalam keadaan tidak aman secara keseluruhan.

4.3.1.2 Titik Koordinat S 00°43'27,0"/E 100°47'11,1"

4.3.1.2.1 Analisis FK Lereng dengan Kondisi Natural

- Tinggi lereng (H) : 35 m

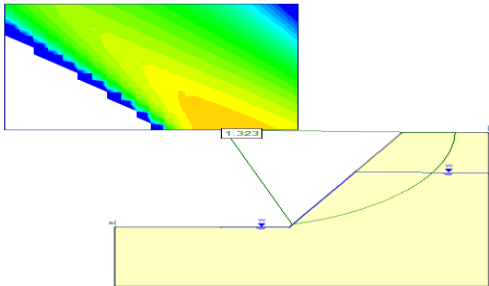
Sudut kemiringan lereng (α): 63°

Bobot isi asli (γ nat) : $2,09 \text{ gr/cm}^3 : 20,51 \text{ kN/m}^3$

GSI : 59

Kohesi (c) : $0,120 \text{ Mpa} = 120 \text{ kN/m}^2$

Sudut geser dalam (θ) : $32,24^\circ$



Gambar 8. Analisis FK Lereng dengan Kondisi Natural pada Titik Koordinat S $00^\circ 43' 27,0''$ /E $100^\circ 47' 11,1''$

Berdasarkan analisis dengan menggunakan software slide 6.0 diperoleh nilai faktor keamanan lereng dengan kondisi natural pada koordinat S $00^\circ 43' 27,0''$ /E $100^\circ 47' 11,1''$ sebesar 1,323 ($FK > 1,25$) yang berarti lereng dalam keadaan aman.

4.3.1.2.2. Analisis FK Lereng dengan Kondisi Jenuh

Tinggi lereng (H) : 35 m

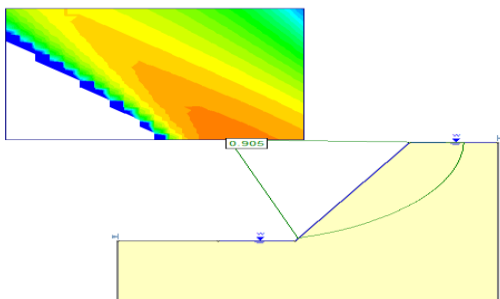
Sudut kemiringan lereng (α): 70°

Bobot isi jenuh (γ dry) : $2,14 \text{ gr/cm}^3 : 21,02 \text{ kN/m}^3$

GSI : 53

Kohesi (c) : $0,110 \text{ Mpa} = 110 \text{ kN/m}^3$

Sudut geser dalam (θ) : $30,79^\circ$



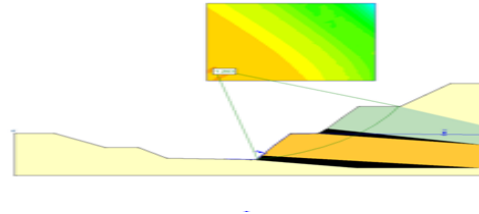
Gambar 9. Analisis FK Lereng dengan Kondisi Natural pada Titik Koordinat S $00^\circ 43' 27,0''$ /E $100^\circ 47' 11,1''$

Berdasarkan analisis dengan menggunakan software slide 6.0 diperoleh nilai faktor keamanan lereng dengan kondisi jenuh pada koordinat S $00^\circ 43' 27,0''$ /E $100^\circ 47' 11,1''$ sebesar 0,905 ($FK < 1,25$) yang berarti lereng dalam keadaan tidak aman.

4.3.1.2.3 Analisis Overall Slope Natural

Tabel 14. Data Input Analisis Kestabilan Lereng Metode Bishop

Tinggi dan Kemiringan Slope	Lapisan Material	Parameter			Warna
		Bobot Isi (kN/m^3)	Kohesi (kN/m^2)	Sudut Geser Dalam	
30 m dan 50°	Siltstone	20,51	120	32,24	
35 m dan 60°	Siltstone	20,51	120	32,24	
	Batubara	1,14	120	32,24	
35 m dan 63°	Siltstone	20,51	120	32,24	
	Batubara	1,14	120	32,24	



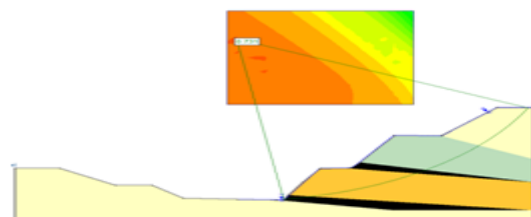
Gambar 10. Analisis FK Overall Slope pada Titik Koordinat S $00^\circ 43' 27,0''$ /E $100^\circ 47' 11,1''$

Berdasarkan hasil analisis FK diatas diketahui $FK = 1,203 < 1,25$ yang berarti lereng dalam keadaan tidak aman secara keseluruhan.

4.3.1.2.4 Analisis Overall Slope Jenuh

Tabel 15. Data Input Analisis Kestabilan Lereng Metode Bishop

Tinggi dan Kemiringan Slope	Lapisan Material	Parameter			Warna
		Bobot Isi (kN/m^3)	Kohesi (kN/m^2)	Sudut Geser Dalam	
30 m dan 50°	Siltstone	21,02	110	30,79	
35 m dan 60°	Siltstone	21,02	110	30,79	
	Batubara	1,14	110	30,79	
35 m dan 63°	Siltstone	21,02	110	30,79	
	Batubara	1,14	110	30,79	



Gambar 11. Analisis FK Overall Slope pada Titik Koordinat S $00^\circ 43' 27,0''$ /E $100^\circ 47' 11,1''$

Berdasarkan hasil analisis FK diatas diketahui $FK = 0,731 < 1,25$ yang berarti lereng dalam keadaan tidak aman secara keseluruhan.

