

Analisis Kestabilan Lereng Tambang Batubara Menggunakan Metode *Rock Mass Rating (RMR)*, *Slope Mass Rating (SMR)*, dan Kesetimbangan Batas Morgenstern-Price Wilayah *Low Wall Pit Y* PT. Bina Sarana Sukses, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan

Najib^{1*}, Nanda Putri Belia¹, Ahmad Syauqi Hidayatillah¹, Kevin Setyo Adi Nugroho²

¹ Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

² PT. Bina Sarana Sukses,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Abstrak

Penambangan terbuka erat kaitannya dengan kegiatan penggalian dan penimbunan yang menyebabkan ketidakstabilan area lereng tambang. Analisis kestabilan lereng diperlukan untuk meminimalisir keruntuhan lereng yang dapat menyebabkan kerugian. Penelitian kestabilan lereng dilakukan pada wilayah *low wall pit Y* PT. Bina Sarana Sukses site MAS Kabupaten Lahat, dengan tujuan mengetahui kelas massa batuan, nilai faktor keamanan, dan rekomendasi yang diberikan untuk mencegah longsor. Metode yang digunakan adalah metode RMR dan SMR untuk mengetahui potensi kelongsoran dan metode kesetimbangan batas morgenstern-price untuk mengetahui kestabilan lerengnya. Berdasarkan metode RMR dan SMR, Blok B2 memiliki potensi longsor 20% dengan jenis longSORan block joint, sedangkan Blok B4 dan B5 memiliki potensi longSORan 40% dengan jenis longSORan bidang atau baji. Lereng kondisi jenuh memiliki nilai Faktor Keamanan yang lebih kecil dibandingkan kondisi kering. Pada desain akhir tahun 2022 saat jenuh, Blok B4 dan B5 memiliki FK kritis dan tidak aman. Rekomendasi diberikan untuk menjaga kestabilan lereng. Dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu acuan dalam analisis kestabilan lereng baik lereng buatan maupun alami.

Kata kunci: kestabilan lereng; SMR; RMR; kesetimbangan batas; Pit Y

Abstract

[Title: Coal Mine Slope Stability Analysis Using the Rock Mass Rating (RMR), Slope Mass Rating (SMR) Method, and Morgenstern-Price Limit Equilibrium for the Low Wall Pit Area Y PT. Bina Sarana Sukses, Lahat Regency, South Sumatra] area of PT. Bina Sarana Sukses site MAS in Lahat Regency. This research aimed to analyze the rock mass classifications, determine the safety factor values, and provide recommendations for mitigating landslide occurrences. The techniques employed in this study include the RMR and SMR methods for assessing the susceptibility of landslides, collectively with the Morgenstern-price limit equilibrium approach for estimating the stability of the slope. Based on the rock mass rating (RMR) and slope mass rating (SMR) analysis, Block B2 exhibits a 20% likelihood of experiencing landslides, specifically due to block joint characteristics. On the other hand, Blocks B4 and B5 show a 40% potential for landslides, primarily associated with flat or wedge-type block joints. The force produced by friction under saturated conditions is comparatively lower than that observed under dry conditions. During the final design phase in 2022, it was observed that Blocks B4 and B5 exhibit critical and dangerous safety factors when saturated. Hence, the proposal has been suggested to enhance slope stability. Further, it is recommended that geotechnical piles be monitored periodically. We hope this research results as a valuable resource for evaluating and assessing slope stability, including artificial and natural slopes.

^{*}) Penulis Korespondensi.

E-mail: najib@ft.undip.ac.id

Keywords: slope stability; SMR; RMR; limit equilibrium; Pit Y

1. Pendahuluan

Sistem penambangan *open pit* (tambang terbuka) merupakan sistem penambangan yang semua aktivitas penambangan dilakukan di atas permukaan bumi dan tempat kerja yang bersentuhan langsung dengan udara luar (Putri, 2020). Pembuatan desain tambang memerlukan analisis kestabilan lereng. Lereng adalah bentuk dari permukaan bumi yang memiliki sudut kemiringan terhadap bidang horizontal (Fadillah & Heriyadi, 2021). Area lereng tambang terbagi menjadi tiga, yaitu *area high wall*, *low wall*, dan *side wall* (Sepriadi & Prastowo, 2019). Area *high wall* merupakan sisi bukaan tambang yang memiliki sudut kemiringan tegak lurus dengan perlapisan batubara, sedangkan area *low wall* merupakan sisi bukaan tambang yang memiliki sudut kemiringan searah dengan perlapisan batubara, dan *side wall* adalah sisi samping bukaan tambang yang umumnya tegak lurus dengan *high wall* dan *low wall*.

Kestabilan lereng mempengaruhi optimal atau tidaknya kegiatan penambangan serta keselamatan dari alat dan manusia (pekerja). Kestabilan lereng merupakan ketahanan dari blok tanah atau batuan yang berada di atas lereng terhadap runtuh dan gelinciran ((Anaperta, 2021). Desain kestabilan lereng merupakan upaya untuk menjaga keseimbangan lereng, semakin landai maka lereng akan semakin stabil, namun tingkat produksi rendah, begitupun sebaliknya (Azizi, 2012). Kestabilan lereng dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti geometri lereng, struktur geologi, kondisi airtanah, sifat fisik dan mekanik tanah dan batuan. Selain itu, gaya luar seperti karena adanya peledakan, gempa bumi, ataupun pemakaian dari alat-alat berat yang menyebabkan adanya getaran mempengaruhi kestabilan lereng (Paramesywara & Setiawan, 2018). Seluruh faktor tersebut berperan penting dalam penentuan tingkat kemiringan dan kelandaian dari suatu kestabilan lereng. Oleh karena itu, analisis terhadap lereng tambang diperlukan karena dapat berpengaruh terhadap rancangan dari kegiatan penggalian dan penimbunan (Bria & Isjudarto, 2017). Lereng yang termasuk ke dalam kategori tidak aman perlu dilakukan rekayasa lereng seperti memperkecil sudut lereng atau mengatur pola drainase (Zakaria et al., 2012).

Analisis kelas massa batuan dapat menggunakan metode *Rock Mass Rating* (RMR) yaitu klasifikasi menggunakan pembobotan dari massa batuan yang didasari oleh sifat geokemanik (Bieniawski, 1989) dan *Slope mass rating* (SMR) yang merupakan modifikasi dari RMR yang dipopulerkan oleh Romana (1985). Metode untuk analisis kestabilan lereng dapat menggunakan kesetimbangan batas yang menggunakan pendekatan nilai faktor keamanan. Nilai faktor keamanan merupakan perbandingan dari gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan blok batuan atau tanah yang ada pada lereng (Ali et al., 2017).

PT. Bina Sarana Sukses merupakan salah satu perusahaan kontraktor yang menyediakan jasa pertambangan dan persewaan alat yang pada saat ini melakukan kegiatan penambangan pada site milik PT Muara Alam Sejahtera (PT, MAS) di wilayah Kecamatan Merapi, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan. Berdasarkan dari data patok monitoring gerakan tanah milik PT Bina Sarana Sukses daerah *low wall pit* Y (Gambar 1.1), diketahui adanya pergerakan rata-rata 2,7 cm di bulan Oktober 2022 (Gambar 1) dan adanya material deformasi di beberapa titik. Oleh karena itu, diperlukan analisis potensi kelongsoran massa batuan dan kestabilan lereng tambang daerah penelitian dengan menggunakan metode RMR, SMR dan analisis kestabilan lereng menggunakan nilai faktor keamanan daerah *low wall pit* Y. Hasil analisis dapat digunakan untuk mencegah kemungkinan ketidakstabilan lereng dari tambang pit Y daerah Low wall PT Bina Sarana Sukses dan menjadi salah satu referensi dalam upaya menjaga kestabilan lereng buatan.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi dan Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Penelitian yang dilakukan terletak pada wilayah *low wall pit* Y PT. Bina Sarana Sukses site PT. Muara Alam Sejahtera yang terletak di kecamatan Merapi, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan. Pengambilan data primer yaitu berupa data kekar di lapangan dilakukan pada blok B2, blok B4, dan blok B5 (Gambar 2).

Lokasi daerah penelitian yaitu wilayah Low wall pit Y Blok B2, B4, dan B5 PT. Bina Sarana Sukses termasuk ke dalam formasi muara enim yang berumur Miosen hingga Pliosen awal dan dikenal sebagai salah satu formasi pembawa batubara (Gafoer et al., 2007).

