

Analisis Kestabilan Lereng untuk Evaluasi Geometri Lereng Menggunakan Metode RMR, SMR, dan *Morgenstern-Price* pada Pit C2 dan C4 Tambang Timah Terbuka Blok Mayang PT Menara Cipta Mulia, Kabupaten Belitung Timur, Kepulauan Bangka Belitung

Zulfa Nindya Salsabila , Thomas Triadi Putranto *, Najib

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

Abstrak

Aktivitas penambangan timah yang dilakukan dengan sistem tambang terbuka dapat membentuk dan mengubah dimensi lereng, sehingga mempengaruhi kestabilan lereng dan meningkatkan adanya risiko terjadinya suatu longsoran. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi geologi teknik, kondisi massa batuan, mencari nilai faktor keamanan lereng dan memberikan rekomendasi geometri lereng menurut kriteria minimum nilai Faktor Keamanan (FK) $\geq 1,25$. Analisis stabilitas lereng perlu dilakukan untuk meminimalisir terjadinya longsor. Daerah penelitian merupakan wilayah dengan material kompleks, sehingga pada penelitian ini analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggabungkan metode klasifikasi massa batuan Rock Mass Rating (RMR) dan Slope Mass Rating (SMR) serta perhitungan nilai Faktor Keamanan (FK) menggunakan metode *Morgenstern-Price* dengan pendekatan kriteria keruntuhan *Generalized Hoek-Brown* dan *Mohr-Coulomb*. Hasil analisis didapatkan tiga zona geologi teknik, yaitu meta batupasir-meta batulempung, batupasir lanauan, dan batulempung pasiran. Kondisi massa batuan menurut nilai RMR termasuk kedalam kelas sedang hingga baik dan memiliki nilai SMR dengan stabilitas stabil sebagian. Daerah yang berpotensi longsor, yaitu STA 2 pada lereng B-B' tipe longsor jungkiran, serta STA 3 pada lereng C-C' dan STA 4 pada lereng D-D' tipe baji. Menurut nilai FK terdapat 2 lereng tidak stabil saat kondisi jenuh sebagian, yaitu lereng A-A' dan lereng B-B'. Geometri lereng yang direkomendasikan, yaitu dengan lebar minimal 2/3 tinggi, dimana pada kondisi jenuh sebagian lereng tunggal sudut 35 - 400, tinggi 5 m, dengan lereng keseluruhan sudut 320 dan tinggi 16 m. Pada kondisi kering, sudut lereng tunggal 550, tinggi 6 m dengan lereng keseluruhan sudut 370 dan tinggi 15 m.

Kata kunci: geologi teknik; kestabilan lereng; massa batuan; tambang terbuka; optimalisasi lereng

Abstract

[**Title: Slope Stability Analysis for Slope Geometry Evaluation Using RMR, SMR, and *Morgenstern-Price* Methods in Pits C2 and C4 of PT Menara Cipta Mulia Mayang Block Open Pit Tin Mine, East Belitung Regency, Bangka Belitung Islands**] Tin mining activities using an open pit mining system can affect slope stability and increase landslide risk. Slope stability analysis needs to be done to minimize the occurrence of landslides. This study aimed to determine engineering geological settings, and rock mass conditions, find slope safety factor values, as well as provide slope geometry recommendations according to the minimum Safety Factor (SF) value criteria $\geq 1,25$. The research area is an area with complex materials, so in this study slope stability analysis was carried out by combining rock mass classification methods through Rock Mass Rating (RMR) and Slope Mass Rating (SMR), and calculating the value of the Safety Factor (SF) using the *Morgenstern-Price* method with the *Generalized Hoek-Brown* and *Mohr-Coulomb* failure criteria. The analysis results obtained three geological engineering zones: meta sandstone- meta claystone, silty sandstone, and sandy claystone. The condition of the rock mass according to the RMR value, is in the moderate to good class. It has an SMR value of partially stable stability. Areas with the potential for landslides, namely STA 2 on sections B-B' with toppling type, STA 3 on sections C-C' and STA 4 on sections D-D' with wedge type. According to the SF value, there are two unstable slopes during partially saturated conditions: sections A-A' and B-B'. The recommended slope geometry is with a minimum width of 2/3 of the height, where in partially saturated conditions, the slope has a single angle of 35 - 400, 5 m high, with an overall slope angle of 320 and 16 m high. In dry conditions, a single slope angle of 550, 6 m high with all slope angles of 370 and 15 m high.

*) Penulis Korespondensi.
E-mail: putranto@ft.undip.ac.id

Keywords: *engineering geology; open-pit mining; rock mass; slope stability; slope optimization*

1. Pendahuluan

Aktivitas penambangan timah primer yang dilakukan dengan sistem tambang terbuka (*surface mining*) dapat mengakibatkan terbentuknya dimensi lereng pada wilayah pertambangan ataupun mengubahnya (Tiambunan dkk., 2020). Adanya aktivitas pertambangan dapat mempengaruhi kestabilan lereng dan meningkatkan adanya risiko terjadinya suatu longsoran (Metriani dkk., 2019). Analisis kestabilan lereng perlu dilakukan guna meminimalisir risiko terjadinya longsor dan meningkatkan efisiensi serta nilai ekonomis dalam operasi pertambangan (Kuswardani dan Anggraini, 2021). Analisis ini dilakukan guna memberikan rasa aman dan memastikan bahwa lereng pada suatu wilayah dalam keadaan stabil serta tidak akan mengalami keruntuhan atau longsoran yang dapat menyebabkan kerugian secara finansial maupun kerugian jiwa (Bargawa, 2014).