4.3.1.3 Titik Koordinat S $00^\circ 36' 09,7''$ /E $100^\circ 48' 16,2''$

4.3.1.3.1 Analisis FK Lereng dengan Kondisi Natural

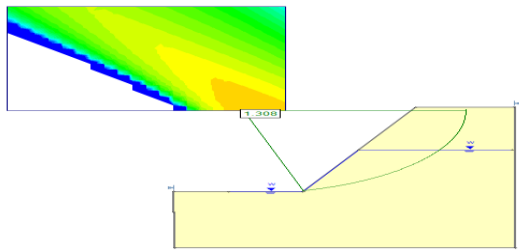
Tinggi lereng (H) : 30 m

Sudut kemiringan lereng (α): 63°

Bobot isi asli (γ nat) : $1,91 \text{ gr/cm}^3 : 18,77 \text{ kN/m}^3$

GSI : 59

Kohesi (c) : 0,92 Mpa = 92 kN/m²
 Sudut geser dalam (θ) : 32,24°

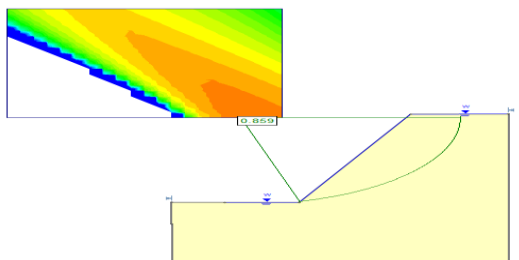


Gambar 12. Analisis FK Lereng dengan Kondisi Natural pada Titik Koordinat S 00°36'09,7"/E 100°48' 16,2"

Berdasarkan analisis dengan menggunakan software slide 6.0 diperoleh nilai faktor keamanan lereng dengan kondisi natural pada koordinat S 00°36'09,7"/E 100°48' 16,2" sebesar 1,308 (FK>1,25) yang berarti lereng dalam keadaan aman.

4.3.1.3.2 Analisis FK Lereng dengan Kondisi Jenuh

Tinggi lereng (H) : 30 m
 Sudut kemiringan lereng (α): 63°
 Bobot isi jenuh (γ dry) : 1,95 gr/cm³ : 19,15 kN/m³
 GSI : 54
 Kohesi (c) : 0,085 Mpa = 85 kN/m³
 Sudut geser dalam (θ) : 30,79°



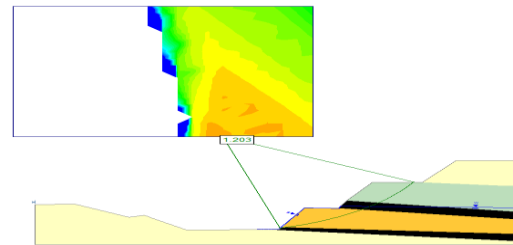
Gambar 13. Analisis FK Lereng dengan Kondisi Jenuh pada Titik Koordinat S 00°36'09,7"/E 100°48' 16,2"

Berdasarkan analisis diperoleh nilai faktor keamanan lereng dengan kondisi jenuh pada koordinat S 00°36'09,7"/E 100°48' 16,2" sebesar 0,859 (FK<1,25) yang berarti lereng dalam keadaan tidak aman.

4.3.1.3.3 Analisis Overall Slope Natural

Tabel 16. Data Input Analisis Kestabilan Lereng Metode Bishop

Tinggi dan Kemiringan Slope	Lapisan Material	Parameter			Warna
		Bobot Isi(kN/m ³)	Kohesi (kN/m ³)	Sudut Geser Dalam	
30 m dan 50°	Siltstone	18,77	92	32,24	
35 m dan 60°	Siltstone	18,77	92	32,24	
	Batubara	1,267	92	32,24	
30 m dan 63°	Siltstone	18,77	92	32,24	
	Batubara	1,267	92	32,24	



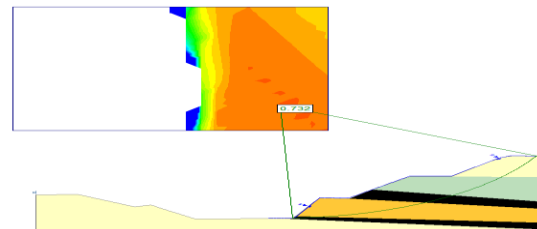
Gambar 14. Analisis FK Overall Slope Natural pada Titik Koordinat S 00°36'09,7"/E 100°48' 16,2"

Berdasarkan hasil analisis FK diatas diketahui FK = 1,203 < 1,25 yang berarti lereng dalam keadaan tidak aman secara keseluruhan.

4.3.1.3.4 Analisis Overall Slope Jenuh

Tabel 17. Data Input Analisis Kestabilan Lereng Metode Bishop

Tinggi dan Kemiringan Slope	Lapisan Material	Parameter			Warna
		Bobot Isi(kN/m ³)	Kohesi (kN/m ³)	Sudut Geser Dalam	
30 m dan 50°	Siltstone	19,15	85	30,79	
35 m dan 60°	Siltstone	19,15	85	30,79	
	Batubara	1,267	85	30,79	
35 m dan 63°	Siltstone	19,15	85	30,79	
	Batubara	1,267	85	30,79	



Gambar 15. Analisis FK Overall Slope Jenuh pada Titik Koordinat S 00°36'09,7"/E 100°48' 16,2"

Berdasarkan hasil analisis FK diatas diketahui FK = 0,732 < 1,25 yang berarti lereng dalam keadaan tidak aman secara keseluruhan.