Penelitian dilakukan dengan menggunakan tiga metode yaitu metode RMR, SMR, dan *morgenstern-price*. Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data primer dan data sekunder. Data primer terdiri atas data diskontinuitas dan kondisi lereng penelitian. Data sekunder berupa data litologi dan data material properties yang berasal dari PT Bina Sarana Sukses. Selanjutnya, dilakukan perhitungan dan analisis



Gambar 1. Grafik pergerakan patok monitoring geoteknik Daerah Lowa wall pit Y PT Bina Sarana Sukses Bulan Oktober 2022.

menggunakan metode RMR untuk didapatkan nilai *RMR basic*. Hasil perhitungan tersebut digunakan untuk analisis SMR agar diperoleh kualitas massa batuan untuk diketahui persentase kelongsoran dan tipe longsor yang dapat terjadi.

Analisis selanjutnya yaitu analisis faktor keamanan (FK) untuk mengetahui stabilitas lereng penelitian. Nilai FK diperoleh dengan menggunakan metode kesetimbangan batas morgenstern-price dan interpretasi bidang gelincir menggunakan software slide 6.0. Dari hasil analisis, dijadikan sebagai dasar dalam memberikan rekomendasi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Litologi daerah penelitian

Daerah penelitian yang terletak pada blok B2, B4, dan B5 diketahui tersusun atas litologi dari yang tertua yaitu satuan litologi batulempung sisipan batupasir, satuan litologi batubara, satuan litologi batupasir, satuan litologi batulempung (Gambar 3).

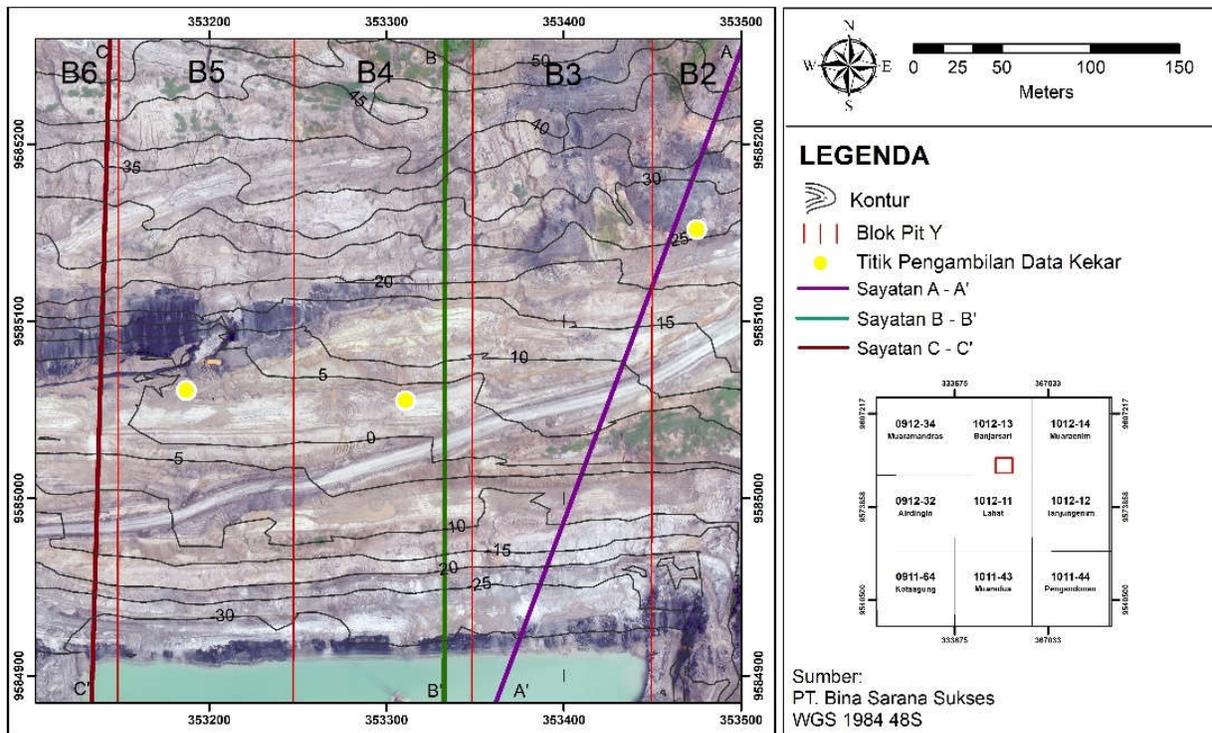
Batulempung sisipan batupasir didominasi oleh oleh batulempung berwarna abu-abu kehitaman, ukuran butir <1/256 mm, dan batupasir coklat kemerahan dengan tingkat kekerasan yang rendah dan pelapukan tinggi, ukuran butir pasir halus-pasir sedang, -subrounded, sortasi baik, kemas tertutup, porositas baik (Nafian & Rizal, 2021) memiliki ketebalan mencapai 59

meter. Litologi batubara memiliki warna hitam sedikit kusam hingga pekat, mudah pecah, cleat, dan tingkat pelapukan yang tinggi, memiliki ketebalan mencapai 11 meter. Litologi batupasir memiliki warna coklat kemerahan dengan tingkat pelapukan sedang hingga tinggi, ukuran butir pasir sedang – halus, sortasi baik, dan porositas baik. Litologi batulempung memiliki warna hitam kecoklatan dengan tingkat pelapukan tinggi dan mudah hancur, ukuran butir <1/256 mm, dan pecahan konkoidal (Nafian & Rizal, 2021).

Pada penelitian ini, data-data material properties menggunakan data sekunder yang diperoleh berdasarkan dari data perusahaan yaitu menggunakan hasil data pengeboran yang telah dilakukan pada tahun 2019 oleh PT Muara Alam Sejahtera yang merupakan owner dari PT Bina Sarana Sukses (Tabel 1). Material properties dibedakan berdasarkan jenis litologi dan sifat keteknikan berupa berat isi, kohesi, sudut geser dalam, dan UCS yang diperoleh dari hasil uji laboratorium. Berdasarkan dari hasil analisis litologi dan sifat keteknikan yang telah diperoleh, kemudian diberikan simbol warna yang berbeda. Pengambilan data kekar yang dilakukan terletak pada material 16 yang merupakan litologi batupasir dan material 14 yang merupakan litologi batubara.

3.2 Perhitungan Rock Mass Rating (RMR)

Analisis RMR menggunakan metode *scanline*



Gambar 1. Peta lokasi low wall Pit Y Blok B2, B4 dan B5 PT Bina Sarana Sukses.

Tabel 1. Material properties low wall Pit Y PT Bina Sarana Sukses (PT. Muara Alam Sejahtera, 2019)

Nama Material	Warna	Berat Isi (kN/m ³)	Kohesi (kN/m ²)	Sudut Geser Dalam (°)	UCS (kPa)
Material 1 batulempung		18.1	98	15.56	1050
Material 2 batubara Seam C		13	300	25	941
Material 3 batulempung		18.1	45	24.63	1050
Material 4 batulempung		17.6	42	22.09	1310
Material 5 batupasir		15.5	135	43.62	630
Material 6 batulempung		17.2	41	22.09	1270
Material 7 batupasir		18.8	131	50.21	724
Material 8 batulempung		17.2	57	24.6	1330
Material 9 batupasir		17.4	55	23.26	1600
Material 10 lempung		17.2	41	22.09	1270
Material 11 batulanau		17.2	36	18.31	1230
Material 12 batubara		13	300	25	941
Material 13 batulempung		18.1	53	24.63	1230
Material 14 batubara Seam B2		13	300	25	941
Material 15 batulempung		18.1	50	27.94	1050
Material 16 batupasir		17.5	51	24.82	1360
Material 19 batulempung		18.1	45	24.63	1050
Material 20 batubara seam B1		13	300	25	941
Material 21 batupasir		16.9	51	24.82	1360
Material 22 batubara seam A2		13	300	25	941
Material 23 batulempung		17.2	41	22.09	1270
Material 24 batubara seam A1		13	300	25	941
Material Terdeformasi		20	20	12	50
Mat 47 SS Base SLd		17.5	20	17	54

pada 3 titik sekaligus sebagai lokasi pengambilan data kekar di lapangan yaitu blok B2, blok B4, dan blok B5 dengan menyesuaikan kondisi aktual dan keterdapatannya kekar di lapangan (Tabel 2 dan Gambar 2), sehingga dalam penarikan scanline antar titik memiliki panjang yang berbeda. Perhitungan nilai RMR diperoleh dengan menjumlahkan rating dari lima parameter RMR yaitu nilai kuat tekan batuan utuh (UCS), spasi diskontinuitas, RQD, dan kondisi airtanah. Semakin tinggi nilai (rating) RMR nya, maka semakin baik kualitas batuan nya (Bieniawski, 1989).