Risiko longsoran ini dijumpai pada daerah penelitian, yaitu wilayah kerja PT Menara Cipta Mulia. Ini ditemui terutama di wilayah pit C2 dan C4 blok Mayang. Area ini tersusun atas material kompleks, mulai dari jenis material batuan keras hingga material batuan lunak. Berbeda dengan batuan keras, material batuan lunak merupakan material transisi dari material batuan segar (*fresh rock*) yang bersifat kompeten menuju material dengan sifat *soil* akibat *strength reduction* yang terjadi pada batuan (Waskita dkk., 2020). Tipe longsor batuan keras dikontrol oleh struktur pada massa batuan, sedangkan batuan lunak merupakan batuan dengan tipe longsor yang dikontrol oleh struktur dan kekuatan massa batuan (Karzulovic dan Read, 2009 dalam Waskita dkk., 2020).

Dengan demikian, analisis kestabilan lereng perlu dilakukan, dengan penerapan metode klasifikasi massa batuan, yaitu *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Slope Mass Rating* (SMR), serta metode kesetimbangan batas *Morgenstern-Price* dengan penerapan tipe keruntuhan *Mohr-Coulomb* dan *Generalized Hoek Brown*. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran terkait kondisi geologi teknik di daerah penelitian, memperkirakan kondisi kestabilan lereng berdasarkan kondisi massa batuan dan nilai faktor keamanan melalui analisis kesetimbangan batas, serta memberikan rekomendasi desain lereng yang aman di wilayah penelitian.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di wilayah kerja pit C2 dan C4 PT Menara Cipta Mulia Blok Mayang, Kecamatan Kelapa Kampit, Kabupaten Belitung Timur, Kepulauan Bangka Belitung. Secara umum penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu (1) melakukan identifikasi

rumusan masalah terhadap kondisi di wilayah penelitian, (2) pengumpulan data sekunder dan data primer, (3) analisis dan pengolahan data. Analisis dan pengolahan data yang dilakukan meliputi pengolahan peta, perhitungan nilai *Rock Mass Rating* (Bieniawski, 1989), nilai *Geological Strength Index* (Hoek dan Marinos dalam Saptono, dkk., 2019), nilai *Slope Mass Rating* (Romana dalam Anbalagan, 1992), analisis nilai properti material, dan analisis kesetimbangan batas menggunakan metode *Morgenstern-Price*.

Pada penelitian ini, nilai Faktor Keamanan menggunakan ketentuan Bowles (Ali, dkk., (2017), dengan $FK \geq 1,25$. Nilai nilai percepatan puncak di permukaan tanah menggunakan nilai 0,06 berdasarkan perhitungan nilai klasifikasi *site* dan nilai faktor amplifikasi percepatan puncak.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kondisi Geologi Daerah penelitian

Berdasarkan klasifikasi kelerengan van Zuidam (Rochmanto dan Stefano, 2012), daerah penelitian memiliki topografi curam dengan persentase kelerengan 20-55%. Kondisi topografi di daerah penelitian ini terbentuk karena adanya aktivitas penambangan timah yang dilakukan di wilayah ini. Bentuk lahan di daerah penelitian menurut klasifikasi Verstephen (Salim, 2022) merupakan bentuk lahan jenis antropogenik. Menurut pengamatan lapangan yang telah dilakukan pada setiap stasiun pengamatan yang mewakili kondisi di daerah pit C2 dan C4 blok Mayang serta dikorelasikan dengan kondisi geologi regional, wilayah penelitian terbagi menjadi tiga material penyusun, yaitu meta batupasir-batulempung, batupasir lanauan, dan batulempung pasir.

3.2 Kondisi Massa Batuan di Daerah Penelitian

Klasifikasi massa batuan dilakukan untuk mengidentifikasi parameter perilaku batuan, mengelompokkan setiap jenis massa batuan ke dalam kelompok yang memiliki perilaku sama, memberikan dasar umum untuk kemudahan komunikasi, memberikan dasar karakteristik tiap kelas massa batuan, serta memberikan data kuantitatif untuk keperluan rekayasa teknik. Jenis klasifikasi massa batuan yang digunakan untuk analisis kestabilan lereng pada penelitian ini adalah *Rock Mass Rating* dan *Geological Strength Index*. Berdasarkan klasifikasi massa batuan dengan pendekatan empiris terhadap karakteristik massa batuan untuk memperkirakan kondisi massa batuan, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

3.2.1 *Rock Mass Rating* (RMR)

Analisis ini dilakukan melalui pengambilan data geoteknik berdasarkan klasifikasi Bieniawski (1989)

dengan menggunakan metode survei *scanline* pada beberapa titik sampling. Terdapat 5 data parameter yang dikumpulkan untuk mendapatkan nilai RMR, yaitu parameter kuat tekan batuan utuh (UCS), *Rock Quality Density* (RQD), jarak diskontinuitas, kondisi diskontinuitas, dan kondisi air tanah. Adapun rincian pembobotan nilai RMR ditunjukkan pada Tabel 1.