4.3.2 Analisis Kestabilan Lereng dengan Metoda Grafis Hoek and Bray

4.3.2.1 Titik Koordinat S 00°36'09,3"/ E 100°48'16,3"

4.3.2.1.1 Kondisi Natural

$$\frac{c}{\gamma_{Nat} \times H \times \tan \theta} = \frac{106 \text{ kN/m}^2}{20,39 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 35 \text{ m} \times \tan 31,08^\circ} = 0,25$$

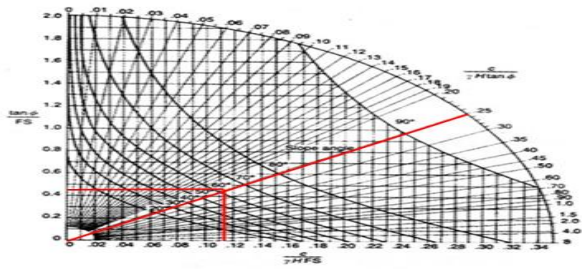
$$\frac{\tan \theta}{F} = 0,45$$

$$F = \frac{\tan 31,08^\circ}{0,45} = 1,33$$

$$\frac{c}{\gamma_H F} = 0,111$$

$$\frac{106 \text{ kN/m}^2}{20,39 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 35 \text{ m} \times F} = 0,111$$

$$F = \frac{106 \text{ kN/m}^2}{79,21 \text{ kN/m}^2} = 1,338$$

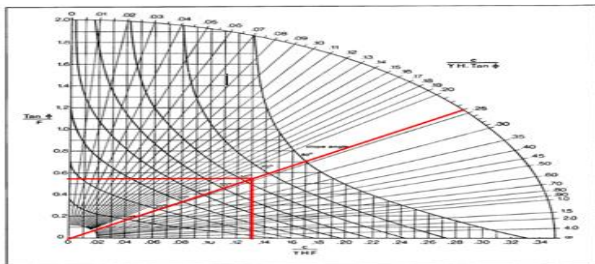


Gambar 16. Chart 3 Kondisi Lereng Natural di Koordinat Titik S 00°36'09,3''/E 100°48'16,3''

Berdasarkan analisis diperoleh nilai faktor keamanan pada nilai kritisnya adalah 1,33 > 1,25 yang berarti lereng dalam kondisi aman.

4.3.2.1.2 Kondisi Jenuh

$$\frac{C}{\gamma \text{ dry } x H x \tan \theta} = \frac{102 \text{ kN/m}^2}{20,93 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} x 35 \text{ m } x \tan 30,50^\circ} = 0,24$$



Gambar 17. Chart 5 Kondisi Lereng Jenuh di Koordinat Titik S 00°36'09,3''/E 100°48'16,3''

$$\frac{\tan \theta}{F} = 0,58 \quad \frac{102 \text{ kN/m}^2}{20,93 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} x 35 \text{ m } x F} = 0,13$$

$$F = \frac{\tan 30,50^\circ}{0,58} = 1,01$$

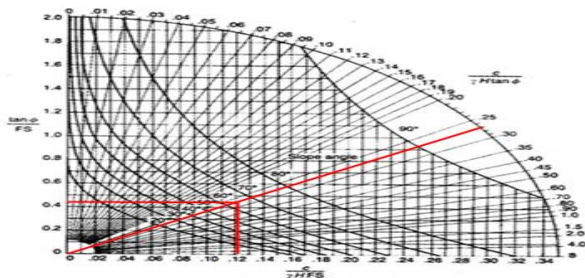
$$\frac{C}{\gamma H F} = 0,13 \quad F = \frac{102 \text{ kN/m}^2}{95,23 \text{ kN/m}^2} = 1,07$$

Berdasarkan analisis pada nilai kritisnya adalah 1,03 < 1,25 yang berarti lereng dalam kondisi tidak aman.

4.3.2.2 Titik Koordinat S 00°43'27,0''/E 100°47'11,1''

4.3.2.2.1 Kondisi Natural

$$\frac{C}{\gamma \text{ Nat } x H x \tan \theta} = \frac{120 \text{ kN/m}^2}{20,51 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} x 35 \text{ m } x \tan 32,24^\circ} = 0,27$$



Gambar 18. Chart 3 Kondisi Lereng Natural di Titik Koordinat S 00°43'27,0''/E 100°47'11,1''

$$\frac{\tan \theta}{F} = 0,45 \quad \frac{120 \text{ kN/m}^2}{20,51 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} x 35 \text{ m } x F} = 0,12$$

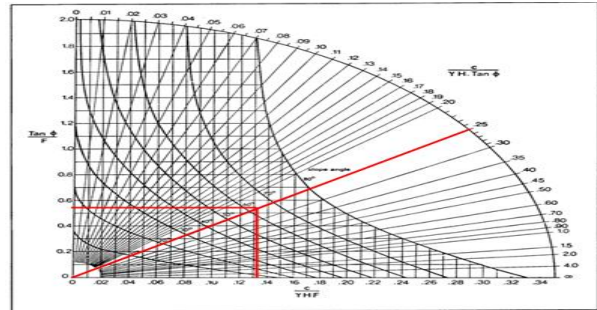
$$F = \frac{\tan 32,24^\circ}{0,45} = 1,4$$

$$\frac{C}{\gamma H F} = 0,12 \quad F = \frac{120 \text{ kN/m}^2}{93,32 \text{ kN/m}^2} = 1,28$$

Berdasarkan analisis diperoleh nilai faktor keamanan pada nilai kritisnya adalah 1,28 > 1,25 yang berarti lereng dalam kondisi tidak aman.