3.2.1 Kuat Tekan Batuan Utuh (UCS)

Penentuan nilai kuat tekan batuan utuh pada daerah penelitian dilakukan dengan menggunakan hasil data bor dari owner PT. Bina Sarana Sukses (2019). Dari hasil data bor tersebut, data kekar blok B2 dan blok B4 yang diperoleh berada pada material 16 litologi batupasir UCS sebesar 1360 kN/m², dan untuk data kekar blok B5 berada pada material 14 litologi batubara memiliki nilai UCS 941 kN/m². Blok B2 dan B4

memiliki nilai (rating) 1 dan blok B5 memiliki nilai (rating) 0 (Tabel 3) (Bieniawski, 1989).

3.2.2 Spasi Diskontinuitas

Jarak pada kekar sebenarnya pada daerah penelitian yaitu blok B2, blok B4, dan blok B5 diambil secara langsung di lapangan (Gambar 3) untuk dilakukan perhitungan dan koreksi berdasarkan Kramadibrata (1996). Blok B2 memiliki spasi diskontinuitas sebesar 0.9 meter dan termasuk ke dalam kategori spasi kekar yang lebar sehingga diberikan nilai (rating) 15, sedangkan blok B4 dan B5 memiliki spasi diskontinuitas 0.1 meter, dan 0.07 meter dan termasuk ke dalam kategori spasi kekar yang rapat sehingga

Tabel 2. Lokasi pengambilan data primer

Lokasi Penelitian	Litologi
BLOK B2	Batupasir
BLOK B4	Batupasir
BLOK B5	Batubara

diberikan nilai (rating) 8 (Tabel 3) (Bieniawski, 1989).

3.2.3 Rock Quality Designation (RQD)

Perhitungan nilai RQD dilakukan dengan menggunakan metode tidak langsung yang dipopulerkan oleh Priest & Hudson(1976).

Blok B2

$$RQD = \left[\frac{100e}{(2.72)^{0.1\lambda}} \right]^{(0.1\lambda+1)}$$

$$RQD = \left[\frac{100(2.72)}{(2.72)^{0.1(0.9)}} \right]^{(0.1(0.9)+1)}$$

$$RQD = 99.5$$

Blok B4

$$RQD = \left[\frac{100e}{(2.72)^{0.1\lambda}} \right]^{(0.1\lambda+1)}$$

$$RQD = \left[\frac{100(2.72)}{(2.72)^{0.1(0.1)}} \right]^{(0.1(0.1)+1)}$$

$$RQD = 74.6$$

Blok B5

$$RQD = \left[\frac{100e}{(2.72)^{0.1\lambda}} \right]^{(0.1\lambda+1)}$$

$$RQD = \left[\frac{100(2.72)}{(2.72)^{0.1(0.07)}} \right]^{(0.1(0.07)+1)}$$

$$RQD = 61.4$$

Berdasarkan Bieniawski (1989), nilai RQD Blok B2 memiliki nilai RQD 99.5 sehingga termasuk dalam kategori kualitas batuan sangat baik, oleh karena itu diberikan rating 20, sedangkan pada Blok B4 dan B5 memiliki nilai RQD 74.6 dan 61.4 sehingga termasuk ke dalam kategori kualitas batuan sedang, oleh karena itu diberikan rating 13 (Tabel 3).

3.2.4 Kondisi Diskontinuitas

Kondisi diskontinuitas dianalisis langsung di lapangan dan diperoleh hasil sebagai berikut ini: Blok B2 memiliki karakteristik rata-rata kondisi diskontinuitas yaitu persistensi <1 mm, celah kekar 1-5 mm, kekasaran kasar, tidak ada pengisi pada kekar, dan tingkat pelapukan yang tinggi. Blok B4 memiliki karakteristik rata-rata kondisi diskontinuitas yaitu persistensi <1 m, celah kekar 1-5 mm, kekasaran kasar, tidak ada pengisi pada kekar, dan tingkat pelapukan

yang sedang. Blok B5 memiliki karakteristik rata-rata kondisi diskontinuitas yaitu persistensi <1 m, celah kekar 0.1-1 mm, kekasaran sedikit kasar, tidak ada pengisi pada kekar, dan tingkat pelapukan yang sedang. Berdasarkan (Bieniawski, 1989), nilai kondisi diskontinuitas Blok B2 memiliki rating 19, Blok B4 18, dan Blok B5 22 (Tabel 3).

3.2.5 Kondisi Airtanah

Pada daerah penelitian tidak dijumpai adanya rembesan air pada batuan sehingga dapat diinterpretasikan bahwa kondisi airtanah daerah penelitian tergolong kering dan memiliki rating 15 (Bieniawski, 1989). Dari kelima parameter tersebut kemudian dilakukan penjumlahan untuk didapatkan nilai pembobotan total (Tabel 3). Berdasarkan nilai RMR, blok B2 termasuk ke dalam kelas II (*good rock*), sedangkan untuk blok B4 dan blok B5 termasuk ke dalam kelas III (*fair rock* (Tabel 4)).

3.3 Perhitungan SMR (Slope Mass Rating)

Analisis *slope mass rating* (SMR) dilakukan dengan menggunakan bantuan software dips 6.0 dengan tujuan mengetahui potensi jenis longsoran dan persentase probabilitas longsoran daerah penelitian. Pada software dips 6.0, dilakukan analisis pada semua jenis longsoran yaitu *planar failure*, *wedge failure*, dan *toppling failure*, hasil dari pengolahan tersebut kemudian dipilih jenis longsoran yang memiliki persentase tertinggi berdasarkan potensi kelongsoran pada *critical zone* untuk dijadikan dasar dalam penentuan pemilihan rumus SMR yang akan digunakan.

Nilai orientasi lereng, kemiringan lereng, dan sudut geser dalam antara Blok B2, Blok B4, dan Blok B5 adalah sama yaitu memiliki orientasi lereng N70 E, kemiringan lereng 40 , dan sudut geser dalam 25 . Hasil dari analisis kinematika digunakan untuk menentukan

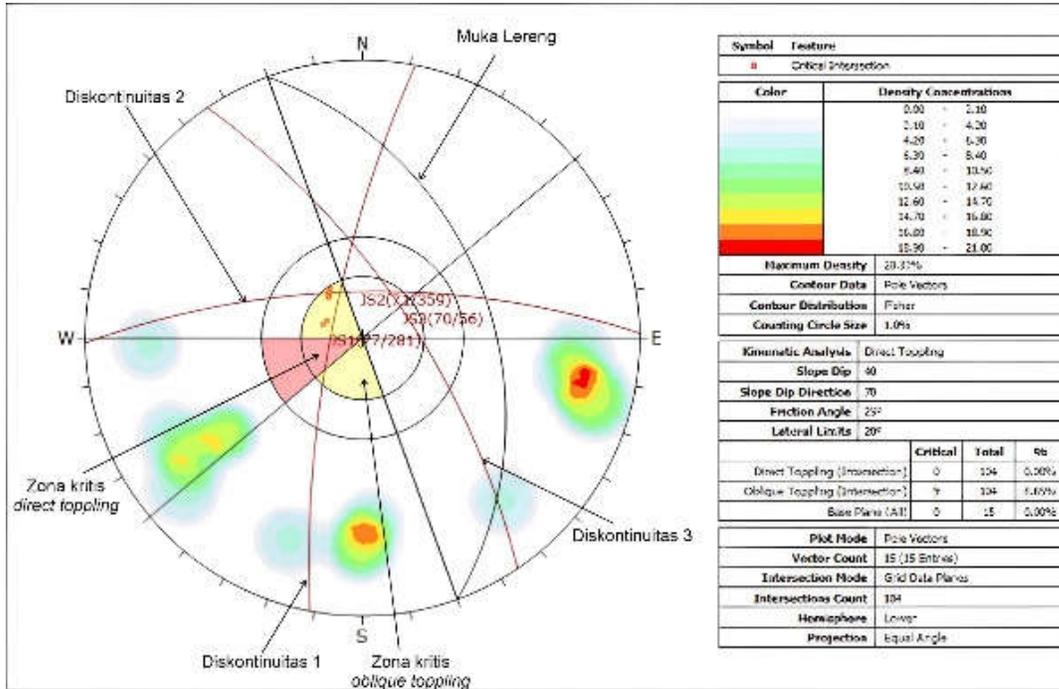


Gambar 2. Jarak antar kekar (a) litologi batupasir blok B2, (b) batupasir blok B4, (c) batubara blok B5