Perbedaan kondisi massa batuan di STA 2, diinterpretasikan akibat keberadaan rembesan air pada lereng STA 2, sehingga lereng dalam kondisi basah. Air memiliki pengaruh terhadap massa batuan, dimana semakin besar penetrasi air dalam batuan maka akan menurunkan kekuatan massa batuan (Ridwan dkk., 2022). Hal ini dikarenakan pengaruh air tanah dapat menambah densitas massa batuan dan dapat mengurangi kuat geser dari batuan tersebut, sehingga dapat menurunkan kekuatan massa batuan (Frans dan Nurfalaq, 2019). Selain kondisi air tanah, parameter lain juga mempengaruhi turunnya nilai RMR. Nilai RMR akan semakin rendah jika nilai kuat tekan (Mpa) semakin kecil, spasi diskontinuitas semakin rapat, nilai (%) RQD rendah, dan kondisi diskontinuitas yang lapuk total, permukaannya halus, serta menerus. Hal ini karena semakin kecil nilai kuat tekan suatu batuan, maka

semakin rendah ketahanan dan kepadatan batuan terhadap pembebanan yang diberikan. Nilai spasi diskontinuitas yang semakin rapat maka akan linear dengan frekuensi diskontinuitasnya yang semakin tinggi digambarkan dalam nilai RQD (%) semakin rendah, yang mengakibatkan kekuatan dari batuan akan semakin rendah.

3.2.2 *Geological Strength Index (GSI)*

Nilai GSI merupakan nilai yang mencirikan kondisi massa batuan berdasarkan kondisi kondisi struktur dan kondisi permukaan diskontinuitas. Perkiraan nilai GSI dapat diketahui melalui pendekatan empiris nilai *Rock Mass Rating*. Pada konversi ini, nilai *Rock Mass Rating* diasumsikan pada kondisi air tanah kering. Adapun hasil perhitungan nilai GSI pada setiap jenis satuan menurut persamaan Hoek dan Marinos (2000) untuk kelas batuan keras ($R > 3$) dan persamaan Saptono (2019) untuk kelas batuan lunak ($R \leq 3$) didapatkan nilai GSI pada pit C2 dan C4, sebagaimana ditunjukkan Tabel 2.

Berdasarkan uraian nilai GSI pada Tabel 2, jika tanpa pengaruh air tanah maka daerah penelitian memiliki nilai GSI pada rentang 56 – 66. Menurut Hoek dan Marinos (Pamuji, 2018), kondisi massa batuan di daerah penelitian memiliki kualitas sedang hingga baik. Nilai

Tabel 1. Pembobotan *Rock Mass Rating* (RMR) daerah penelitian.

STA	Parameter					
	<i>Uniaxial Compressive Strength</i> (UCS)	Spasi Diskontinuitas	<i>Rock Quality Density</i> (RQD)	Kondisi Diskontinuitas	Kondisi Air Tanah	Kelas RMR
1	1-5	3,61	99,9%	Kemenerusan diskontinuitas 1-3 m, kekasaran permukaan agak kasar, celah pemisahan >5mm, material pengisi keras >5mm, sangat lapuk.	Lembab	II
Bobot	Batulempung pasiran	Sangat Lebar	Sangat Baik		10	10
2	1-5	2,04	99,9%	Kemenerusan diskontinuitas 1-3 m, kekasaran permukaan kasar-agak kasar, celah pemisahan >5mm, didominasi material pengisi lunak <5mm hingga tidak ada, agak lapuk.	Basah	III
Bobot	Batupasir lanauan	Sangat Lebar	Sangat Baik		11	7
3	1-5	1,93	99,9%	Kemenerusan diskontinuitas 1-3 m, kekasaran permukaan kasar-agak kasar, celah pemisahan >5mm, material pengisi keras <5mm hingga tidak ada, agak lapuk.	Lembab	II
Bobot	Batupasir lanauan	Lebar	Sangat Baik		15	10
4	50 – 100	0,29	95,2%	Kemenerusan diskontinuitas 1-3 m, kekasaran permukaan kasar-agak kasar, celah pemisahan 1-5mm, material pengisi keras <5mm, sedikit lapuk.	Lembab	II
Bobot	Meta batupasir- meta batulempung	Sedang	Sangat Baik		19	10
5	1-5	1,38	99,8%	Kemenerusan diskontinuitas 1-3 m, kekasaran permukaan kasar-agak kasar, celah pemisahan >5mm, material pengisi keras <5mm hingga tidak ada, agak lapuk.	Kering	II
Bobot	Batupasir lanauan	Lebar	Sangat Baik		15	15
6	1-5	1,66	99,8%	Kemenerusan diskontinuitas 1-3 m, kekasaran permukaan kasar, celah pemisahan >5mm, material pengisi keras >5mm, agak lapuk.	Kering	II
Bobot	Batulempung pasiran	Lebar	Sangat Baik		13	15

Tabel 2. Nilai GSI di daerah penelitian.