4.3.2.2.2 Kondisi Jenuh

$$\frac{C}{\gamma \text{ dry } x H x \tan \theta} = \frac{110 \text{ kN/m}^2}{21,02 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} x 35 \text{ m } x \tan 30,79^\circ} = 0,25$$



Gambar 19. Chart 5 Kondisi Lereng Jenuh di Titik Koordinat S 00°43'27,0''/E 100°47'11,1''

$$\frac{\tan \theta}{F} = 0,58 \quad \frac{110 \text{ kN/m}^2}{21,02 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} x 35 \text{ m } x F} = 0,132$$

$$F = \frac{\tan 30,79^\circ}{0,58} = 1,02$$

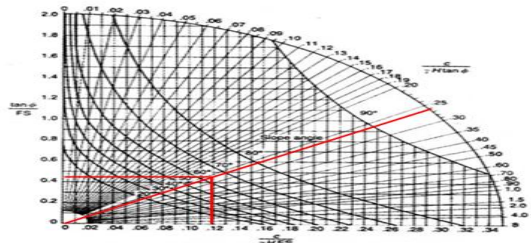
$$\frac{C}{\gamma H F} = 0,132 \quad F = \frac{110 \text{ kN/m}^2}{97,11 \text{ kN/m}^2} = 1,13$$

Berdasarkan analisis diperoleh nilai faktor keamanan dengan pada nilai kritisnya adalah 1,02 < 1,25 yang berarti lereng dalam kondisi tidak aman.

4.3.2.3 Titik Koordinat S 00°36'09,7''/E 100°48'16,2''

4.3.2.3.1 Kondisi Natural

$$\frac{C}{\gamma \text{ Nat } x H x \tan \theta} = \frac{92 \text{ kN/m}^2}{18,77 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} x 30 \text{ m } x \tan 32,24^\circ} = 0,26$$

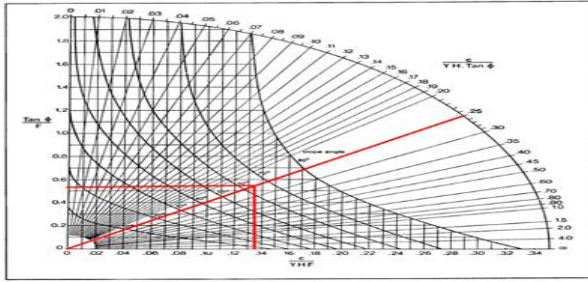


Gambar 20. Chart 3 Kondisi Lereng Natural di Titik Koordinat S 00°36'09,7''/E 100°48'16,2''

Berdasarkan analisis diperoleh nilai faktor keamanan pada nilai kritisnya adalah 1,36 > 1,25 yang berarti lereng dalam kondisi aman.

4.3.2.3.2 Kondisi Jenuh

$$\frac{C}{\gamma \text{ dry } x H x \tan \theta} = \frac{85 \text{ kN/m}^2}{19,15 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} x 30 \text{ m } x \tan 30,79^\circ} = 0,25$$



Gambar 21. Chart 5 Kondisi Lereng Jenuh di Titik Koordinat S 00°36'09,7"/E 100°48' 16,2"

$$\frac{\tan \theta}{F} = 0,53$$

$$F = \frac{\tan 30,79^\circ}{0,53} = 1,12$$

$$\frac{c}{\gamma H F} = 0,139$$

$$F = \frac{85 \text{ kN/m}^2}{19,15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 30 \text{ m} \times F} = 0,139$$

$$F = \frac{85 \text{ kN/m}^2}{79,85 \text{ kN/m}^2} = 1,06$$

Berdasarkan analisis diperoleh nilai faktor keamanan pada nilai kritisnya adalah $1,06 < 1,25$ yang berarti lereng dalam kondisi tidak aman.

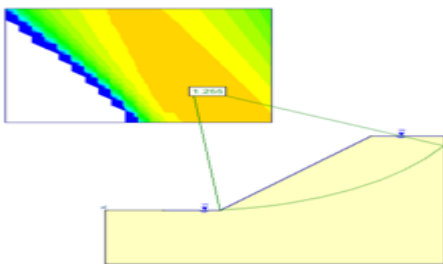
4.4 Modifikasi Geometri Lereng Untuk Meningkatkan Tingkat Kestabilan Lereng

Dari hasil analisis tingkat kestabilan lereng diketahui bahwa lereng memiliki nilai faktor keamanan (FK) < 1,25 pada kondisi lereng natural maupun jenuh. Nilai faktor keamanan (FK) < 1,25 berarti lereng berada pada kondisi tidak aman/kemungkinan terjadinya longsor di sekitar lereng penambangan. Oleh karena itu, sistem penanggulangan yang baik sangat diperlukan untuk dapat mencegah terjadinya kelongsoran pada lereng tambang dengan memanfaatkan data yang ada. Dalam hal ini yang dimaksud dengan penanggulangan yang baik adalah penanggulangan yang dapat dilakukan sedini mungkin dan dapat mengatasi masalah secara tuntas dengan biaya yang relatif murah serta mudah dilakukan.