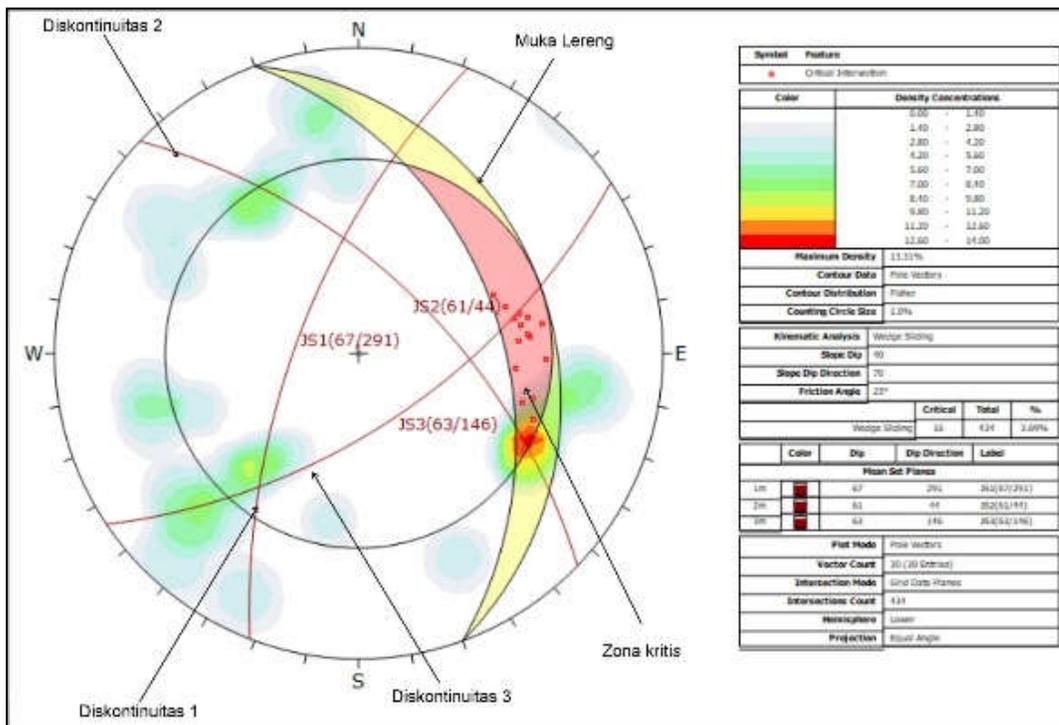
nilai orientasi diskontinuitas dan dasar dari perhitungan rumus SMR oleh Romana (1985) berdasarkan dari jenis planar, toppling, ataupun wedge failure.

Berdasarkan analisis stereografis, didapatkan

hasil sebagai berikut ini: persentase probabilitas potensi kelongsoran Blok B2 terbesar adalah longsoran jungkiran (*toppling failure*) sebesar 8,65% (Gambar 4). Persentase probabilitas potensi kelongsoran Blok B4



Gambar 4. Analisis stereografis longsoran jungkiran (*toppling failure*) blok B2 dengan besar persentase 8,65%



Gambar 5. Analisis stereografis longsoran baji (*wedge failure*) blok B4 dengan besar persentase 3,69%

Tabel 3. Hasil total pembobotan nilai RMR blok B2, B4, dan B5 (Bieniawski, 1989)

No	Parameter	Nilai Parameter		
		Blok B2	Blok B4	Blok B5
1	Kuat Tekan Batuan Utuh (<i>Uniaxial Compression Strength</i>)	1	1	0
2	Spasi Diskontinuitas (<i>Discontinuity Spacing</i>)	15	8	8
3	RQD (<i>Rock Quality Designation</i>)	20	13	13
4	Kondisi Diskontinuitas (<i>Discontinuity Condition</i>)	19	18	22
5	Kondisi Air Tanah (<i>Ground Water Condition</i>)	15	15	15
Jumlah		70	55	58

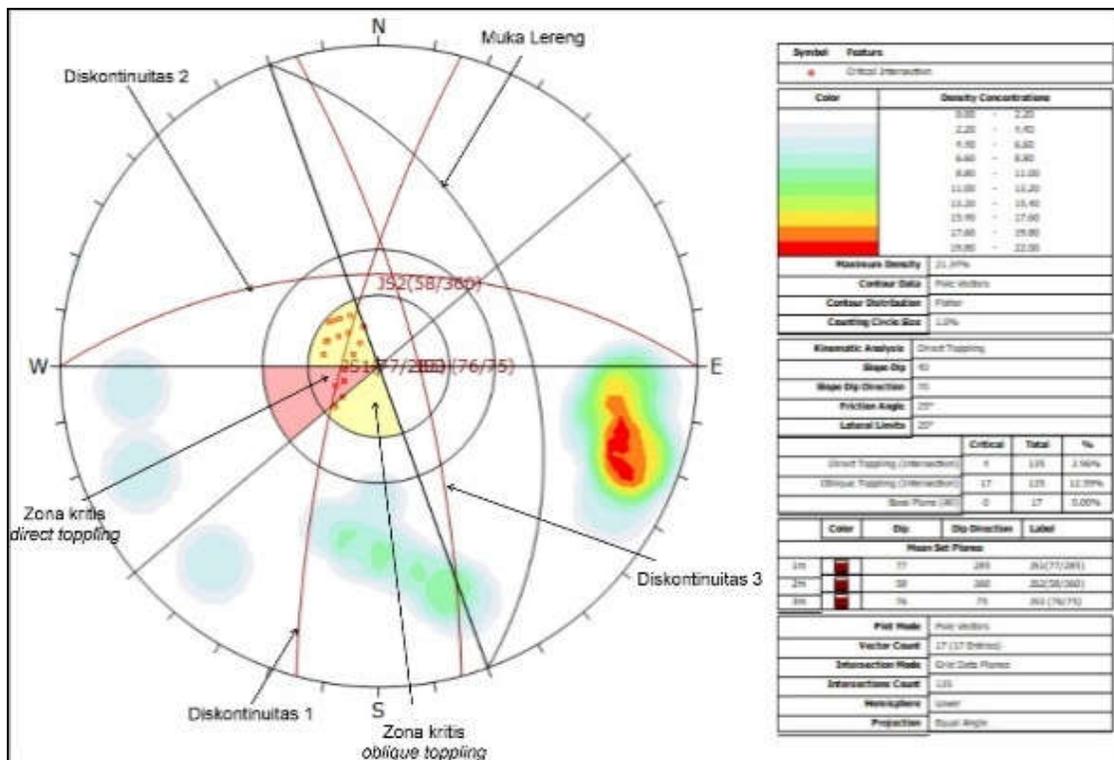
Tabel 4. Deskripsi kelas massa batuan berdasarkan nilai RMR (Bieniawski, 1989)

Bobot Total	100-81	80-61	60-41	40-21	0-20
Nomor Kelas	I	II	III	IV	V
Deskripsi Batuan	Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Kohesi (Mpa)	>0.4	0.3-0.4	0.2-0.3	0.1-0.2	<0.1
Sudut geser dalam	>45	35-45	25-35	15-25	<15
Sudut aman pemotongan (Waltham, 2002 dalam Singh, 2011)	>70	65	55	45	<40

terbesar adalah longsoran baji (*wedge failure*) sebesar 3,69% (Gambar 5). Persentase probabilitas potensi kelongsoran Blok B5 terbesar adalah longsoran jungkiran (*toppling failure*) sebesar 12,5% (Gambar 6).

Berdasarkan hasil tersebut, maka perhitungan SMR Blok B2 menggunakan rumus *toppling failure*,

Blok B4 menggunakan rumus *wedge failure*, sedangkan Blok B5 menggunakan rumus *toppling failure*. Perhitungan SMR menggunakan parameter F1, F2, F3, dan F4. Parameter F1 mengacu pada hubungan arah diskontinuitas (α_j) (atau arah perpotongan diskontinuitas (α_i) pada *wedge failure*) dan arah lereng (α_s), F2



Gambar 6. Analisis stereografis longsoran jungkiran (*toppling failure*) blok B4 dengan besar persentase 12,5%

mengacu pada kemiringan diskontinuitas (β_j) (atau kemiringan perpotongan diskontinuitas (β_i) pada *wedge failure*), dan F3 mengacu pada hubungan kemiringan diskontinuitas (β_j) (atau kemiringan perpotongan diskontinuitas (β_i) pada *wedge failure*) dan kemiringan lereng (β_s). Ketiganya merupakan parameter koreksi nilai massa lereng berdasarkan proyeksi stereografis berupa orientasi diskontinuitas, sedangkan F4 merupakan adalah parameter karakter deskriptif yang tidak dapat digantikan karena sebagai acuan dalam perhitungan aslinya berupa metode ekskavasi yang digunakan (Tomás et al., 2012). Nilai F1 hingga F4 yang telah diperoleh kemudian akan dimasukkan ke dalam persamaan 1 untuk didapatkan nilai SMR nya. Pada penelitian ini, metode ekskavasi yang digunakan untuk analisis SMR adalah menggunakan nilai 0 karena daerah penelitian termasuk lereng yang dibentuk oleh alat berat.