STA	Material	Kelas	RMR	RMR Kering	GSI
1	Batulempung pasiran	R1	61	66	58
2	Batupasir lanauan	R1	59	67	59
3	Batupasir lanauan	R1	61	66	58
4	Meta batupasir-meta batulempung	R4	66	71	*66
5	Batupasir lanauan	R1	66	66	58
6	Batulempung pasiran	R1	64	64	56

Keterangan: *) GSI menurut Hoek dan Marinos (2000).

tersebut menunjukkan bahwa batuan sudah mengalami perubahan, sehingga tidak seperti pada kondisi awalnya. Pada rentang ini, massa batuan didefinisikan memiliki kondisi massa batuan terganggu oleh bidang diskontinuitas yang terbentuk oleh tiga atau lebih *joint set*. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa daerah penelitian terdapat potensi terjadinya bahaya geoteknik berupa keruntuhan struktur akibat keberadaan diskontinuitas yang memiliki peran dalam penurunan kekuatan massa batuan.

3.3 Kondisi Geologi Teknik Daerah Penelitian

Akibat aktivitas pertambangan, bentuk lahan di area penelitian berubah menjadi cekungan pada area bukaan tambang dan lahan gundukan pada area timbunan. Proses ini akan menurunkan kekuatan massa batuan akibat kontak massa batuan terhadap atmosfer meningkat dan terjadi peningkatan proses pelapukan (Alfaiz dan Wilopo, 2019).

Kekuatan massa batuan di daerah penelitian juga dikontrol oleh kondisi geologinya. Proses pembentukan dan mineral penyusun batuan memiliki peran dalam menentukan kekuatan batuan. Semakin dalam letak pembentukan batuan, maka suhu dan tekanan yang mempengaruhi pembentukan batuan akan semakin tinggi. Dengan demikian, batuan yang terbentuk adalah jenis batuan yang kompak. Akan tetapi, semakin luar letak batuan, maka semakin didominasi oleh material lempung

dengan tingkat pelapukan sedang hingga lapuk tinggi. Hal ini disebabkan karena semakin luar letak batuan maka pengaruh suhu dan tekanan akan semakin menurun, digantikan dengan faktor hidrologi yang lebih dominan menjadikan batuan dasar menjadi lapuk (Alfaiz dan Wilopo, 2019).

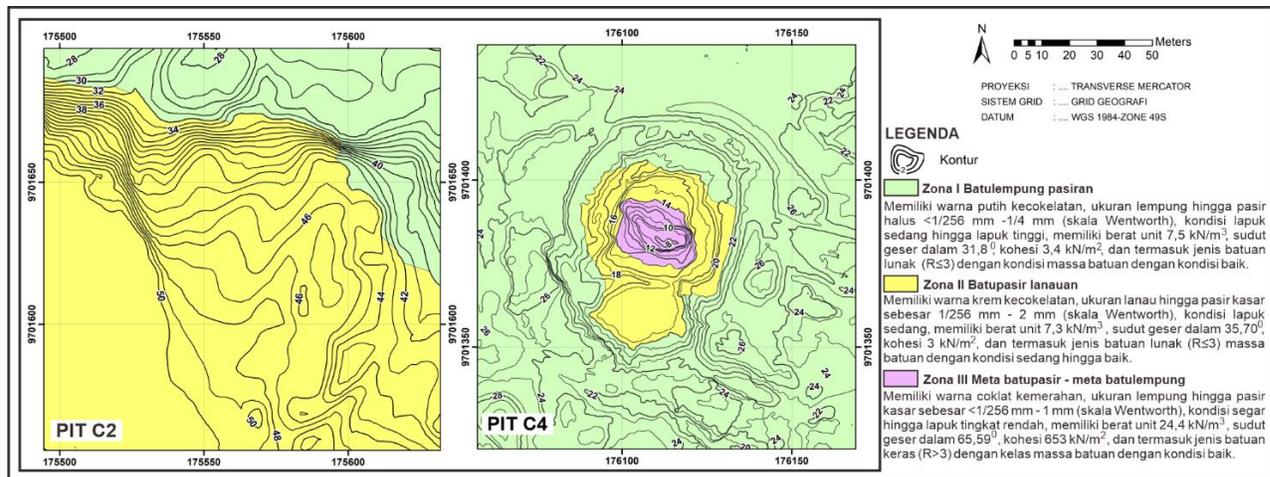
Berdasarkan kondisi ini, geologi teknik di daerah penelitian dikelompokkan menurut kesamaan karakteristiknya, meliputi kondisi massa batuan, sifat fisik (warna, ukuran butir, dan berat unit), dan sifat mekanik (kohesi dan sudut geser dalam). Menurut kesamaan tersebut, zona geologi teknik di daerah penelitian terbagi kedalam 3 zona geologi teknik (Gambar 1).