4.4.1 Modifikasi Faktor Keamanan Lereng dengan Metode Bishop

4.1.1.1 Titik Koordinat S 00°36'09,3"/ E 100°48'16,3"

Kondisi Jenuh
 Tinggi lereng (H) : 31 m
 Sudut kemiringan lereng (α) : 49°

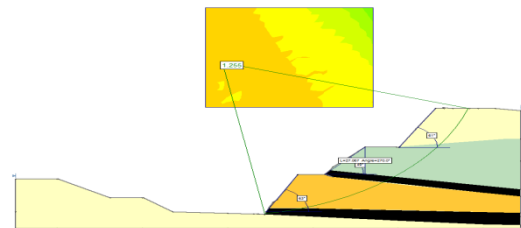


Gambar 22. Modifikasi FK Lereng Jenuh pada Titik Koordinat S 00°36'09,7"/E 100°48' 16,2"

Overall Slope Natural

Tabel 18. Data Input Analisis Modifikasi Kestabilan Lereng Metode Bishop

Tinggi dan Kemiringan Slope	Lapisan Material	Parameter			Warna
		Bobot Isi(kN/m ³)	Kohesi (kN/m ²)	Sudut Geser Dalam	
30 m dan 61°	Siltstone	20,39	102	31,08	
27 m dan 49°	Siltstone	20,39	102	31,08	
	Batubara	1,267	102	31,08	
35 m dan 63°	Siltstone	20,39	102	31,08	
	Batubara	1,267	102	31,08	

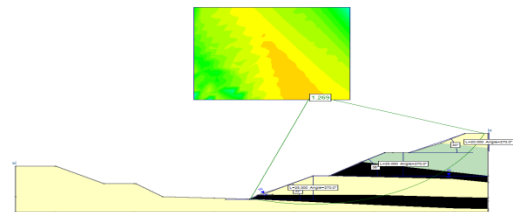


Gambar 23. Modifikasi FK Lereng Keseluruhan Natural pada Titik Koordinat S 00°36'09,7"/E 100°48' 16,2"

Overall Slope Jenuh

Tabel 19. Data Input Analisis Modifikasi Kestabilan Lereng Metode Bishop

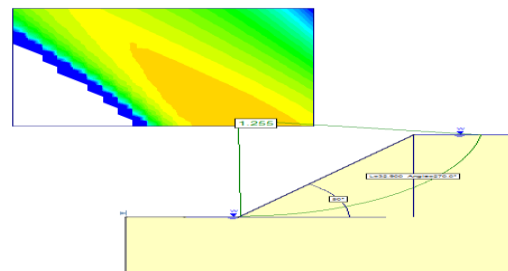
Tinggi dan Kemiringan Slope	Lapisan Material	Parameter			Warna
		Bobot Isi(kN/m ³)	Kohesi (kN/m ²)	Sudut Geser Dalam	
20 m dan 30°	Siltstone	20,39	67	21,45	
25 m dan 36°	Siltstone	20,39	67	21,45	
	Batubara	1,267	67	21,45	
25 m dan 32°	Siltstone	20,39	67	21,45	
	Batubara	1,267	67	21,45	



Gambar 24. Modifikasi FK Lereng Keseluruhan Jenuh pada Titik Koordinat S 00°36'09,7"/E 100°48' 16,2"

4.1.1.2 Titik Koordinat S 00°43'27,0"/E 100°47'11,1"

Kondisi Jenuh
 Tinggi lereng (H) : 33 m
 Sudut kemiringan lereng (α) : 50°

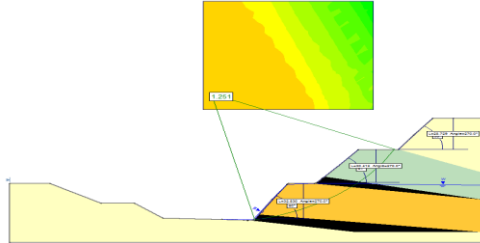


Gambar 25. Modifikasi FK Lereng Jenuh pada Titik Koordinat S 00°43'27,0"/E 100°47'11,1"

Overall Slope Natural

Tabel 20 Data Input Analisis Modifikasi Kestabilan Lereng Metode Bishop

Tinggi dan Kemiringan Slope	Lapisan Material	Parameter			Warna
		Bobot Isi (kN/m ³)	Kohesi (kN/m ²)	Sudut Geser Dalam	
29 m dan 55°	Siltstone	20,51	120	32,24	[Yellow]
30 m dan 51°	Siltstone	20,51	120	32,24	
33 m dan 60°	Batubara	1,14	120	32,24	[Black]
	Siltstone	20,51	120	32,24	
	Batubara	1,14	120	32,24	[Black]

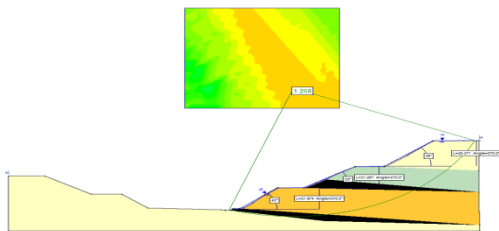


Gambar 26. Modifikasi FK Lereng Keseluruhan Natural pada Titik Koordinat S00°43'27,0"/E 100°47'11,1"

Overall Slope Jenuh

Tabel 20 Data Input Analisis Modifikasi Kestabilan Lereng Metode Bishop

Tinggi dan Kemiringan Slope	Lapisan Material	Parameter			Warna
		Bobot Isi (kN/m ³)	Kohesi (kN/m ²)	Sudut Geser Dalam	
25 m dan 39°	Siltstone	21,02	110	30,79	[Yellow]
21 m dan 33°	Siltstone	21,02	110	30,79	
22 m dan 40°	Batubara	1,14	110	30,79	[Black]
	Siltstone	21,02	110	30,79	
	Batubara	1,14	110	30,79	[Black]