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

Hasil perhitungan memperoleh nilai SMR Blok B2 69,1, Blok B4 sebesar 49,75-54,1, dan Blok B5

sebesar 57,1-58 (Tabel 5). Berdasarkan perhitungan SMR, maka Blok B2 termasuk ke dalam kelas II sedangkan Blok B4 dan Blok B5 termasuk ke dalam kelas III (Romana, 1985)(Tabel 6).

3.5 Perhitungan Kestabilan Lereng

Pengolahan analisis kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas yaitu *morgenstern price* dilakukan pada desain bulan Oktober 2022 dan desain akhir tahun 2022 penampang A-A', B-B', dan C-C' (Gambar 2) dengan bantuan software rocsience slide 06 untuk didapatkan nilai faktor keamanan dari lereng daerah penelitian. Analisis faktor keamanan dengan metode kesetimbangan batas penelitian ini menggunakan asumsi bidang gelincir berbentuk non-circular pada kondisi lereng kering dan kondisi lereng jenuh air.

3.5.1 Sayatan A-A'

Berdasarkan analisis faktor keamanan overall slope dengan trial dan error bidang gelincir, didapatkan nilai faktor keamanan lereng sayatan A-A' bulan Oktober tahun 2022 untuk kondisi kering sebesar 1,651 dan kondisi jenuh air sebesar 1,043. Nilai faktor

Tabel 5. Perhitungan nilai SMR

Jenis Runtuhan	Set	α_j	α_s	α_i	β_j	β_s	β_i	A	B	C	F1	F2	F3	F4	RMR	SMR
Toppling	JS1	281	340	-	77	40	-	31	-	117	0.15	1	-6	0	70	69.1
Toppling	JS2	359	340	-	71	40	-	109	-	111	0.15	1	-6	0	70	69.1
Toppling	JS3	56	340	-	70	40	-	194	-	110	0.15	1	-6	0	70	69.1
Wedge	JS1-JS2	-	340	353	40	40	48	13	48	8	0.7	1	-6	0	55	50.8
Wedge	JS1-JS3	-	340	217	40	40	33	123	33	-7	0.15	0.7	-50	0	55	49.75
Wedge	JS2-JS3	-	340	93	40	40	50	247	50	10	0.15	1	-6	0	55	54.1
Toppling	JS1	195	340	-	77	40	-	325	-	117	0.15	1	-6	0	58	57.1
Toppling	JS2	270	340	-	58	40	-	250	-	98	0.15	1	0	0	58	58
Toppling	JS3	345	340	-	76	40	-	175	-	116	0.15	1	-6	0	58	57.1

Keterangan:

α_j = strike joint
 α_s = strike slope

β_j = dip joint
 β_s = dip slope

α_i = trend perpotongan bidang diskontinuitas
 β_i = plunge perpotongan bidang diskontinuitas

Tabel 6. Deskripsi kelas massa batuan berdasarkan nilai SMR blok B2, B4, dan B5 (Romana, 1985)

Class	V	IV	III	II	I
SMR Values	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Rock Mass Description	Very bad	Bad	Normal	Good	Very Good
Stability	Completely Unstable	Unstable	Partial Stable	Stable	Completely Stable
Failures	Big Planar or Soil like or Circular Failure	Planar or Big Wedges	Planar along some joints dan many wedge failure	Some block failure	No failure
Probability of Failure	0.9	0.6	0.4	0.2	0

keamanan pada desain akhir tahun 2022 diperoleh sayatan A-A' memiliki nilai faktor keamanan kondisi kering sebesar 2,17 dan kondisi jenuh sebesar 1,284 (Gambar 7).

3.5.2 Sayatan B-B'

Berdasarkan analisis faktor keamanan *overall slope* dengan *trial* dan *error* bidang gelincir, didapatkan nilai faktor keamanan lereng sayatan B-B' bulan Oktober tahun 2022 untuk kondisi kering sebesar 1,525 dan kondisi jenuh air sebesar 1.06. Nilai faktor keamanan pada desain akhir tahun 2022 sayatan B-B' memiliki nilai faktor keamanan kondisi kering sebesar 1,352 dan kondisi jenuh sebesar 1,127 (Gambar 8).

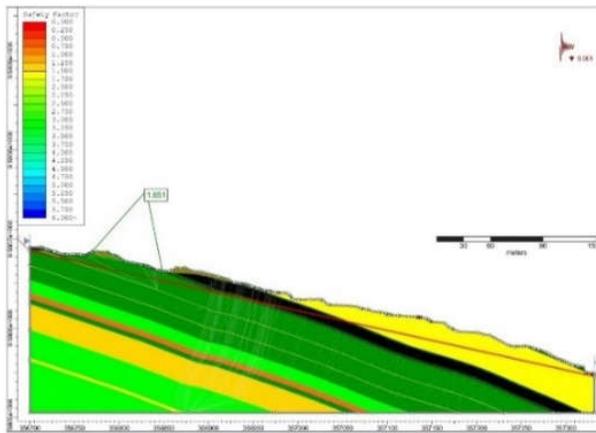
3.5.3 Sayatan C-C'

Berdasarkan analisis faktor keamanan *overall slope* dengan *trial* dan *error* bidang gelincir, didapatkan nilai faktor keamanan lereng sayatan C-C' bulan Oktober tahun 2022 untuk kondisi kering sebesar 1,443 dan kondisi jenuh air sebesar 0,972. Nilai faktor keamanan pada desain akhir tahun 2022 sayatan C-C' memiliki nilai faktor keamanan kondisi kering sebesar

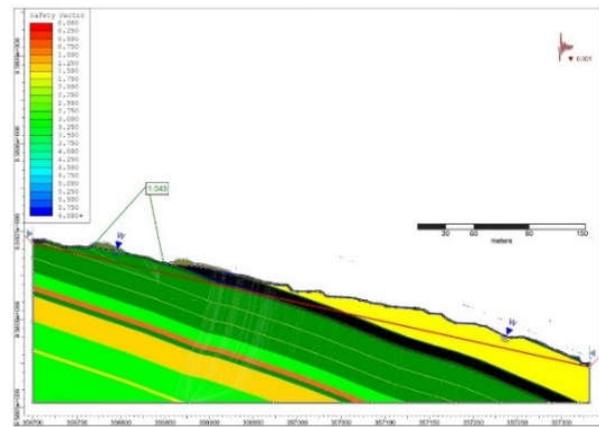
1,201 dan kondisi jenuh sebesar 0,982 (Gambar 9).

Berdasarkan perhitungan *rock mass rating*, daerah Low wall pit Y PT Bina Sarana Sukses Kabupaten Lahat termasuk ke dalam kategori baik hingga normal karena memiliki nilai RMR blok B2 sebesar 70, blok B4 sebesar 55, dan blok B5 sebesar 58. Area pit Y *low wall* blok B2 dengan litologi batupasir termasuk ke dalam kategori kelas massa batuan nomor II dengan kualitas massa batuan yang baik (*good rock*), sedangkan blok B4 dengan litologi batupasir dan blok B5 dengan litologi batubara termasuk ke dalam kategori kelas massa batuan nomor III dengan kualitas massa batuan *fair rock* (Bieniawski, 1989).