3.4 Kondisi Kestabilan Lereng di Daerah Penelitian

Kondisi kestabilan lereng di daerah penelitian ditentukan melalui analisis nilai *Slope Mass Rating (SMR)* dan nilai Faktor Keamanan (FK) dengan analisis kesetimbangan batas *Morgenstern-Price* melalui bantuan perangkat lunak. Dari analisis kedua metode tersebut, rincian kondisi stabilitas lereng di daerah penelitian adalah:

3.4.1 Kondisi Stabilitas Berdasarkan Nilai *Slope Mass Rating (SMR)*.

Dari nilai *Rock Mass Rating (RMR)* yang telah didapat, selanjutnya dilakukan koreksi terhadap hubungan sistem pengupasan lereng, kedudukan orientasi



Gambar 1. Peta geologi teknik daerah penelitian.

Tabel 3. Tipe potensi longsor berdasarkan analisis kinematik (Hoek dan Bray, 1981).

STA	Set Diskontinuitas (Strike/Dip)	Tipe Longsoran
1	-	Tidak teridentifikasi
2	Joint set 2 (N26°E/44°)	Jungkiran
3	Joint set 1 dan 2 (N26°E/44°)	Baji
4	Joint set 1 dan 2 (N122°E/16°)	Baji
5	-	Tidak teridentifikasi
6	-	Tidak teridentifikasi

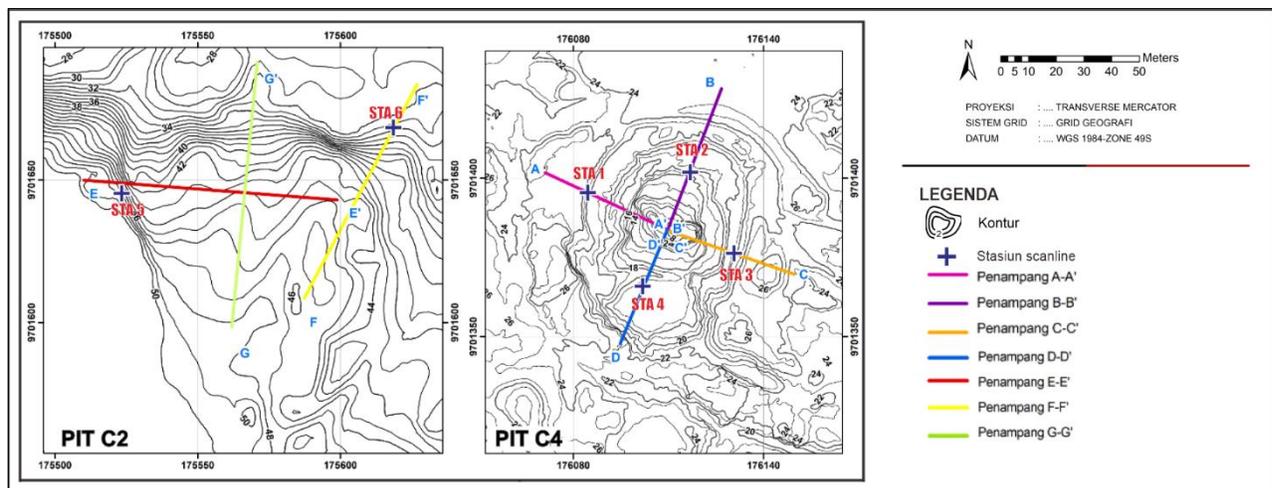
Tabel 4. Rekapitulasi perhitungan nilai SMR

Faktor Koreksi	STA 2	STA 3	STA 4
	Set 2	Set 1&2	Set 1&2
F1	0,7	0,15	0,15
F2	1	0,85	1
F3	-25	-60	-50
F4	0	0	0
RMR	59	61	66
SMR	41,50	53,35	58,50
	kelas III	kelas III	kelas III
Stabilitas	Stabil Sebagian	Stabil Sebagian	Stabil Sebagian

kekar terhadap kemiringan lereng untuk mendapatkan nilai stabilitas lereng melalui metode *slope mass rating*. Perhitungan *slope mass rating* hanya dilakukan pada set diskontinuitas yang memiliki potensi longsor tipe tertentu berdasarkan analisis kinematik menurut Hoek dan Bray (1981). Set diskontinuitas yang tidak menyebabkan terjadinya potensi longsor tipe baji/ bidang/ guling pada analisis kinematik menunjukkan jika arah orientasi diskontinuitas tidak memiliki pengaruh terhadap

stabilitas lereng, sehingga pada pada analisis ini tipe longsor belum teridentifikasi. Pada set diskontinuitas yang menyebabkan terjadinya suatu potensi tipe longsor tertentu, selanjutnya dilakukan koreksi sesuai ketentuan Romana (1985). Adapun hasil analisis kinematik menurut orientasi umum diskontinuitas di daerah penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.