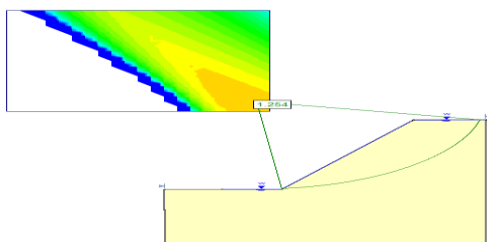


Gambar 27. Modifikasi FK Lereng Keseluruhan Jenuh pada Titik Koordinat S00°43'27,0"/E 100°47'11,1"

4.1.1.3 Titik Koordinat S 00°36'09,7"/E 100°48'16,2"

Kondis Jenuh

Tinggi lereng (H) : 25 m
 Sudut kemiringan lereng (α) : 54°

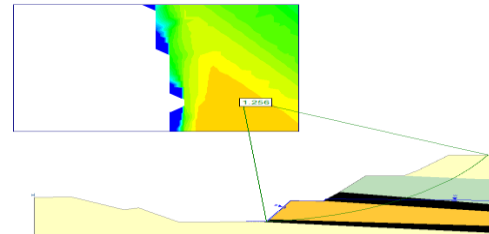


Gambar 28. Modifikasi FK Lereng Jenuh pada Titik Koordinat S 00°36'09,7"/E 100°48'16,2"

Overall Slope Natural

Tabel 21. Data Input Analisis Modifikasi Kestabilan Lereng Metode Bishop

Tinggi dan Kemiringan Slope	Lapisan Material	Parameter			Warna
		Bobot Isi (kN/m ³)	Kohesi (kN/m ²)	Sudut Geser Dalam	
30 m dan 50°	Siltstone	18,77	92	32,24	[Yellow]
29 m dan 45°	Siltstone	18,77	92	32,24	
29 m dan 48°	Batubara	1,26	92	32,24	[Black]
	Siltstone	18,77	92	32,24	
	Batubara	1,26	92	32,24	[Black]

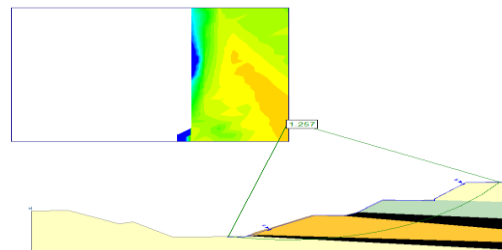


Gambar 29. Modifikasi FK Lereng Keseluruhan Natural pada Titik Koordinat S00°36'09,7"/E100°48'16,2"

Overall Slope Jenuh

Tabel 22. Data Input Analisis Modifikasi Kestabilan Lereng Metode Bishop

Tinggi dan Kemiringan Slope	Lapisan Material	Parameter			Warna
		Bobot Isi (kN/m ³)	Kohesi (kN/m ²)	Sudut Geser Dalam	
23 m dan 49°	Siltstone	19,15	85	30,79	[Yellow]
20 m dan 49°	Siltstone	19,15	85	30,79	
25 m dan 33°	Batubara	1,267	85	30,79	[Black]
	Siltstone	19,15	85	30,79	
	Batubara	1,267	85	30,79	[Black]



Gambar 30. Modifikasi FK Lereng Keseluruhan Jenuh pada Titik Koordinat S00°36'09,7"/E100°48'16,2"

4.4.2 Modifikasi Faktor Keamanan Lereng dengan Metoda Grafis Hoek and Bray

4.4.2.1 Titik Koordinat S00°36'09,3"/E 100°48'16,3"

Kondisi Jenuh

Tinggi Lereng : 28 m
 Kemiringan Lereng (α) : 30°

$$\frac{C}{\gamma_{dry} \times H \times \tan \theta} = \frac{102 \text{ KN/m}^2}{20,93 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 30 \text{ m} \times \tan 30,50^\circ} = 0,28$$

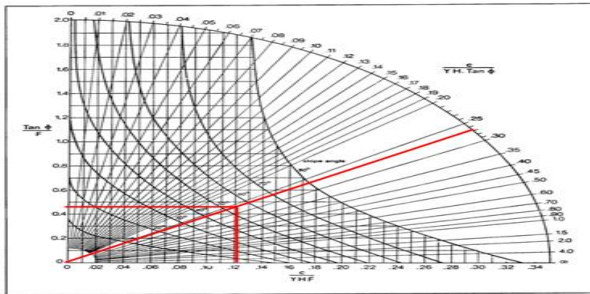
$$\frac{\tan \theta}{F} = 0,46$$

$$F = \frac{\tan 30,50^\circ}{0,46} = 1,28$$

$$\frac{C}{\gamma H F} = 0,121$$

$$F = \frac{102 \text{ kN/m}^2}{20,93 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 30 \text{ m} \times F} = 0,121$$

$$F = \frac{102 \text{ kN/m}^2}{95,23 \text{ kN/m}^2} = 1,34$$



Gambar 31. Chart 5 Modifikasi Kondisi Lereng Jenuh di Koordinat Titik S 00°36'09,3''/ E 100°48'16,3''

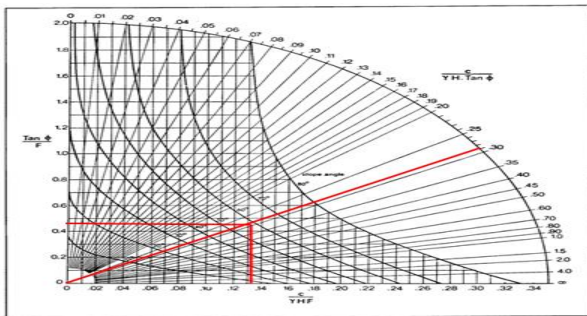
4.4.2.2 Titik Koordinat S00°43'27,0''/E100°47'11,1''