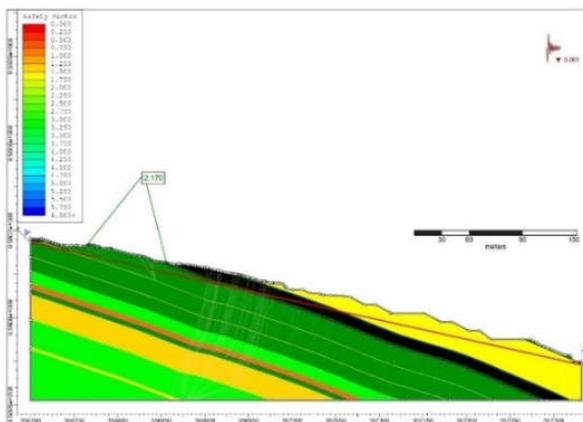
Berdasarkan analisis SMR, Blok B2 memiliki SMR 69.1 menandakan bahwa Blok B2 termasuk ke dalam massa batuan kelas nomor II dengan deskripsi kelas massa batuan yang baik dan tingkat stabilitas yang stabil. SMR kelas II memiliki tingkat probabilitas longoran sebesar 20% dengan jenis longoran yang kemungkinan akan terjadi adalah runtuhannya beberapa blok batuan (*block failure*) (Romana, 1985). Nilai SMR



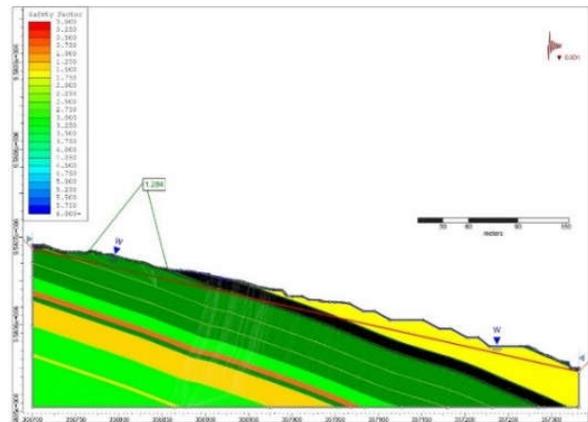
(a) Kondisi bulan Oktober 2022 saat kering sebesar 1,651



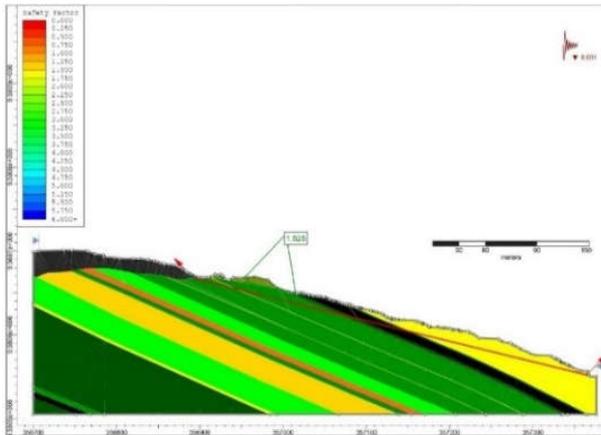
(b) Kondisi bulan Oktober 2022 saat jenuh sebesar 1,043,



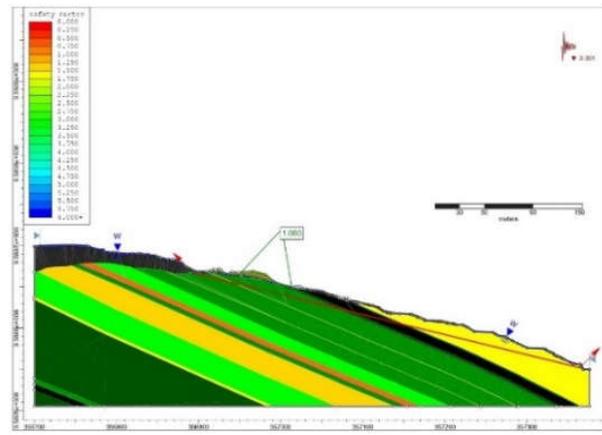
(c) Desain akhir tahun 2022 saat kering sebesar 2,17
Gambar 7. Analisis faktor keamanan sayatan A-A'



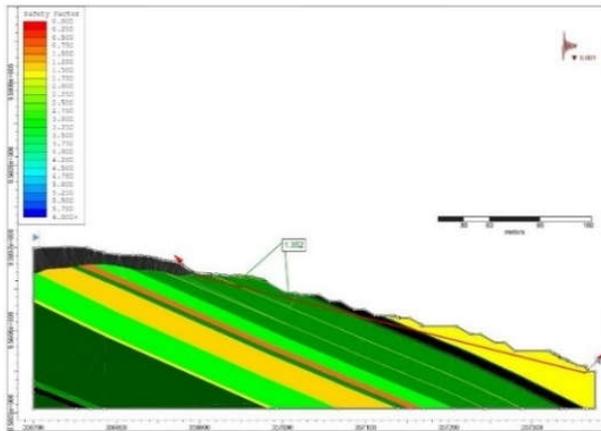
(d) Desain akhir tahun 2022 saat jenuh sebesar 1,284



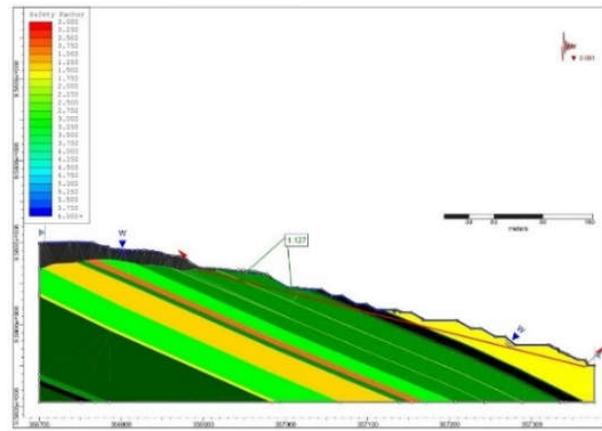
(a) Kondisi bulan Oktober 2022 saat kering sebesar 1,525



(b) Kondisi bulan Oktober 2022 saat jenuh sebesar 1,06



(c) Desain akhir tahun 2022 saat kering sebesar 1,352



(d) Desain akhir tahun 2022 saat jenuh sebesar 1,127

Gambar 8. Analisis faktor keamanan sayatan B-B'

yang diperoleh oleh Blok B4 adalah 49.75-50.8 dan Blok B5 sebesar 57.1-58, sehingga nilai SMR tersebut termasuk ke dalam kualitas massa batuan kelas nomor III dengan deskripsi kelas massa batuan normal dan tingkat stabilitas yang stabil sebagian. SMR kelas III memiliki tingkat probabilitas longsoran sebesar 40% dan jika terjadi longsor, maka potensi jenis longsor berupa longsoran planar failure akibat joint maupun jenis *wedge failure* (Romana, 1985).

Analisis kestabilan lereng dilakukan untuk

mengetahui faktor keamanan menggunakan metode *morgenstern-price* dengan memasukkan parameter sifat fisik dan mekanik batuan (*material properties*) pada daerah penelitian ke dalam software slides untuk diperoleh hasil dari faktor keamanannya. Hasil dari nilai faktor keamanan tersebut akan digunakan sebagai pertimbangan dalam penentuan desain pit Y. Berdasarkan dari hasil faktor keamanan yang telah dianalisis, lereng dengan kondisi jenuh air memiliki nilai faktor keamanan yang lebih rendah, hal tersebut

Tabel 7. Perbandingan nilai faktor keamanan sayatan A-A', B-B', dan C-C' kondisi kering dan kondisi jenuh

No	Desain Lereng	Nilai FK Kondisi Kering	Nilai FK Kondisi Jenuh	Keterangan
1	Sayatan A-A' Oktober 2022	1.651	1.043	Tidak perlu rekayasa desain final akhir tahun 2022
2	Sayatan A-A' Akhir Tahun 2022	2.17	1.284	Tidak perlu rekayasa desain final akhir tahun 2022
3	Sayatan B-B' Oktober 2022	1.525	1.06	Perlu rekayasa untuk desain final akhir tahun 2022
4	Sayatan B-B' Akhir Tahun 2022	1.352	1.127	Perlu rekayasa untuk desain final akhir tahun 2022
5	Sayatan C-C' Oktober 2022	1.443	0.972	Perlu rekayasa untuk desain final akhir tahun 2022
6	Sayatan C-C' Akhir Tahun 2022	1.201	0.982	Perlu rekayasa untuk desain final akhir tahun 2022

disebabkan karena tingkat kejenuhan air akan mempengaruhi kuat geser tanah atau batuan(Gong et al., 2022). Semakin jenuh maka kuat gesernya akan semakin berkurang sehingga menyebabkan lereng menjadi lebih mudah untuk mengalami keruntuhan(Acharya et al., 2016). Perbandingan nilai faktor keamanan bulan Oktober 2022 dan akhir tahun 2022 untuk kondisi kering dan kondisi jenuh dapat dilihat pada Tabel 7.