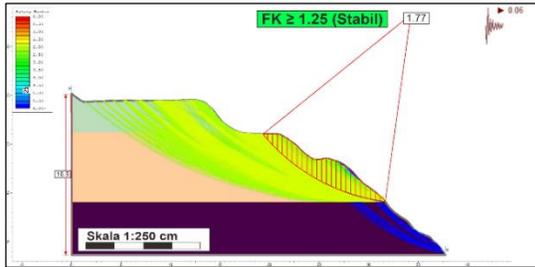
Potensi tipe longsor jungkiran yang terjadi pada STA 2, menurut Hoek dan Bray (1981) diakibatkan oleh



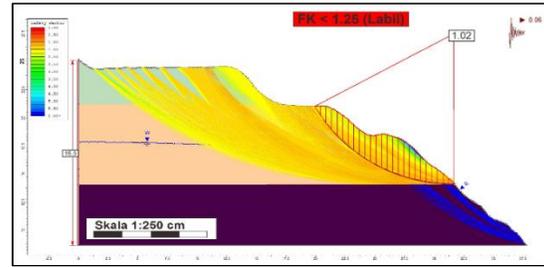
Gambar 2. Peta penampang sayatan analisis kestabilan lereng

Tabel 5. Material properti Pit C4

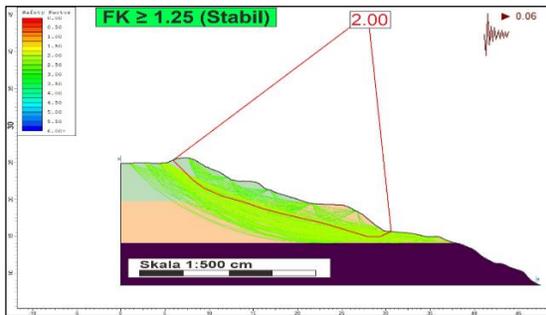
Warna	Jenis Material	Berat Unit (kN/m ³)	Kohesi (kN/m ²)	Phi (°)
	Batulempung pasiran	7,5	3,4	31,8
	Batupasir lanauan	7,3	3,0	35,7
	Meta batupasir – meta batulempung	24,4	652	65,59



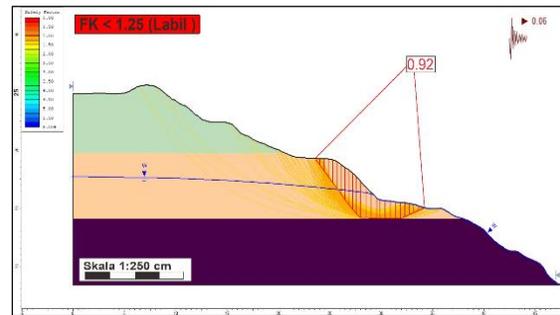
Gambar 3. Section A-A' kondisi kering



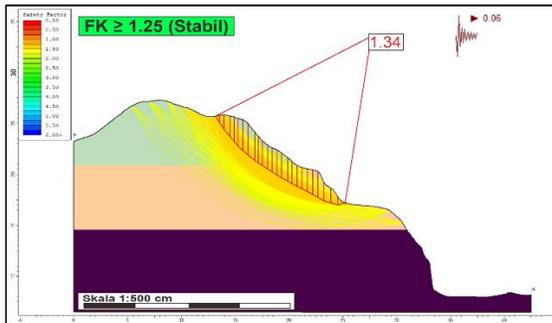
Gambar 4. Section A-A' kondisi jenuh sebagian.



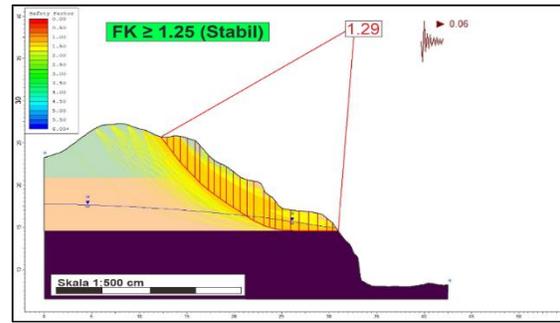
Gambar 5. Section B-B' kondisi kering



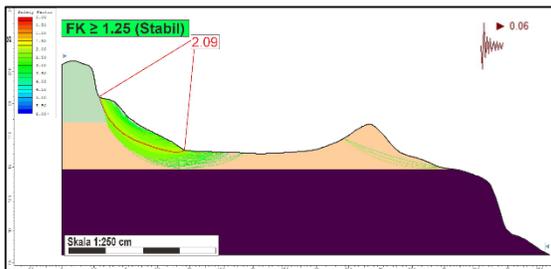
Gambar 6. Section B-B' kondisi jenuh sebagian



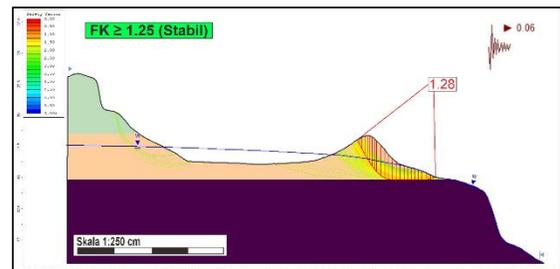
Gambar 7. Section C-C' kondisi kering



Gambar 8. Section C-C' kondisi jenuh sebagian.