Kondisi Jenuh

Tinggi Lereng : 28 m

Kemiringan Lereng (α) : 35°

$$\frac{C}{\gamma \text{ dry } x H x \tan \theta} = \frac{110 \text{ kN/m}^2}{21,02 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 30 \text{ m} \times \tan 30,79^\circ} = 0,29$$



Gambar 32. Chart 5 Kondisi Lereng Jenuh di Titik Koordinat S 00°43'27,0''/E 100°47'11,1''

$$\frac{\tan \theta}{F} = 0,47$$

$$F = \frac{\tan 30,79^\circ}{0,47} = 1,255$$

$$\frac{C}{\gamma H F} = 0,131$$

$$F = \frac{110 \text{ kN/m}^2}{82,60 \text{ kN/m}^2} = 1,33$$

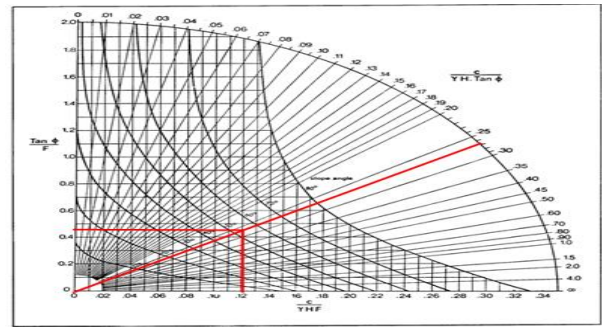
4.4.3.3 Titik Koordinat S00°36'09,7''/E100°48'16,2''

Kondisi Jenuh

Tinggi Lereng : 28 m

Kemiringan Lereng (α) : 50°

$$\frac{C}{\gamma \text{ dry } x H x \tan \theta} = \frac{85 \text{ kN/m}^2}{19,15 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 28 \text{ m} \times \tan 30,79^\circ} = 0,27$$



Gambar 33. Chart 5 Modifikasi Kondisi Lereng Jenuh di Titik Koordinat S 00°36'09,7''/E100°48'16,2''

Tabel 23. Perbandingan Geometri Lereng Berdasarkan Hasil Penelitian dan Hasil Modifikasi Geometri Lereng

No	Analisis Slope	Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng	Software Slide 6.0		Metoda Grafis Hoek and Bray	
				FK dengan Kondisi Natural	FK dengan Kondisi Jenuh	FK dengan Kondisi Natural	FK dengan Kondisi Jenuh
Hasil Penelitian							
1	single	35	63°	1,280	0,844	1,33	1,03
	Overall	30 35 35	50 60 63	1,225	0,888		
2	Single	35	63°	1,323	0,905	1,28	1,02
	Overall	30 35 35	50 60 63	1,203	0,731		
3	Single	30	63°	1,308	0,859	1,36	1,06
	Overall	30 35 30	50 60 63	1,203	0,73		
Hasil Modifikasi							
1	Single Natural	35	63	1,280		1,33	
	Single Jenuh	31	49		1,255		1,28
	Overall Natural	30 25 32	41 30 59	1,251			
	Overall jenuh	20 25 25	30 36 32	1,269			
2	Single Natural	35	63	1,323		1,28	
	Single Jenuh	33	50		1,255		1,255
	Overall Natural	29 30 33	55 51 60	1,251			
	Overall Jenuh	25 21 22	39 33 40	1,258			
3	Single natural	30	63	1,308		1,36	
	Single jenuh	25	54		1,254		1,267
	Overall natural	29 31 27	47 52 62	1,256			
	Overall jenuh	23 20 25	49 49 33	1,257			

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

- Karakterisasi massa batuan pada 3 titik lereng pengamatan berdasarkan hasil analisis Rock Quality Designation (RQD), Rock Mass Rating (RMR) dan Slope Mass Rating (SMR) adalah jenis batuan fair rock-good rock.
- Geometri lereng aktual daerah pengamatan, yaitu pada koordinat S00°36'09,3''/ E100°48'16,3'' (Section A-A') dengan tinggi lereng 35 m dan kemiringan lereng 63°, titik koordinat S00°43'27,0''/E100°47'11,1'' (Section B-B') tinggi lereng 35 m dan kemiringan 63° serta titik koordinat S00°36'09,7''/E 100°48'16,2'' (Section C-C')

- dengan tinggi lereng 30 m dan kemiringan lereng 63° .
3. Berdasarkan analisis FK lereng dengan metoda Bishop pada software Slide 6.0 dan metoda grafis Hoek and Bray di dapat faktor keamanan lereng untuk masing-masing titik pengamatan sebagai berikut :
 - a. Section A-A' dengan tinggi lereng 35 m dan sudut kemiringan lerengan 63° dalam kondisi natural dengan menggunakan metode bishop diperoleh FK = 1,280 dan dalam keadaan jenuh FK = 0,844. Sedangkan dengan metode hoek and bray diperoleh FK lereng dalam kondisi natural sebesar 1,33 dan dalam keadaan jenuh FK = 1,03. Untuk overall slope natural diperoleh FK = 1,225 sedangkan dalam keadaan jenuh FK = 0,888.
 - b. Section B-B' dengan tinggi lereng 35 m dan sudut kemiringan lerengan 63° dalam kondisi natural dengan menggunakan metode bishop diperoleh FK = 1,323 dan dalam keadaan jenuh FK = 0,905. Sedangkan dengan metode hoek and bray diperoleh FK lereng dalam kondisi natural sebesar 1,28 dan dalam keadaan jenuh FK = 1,02. Untuk overall slope diperoleh FK = 1,203 sedangkan dalam keadaan jenuh FK = 0,731.
 - c. Section C-C' dengan tinggi lereng 30 m dan sudut kemiringan lerengan 63° dalam kondisi natural dengan menggunakan metode bishop diperoleh FK = 1,308 dan dalam keadaan jenuh FK = 0,859. Sedangkan dengan metode hoek and bray diperoleh FK lereng dalam kondisi natural sebesar 1,36 dan dalam keadaan jenuh FK = 1,06. Untuk overall slope diperoleh FK = 1,203 sedangkan dalam keadaan jenuh FK = 0,732.