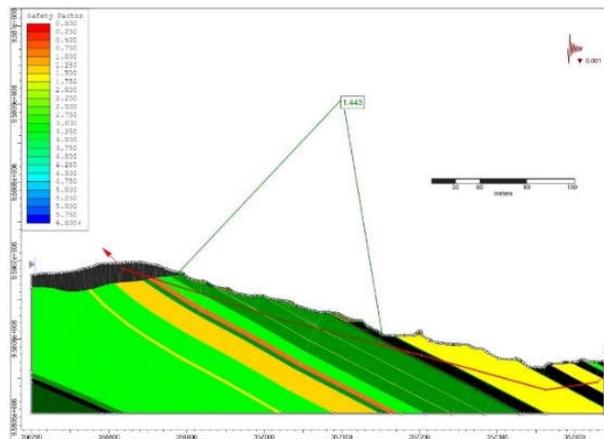
Berdasarkan (Bowles, 1989), Lereng dengan nilai FK <1,07 maka termasuk ke dalam lereng yang tidak aman, FK 1,07-1,25 termasuk lereng kritis, dan FK >1,25 termasuk lereng yang aman. Sayatan bulan Oktober 2022 yang memiliki FK kritis atau tidak aman namun pada desain akhir tahun 2022 memiliki FK aman, maka dapat dilakukan perubahan geometri sesuai dengan desain akhir tahun, sedangkan untuk sayatan yang memiliki FK kritis dan tidak aman di bulan Oktober 2022 dan desain akhir tahun, maka harus dilakukan perubahan geometri lereng(Kolapo et al., 2022).

Berdasarkan analisis kestabilan lereng, diketahui sayatan A-A' dan B-B' termasuk ke dalam lereng yang

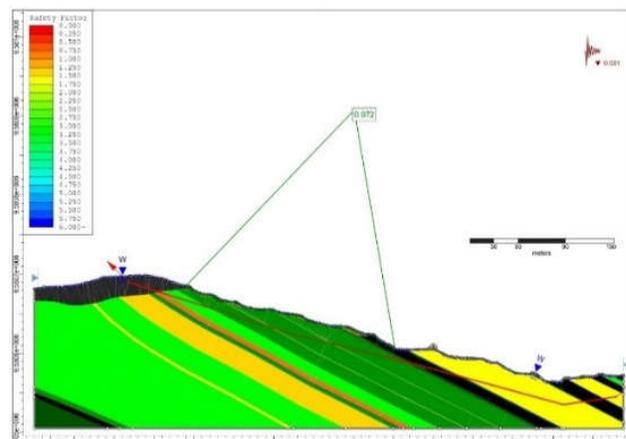
tidak aman dengan potensi kelongsoran berdasarkan analisis RMR dan SMR adalah jenis longsoran bidang (planar failure) atau baji (wedge failure) sehingga diperlukan rekayasa geometri lereng.

Rekayasa yang diberikan yaitu dengan mengubah sudut single slope yang awalnya 30 menjadi 25 pada desain akhir tahun di elevasi 20 mdpl hingga 40 mdpl (Gambar 10). Perubahan geometri lereng tersebut akan menghasilkan faktor keamanan lereng sayatan B-B' pada desain akhir tahun untuk kondisi kering sebesar 1,602 dan kondisi jenuh sebesar 1,289 sehingga mengubah FK termasuk ke dalam kategori lereng aman. Pada sayatan C-C' maka akan mengubah nilai FK kondisi kering sebesar 1,357 dan untuk kondisi jenuh sebesar 1,206 sehingga mengubah FK lereng untuk kondisi kering yang awalnya kritis menjadi aman, dan untuk kondisi jenuh yang awalnya tidak aman menjadi kritis.

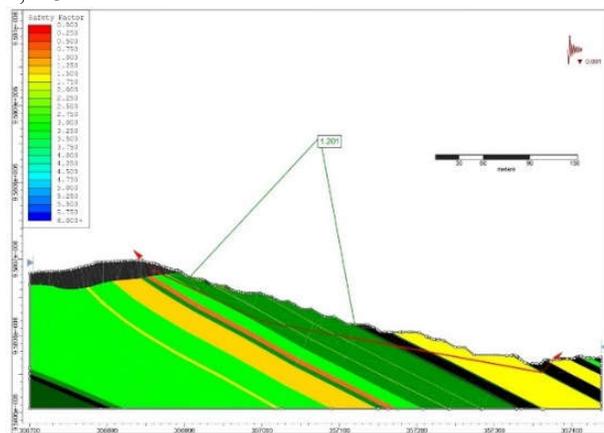
Keputusan perubahan geometri lereng pada sayatan C-C' kondisi jenuh yang hanya merubah faktor keamanan menjadi kritis berdasarkan dari penyesuaian dengan geometri lereng single slope pada elevasi terkait,



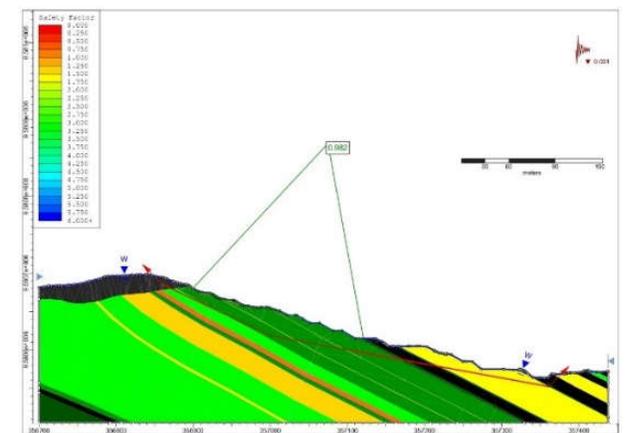
(a) Kondisi bulan Oktober 2022 saat kering sebesar 1,443



(b) Kondisi bulan Oktober 2022 saat jenuh sebesar 0,97



(c) Desain akhir tahun 2022 saat kering sebesar 1,201



(d) Desain akhir tahun 2022 saat jenuh sebesar 0,982

Gambar 9. Analisis faktor keamanan sayatan C-C'

yang mana pada elevasi 20 mdpl – 40 mdpl juga dilakukan perubahan geometri pada sayatan B-B'. Hal ini akan lebih memudahkan dalam pembuatan desain pit keseluruhan dan penggaliannya. Hal ini juga dapat memaksimalkan tingkat produksi oleh perusahaan. Namun, dalam perubahan geometri ini juga diberikan catatan untuk terus memantau pergerakan dari lereng, karena lereng yang kritis meskipun potensi longsornya tidak terlalu besar, namun tetap memiliki potensi terjadi keruntuhan (Carlà et al., 2017). Rekomendasi lain yang diberikan adalah pengaturan pola aliran air (Ariana et al., 2014) dan pemasangan geomembrane (Junior et al., 2023). Geomembrane memiliki sifat impermeabel atau kedap air sehingga dapat berfungsi sebagai penahan air masuk ke dalam batuan dan menjadikan batuan kurang jenuh.

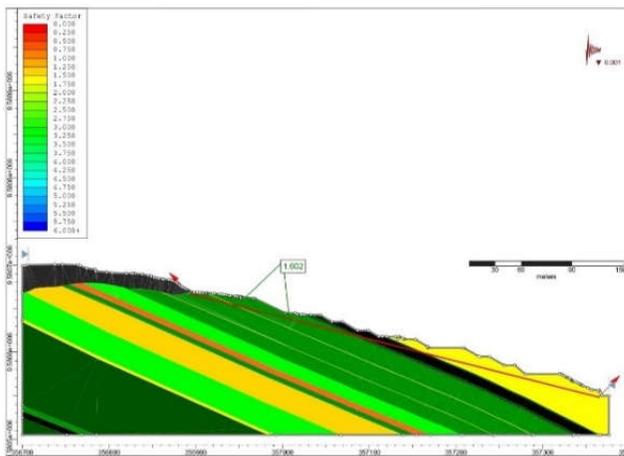
4. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan nilai RMR dan SMR, area Low wall pit Y PT Bina Sarana Sukses termasuk ke dalam massa batuan kelas II dan kelas III sehingga

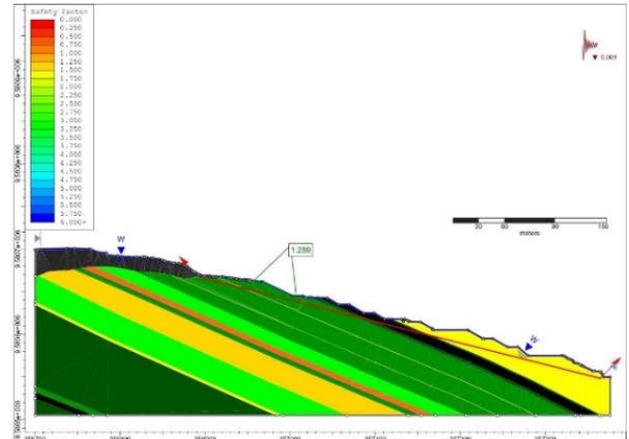
memiliki potensi kelongsoran block joint dengan persentase kemungkinan 20% dan planar failure atau wedge failure dengan persentase kemungkinan 40%. Berdasarkan analisis kestabilan lereng dengan faktor keamanan, lereng daerah penelitian terbagi menjadi 3 klasifikasi yaitu aman pada sayatan bulan Oktober 2022 saat kering pada sayatan A-A', B-B', dan C-C'. Sayatan akhir tahun 2022 saat kering pada sayatan A-A' dan B-B'. Sayatan A-A' akhir tahun 2022 saat jenuh. Kondisi kritis pada sayatan B-B' akhir tahun 2022 kondisi jenuh dan sayatan C-C' akhir tahun 2022 kondisi kering. Kondisi tidak aman pada sayatan A-A', B-B', dan C-C' bulan Oktober 2022 saat jenuh, serta sayatan akhir tahun 2022 C-C' saat jenuh. Rekomendasi yang diberikan adalah rekayasa geometri lereng.