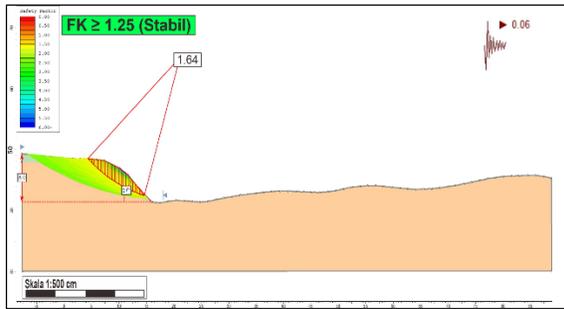
Gambar 9. Section D-D' kondisi kering



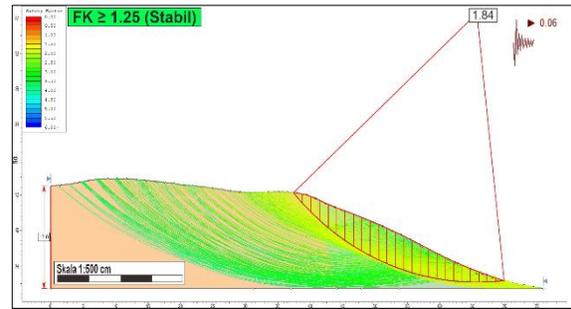
Gambar 10. Section D-D' kondisi jenuh sebagian

keberadaan set diskontinuitas yang memiliki orientasi berlawanan dengan *strike* lereng dan memiliki nilai

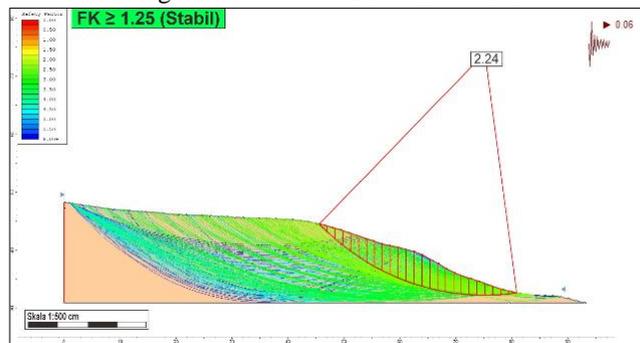
plunge dari bidang gelicir yang lebih kecil dari kemiringan permukaan lereng dikurangi sudut geser



Gambar 11. Section E-E' kondisi kering.



Gambar 12. Section F-F' kondisi kering.



Gambar 13. Section G-G' kondisi kering.

Tabel 6. Material properti Pit C2.

Warna	Jenis Material	Berat Unit (kN/m ³)	Kohesi (kN/m ²)	Phi (°)
	Batulempung pasiran	7,5	3,4	31,8
	Batupasir lanauan	7,3	3,0	35,7

dalam materialnya. Potensi tipe longsoran baji pada STA 3 dan 4 diakibatkan oleh keberadaan diskontinuitas yang saling berpotongan, dimana arah perpotongannya mendekati arah kemiringan muka lereng, dan *plunge* dari perpotongan diskontinuitas tersebut lebih besar dari sudut geser dalam materialnya. Penentuan tipe longsoran ini

mendukung analisis faktor koreksi SMR untuk menentukan tipe faktor koreksi yang berpengaruh pada faktor masukan rumus *slope mass rating*. Rekapitulasi perhitungan nilai SMR pada daerah penelitian ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 7. Hasil perhitungan nilai FK lereng aktual

Section	Nilai FK	Kondisi	Keterangan
Section A-A'	1,77	Kering	Stabil
	1,02	Jenuh sebagian	Labil
Section B-B'	2,00	Kering	Stabil
	0,92	Jenuh sebagian	Labil
Section C-C'	1,34	Kering	Stabil
	1,29	Jenuh sebagian	Stabil
Section D-D'	2,09	Kering	Stabil
	1,28	Jenuh sebagian	Stabil
Section E-E'	1,64	Kering	Stabil
Section F-F'	1,84	Kering	Stabil
Section G-G'	2,24	Kering	Stabil
Keterangan:		Lereng dalam kondisi tidak stabil	

Menurut perhitungan faktor koreksi SMR pada Tabel 4, nilai SMR di daerah penelitian didominasi dengan nilai SMR yang berada pada tipe kelas III batuan normal dengan stabilitas lereng yang stabil sebagian. Pada kondisi massa batuan dengan kondisi stabil sebagian, memiliki potensi longsoran berupa longsoran baji dan jungkiran.