Jadi, dari ketiga lokasi penelitian diperoleh $FK < 1,25$ dalam keadaan jenuh yang berarti lereng dalam keadaan tidak aman.
 4. Hasil analisis kestabilan lereng hasil modifikasi untuk mendapatkan $FK > 1,25$ untuk semua titik pengamatan adalah sebagai berikut :
 - a. Section A-A'
 - 1) Metode bishop : Tinggi lereng 31 m dan sudut kemiringan lerengan 49° diperoleh FK = 1,25 dalam keadaan jenuh. Untuk overall slope natural diperoleh FK = 1,256 dan dalam keadaan jenuh FK = 1,269.
 - 2) Metode hoek and bray : Tinggi lereng 30 m dan sudut kemiringan lerengan 55° diperoleh FK = 1,28 dalam keadaan jenuh.
 - b. Section B-B'
 - 1) Metode bishop : Tinggi lereng 33 m dan sudut kemiringan lerengan 50° diperoleh FK = 1,25 dalam keadaan jenuh. Untuk overall slope natural diperoleh FK = 1,251 dan dalam keadaan jenuh FK = 1,258.
 - 2) Metode hoek and bray : Tinggi lereng 30 m dan sudut kemiringan lerengan 59° diperoleh FK = 1,255 dalam keadaan jenuh.

- c. Section C-C'
 - 1) Metode bishop : Tinggi lereng 25 m dan sudut kemiringan lerengan 54° diperoleh FK = 1,254 dalam keadaan jenuh. Untuk overall slope natural diperoleh FK = 1,256 dan dalam keadaan jenuh FK = 1,257.
 - 2) Metode hoek and bray : Dalam keadaan jenuh dengan tinggi lereng 28 m dan kemiringan lereng 54° diperoleh FK = 1,267

5.2 Saran

1. Perlu dilakukannya perancangan geometri lereng yang baik sebelum kegiatan penambangan dilakukan yang sesuai dengan sifat fisik dan mekanik batuan pada lereng tersebut, serta kontrol geoteknik terhadap aktivitas lereng, sehingga nantinya apabila ada potensi bahaya dapat diatasi sedini mungkin.
2. Perlunya ketelitian pada saat melakukan pengujian sampel di laboratorium agar hasil yang didapatkan lebih akurat.
3. Ketika lereng dalam keadaan jenuh perlu dilakukan upaya/solusi untuk menjaga lereng dalam keadaan aman seperti dengan membuat paritan sebagai aliran air atau melakukan modifikasi pada geometri lereng tersebut.
4. Langkah pemeliharaan, pemantauan, dan penanganan pada lereng tambang sangat diperlukan untuk menjaga agar lereng tetap dalam kondisi aman.

Daftar Pustaka

- [1] Arif, I. I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Gramedia Jakarta : Pustaka Utama.
- [2] Rusydy, I., Al-Huda, N., Jamaluddin, K., Sundary, D., & Nugraha, G. S. (2017). Analisis Kestabilan Lereng Batu di Jalan Raya Lhoknga km 17, 8 Kabupaten Aceh Besar. *RISSET Geologi dan Pertambangan*, 27(2).
- [3] Setiawan, B., & Samudera, T. (2018). Analisis kestabilan lereng dengan menggunakan metoda RMR, SMR dan kesetimbangan batas pada tambang terbuka di Kabupaten Belitung Timur.
- [4] Syaeful, H., & Kamajati, D. (2015). Analisis Karakteristik Massa Batuan di Sektor Lemajung, Kalan, Kalimantan Barat. *EKSPLORIUM*, 36(1), 17-30.
- [5] Santoso, E., Hakim, R. N., & Mustofa, A. (2016). Slope Stability Analysis Based On Rock Mass Characterization In Open Pit Mine Method. *POROS TEKNIK*, 8(1), 10-15.
- [6] Andah, M. T., & Toha, D. S. 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. *Jurnal Pertambangan ISSN*, 2549-1008.

- [7] Syafar, Z. (2017). Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop pada Penambangan Nikel. *Jurnal Geomine*, 4(3).
- [8] Yusuf, A. M. (2016). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif & penelitian gabungan*. Prenada Media.
- [9] Rai, Made Astawa & Suseno Kramadibrata. (2015). *Mekanika Batuan*. Bandung : Gramedia.
- [10] Manik, V. A., Ningrum, W. J., Khoirullah, N., SOPHIAN, R. I., & Zakaria, Z. (2019). Correlation Between Overall Slope and Slope Stability of Highwall In Pit Tunggal, Boorneo. *Journal of Geological Sciences and Applied Geology*, 3(1).
- [11] Anonim. (2014). *Buku Panduan Tugas Akhir (TA) Jurusan Teknik Pertambangan*. Padang. Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.