Ucapan Terima Kasih

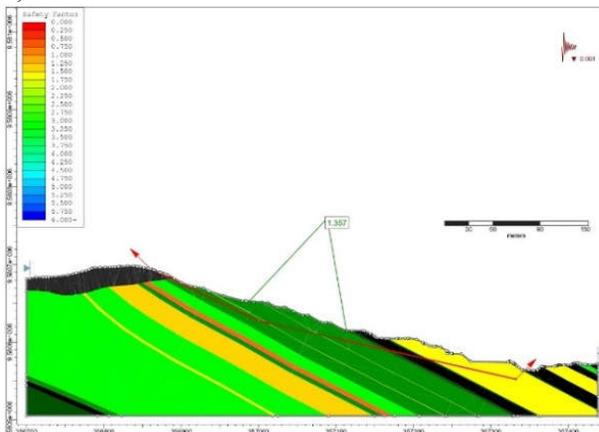
Terima kasih disampaikan kepada PT. Bina Sarana Sukses yang telah menyediakan data untuk penelitian ini.



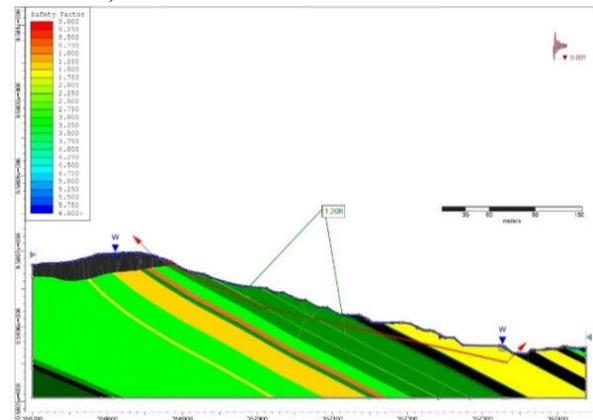
(a) sayatan B-B' desain akhir tahun kondisi kering sebesar 1,602



(b) Sayatan B-B' desain akhir tahun 2022 kondisi jenuh sebesar 1,289



(c) Sayatan C-C' desain akhir tahun 2022 kondiis kering 1,357



(d) Sayatan C-C' desain akhir tahun 2022 kondisi

Gambar 10. Nilai faktor keamanan setelah rekomendasi, jenuh sebesar 1,206

Daftar Pustaka

- Acharya, K. P., Bhandary, N. P., Dahal, R. K., & Yatabe, R. (2016). Seepage and slope stability modelling of rainfall-induced slope failures in topographic hollows. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(2), 721–746. <https://doi.org/10.1080/19475705.2014.954150>
- Ali, R., Najib, N., & Nasrudin, A. (2017). Analisis Peningkatan Faktor Keamanan Lereng Pada Areal Bekas Tambang Pasir Dan Batu di Desa Ngablak, Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati. *Promine*, 5(1).
- Anaperta, Y. M. (2021). Analisis Kestabilan Lereng Berdasarkan Data Klasifikasi Massa Batuan Untuk Evaluasi Geometri Lereng Pada Pit A di CV. Tekad Jaya. *Bina Tambang*, 6(4), 175–185.
- Ariana, D., Pudjihardjo, Fahrudin, & Tunggal. (2014). Pengaruh Seepage dan Kestabilan Lereng Terhadap Optimalisasi Geometri Lereng Tambang Bukit M Air Laya Blok Timur, Unit Pertambangan Tanjung Enim. *Geological Engineering E-Journal*, 6(1), 64–79.
- Azizi, Masagus Ahmad. (2012). Analisis Risiko Kestabilan Lereng Tambang Terbuka (Studi Kasus Tambang Mineral X). *Prosiding Simposium Dan Seminar Geomekanika Ke 1*, 19–24.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classification*. John Wiley dan Sons, Inc.
- Bowles, J. E. (1989). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Erlangga.
- Bria, K., & Isjudarto, A. (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. *Prosiding Seminar Nasional ReTII Ke-10*.
- Carlà, T., Farina, P., Intrieri, E., Botsialas, K., & Casagli, N. (2017). On the monitoring and early-warning of brittle slope failures in hard rock masses: Examples from an open-pit mine. *Engineering Geology*, 228, 71–81. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.08.007>
- Fadillah, M., & Heriyadi, B. (2021). Analisis Kestabilan Lereng Blok Bukit Rahmat PT. Cahaya Bumi Perdana, Kota Sawahlunto. *Jurnal Bina Tambang*, 6(2), 231–244.
- Gafoer, S., Amin, T. C., & Purnomo, J. (2007). *Peta Geologi Lembar Lahat, Sumatera Selatan* [Map]. Pusat Survei Geologi.
- Gong, W., Quan, C., Li, X., Wang, L., & Zhao, C. (2022). Statistical analysis on the relationship between shear strength and water saturation of cohesive soils. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 81(8), 337. <https://doi.org/10.1007/s10064-022-02811-y>
- Junior, S. L. D. C., Aparicio-Ardila, M. A., Palomino, C. F., & Lins Da Silva, J. (2023). Analysis of Textured Geomembrane–Soil Interface Strength to Mining Applications. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 9(1), 3. <https://doi.org/10.1007/s40891-022-00423-w>
- Kolapo, P., Oniyide, G. O., Said, K. O., Lawal, A. I., Onifade, M., & Munemo, P. (2022). An Overview of Slope Failure in Mining Operations. *Mining*, 2(2), 350–384. <https://doi.org/10.3390/mining2020019>
- Kramadibrata, S. (1996). *The Influence of Rock Mass dan Intact Rock Properties on the Design of Surface Mines with Particular Reference to the Excavatability of Rock*. School of Civil Engineering, Curtin University of Technology.
- Nafian, M. A., & Rizal, Y. (2021). Geologi Batubara Daerah Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. *Bulletin of Geology*, 5(2), 589–611.
- Paramesywara, T. S., & Setiawan, B. (2018). Analisis Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode RMR, SMR, dan Kesetimbangan Batas Pada Tambang Terbuka kabupaten Belitung Timur. *Jurnal Riset Geologi Dan Pertambangan*.
- Priest, S. D., & Hudson, J. A. (1976). Discontinuity spacings in rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Dan Geomechanics Abstracts*, 13(5), 135–148.
- Putri, F. A. (2020). Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Batubara pada Tambang Terbuka di PT. X. *Jurnal IPTEK*, 24(1), 59–66. <https://doi.org/10.31284/j.ipitek.2020.v24i1.902>
- Romana, M. (1985). *A geomechanical classification for slopes: Slope mass rating*. Pergamon Press.
- Sepriadi, S., & Prastowo, A. M. (2019). Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Kesetimbangan Batas Pada Lereng High wall Pit 1 Utara Tambang Banko Barat Menggunakan Software Geostudio Slope/W 2018 Di Pt Bukit Asam, Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 10(1), 58–75.
- Tomás, R., Cuenca, A., Cano, M., & García-Barba, J. (2012). A graphical approach for slope mass rating (SMR). *Engineering Geology*, 124, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.10.004>
- Zakaria, Z., Muslim, D., & Sophian, I. (2012). Koreksi SMR pada Desain Lereng Tambang Terbuka Batubara Pada Formasi Balikpapan Dan Formasi Kampungbaru Sangasanga, Kalimantan Timur. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 7(3), 147–157.