3.4.2 Kondisi Stabilitas Berdasarkan Kesetimbangan Batas *Morgenstern Price*.

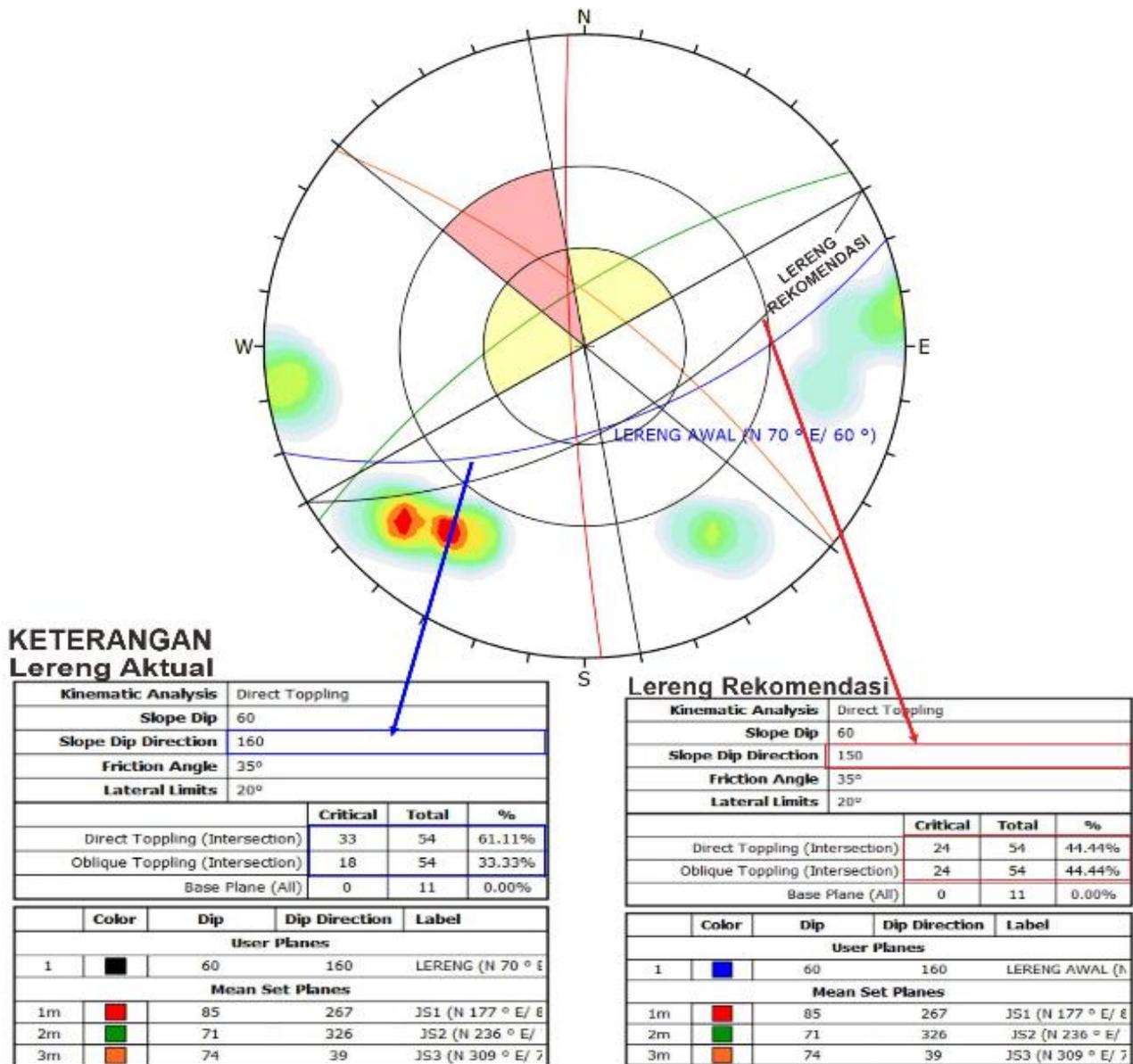
Analisis stabilitas lereng dengan perhitungan nilai faktor keamanan dilakukan melalui metode kesetimbangan batas *Morgenstern Price* untuk

mengetahui kondisi stabilitas lereng yang ditinjau dari parameter kekuatan material, koefisien kegempaan, geometri lereng dan air tanah. Terdapat 7 orientasi sayatan lereng yang akan dianalisis (Gambar 2).

Tipe bidang gelincir lereng didasarkan pada hasil analisis kinematik. Adapun rincian analisis kestabilan lereng dengan metode batas kesetimbangan adalah sebagai berikut:

3.4.2.1 PIT C4

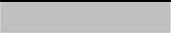
Pada Pit C4 memiliki 4 sayatan penampang, terdiri dari *section A-A'*, *section B-B'*, *section C-C'*, dan *section D-D'*. Pada wilayah ini tersusun atas material meta



Gambar 14. Rekayasa perubahan bukaan lereng melalui analisis kinematik.

Tabel 8. Perbandingan geometri perbaikan pada *section A-A'*.

Kondisi	Tinggi Overall	Sudut Overall	Jumlah Bench	Tinggi Bench	Sudut Bench	FK
Aktual	16,5	33	3	3,4	57	1,02
				3,5	39	
				9,6	42	
Perbaikan	16	32	3	5	40	1,53
				5	35	
				6	40	

Ket:  Kondisi lereng tidak stabil

Tabel 9. Perbandingan geometri perbaikan pada *section B-B'*.

Kondisi	Tinggi Overall	Sudut Overall	Jumlah Bench	Tinggi Bench	Sudut Bench	FK	Ket
Aktual	16,5	23	4	2,5	31	0,92	Labil
				3,2	25		
				4	58		
				6,8	30		
Perbaikan	16	27	3	5	35	1,29	Stabil
				5	35		
				6	40		

Ket:  Kondisi lereng tidak stabil

batupasir-meta batulempung, batupasir lanauan, dan batulempung pasiran. Analisis dilakukan pada kondisi kering dan jenuh sebagian. Material properti wilayah penelitian ditunjukkan dengan legenda warna sebagaimana digambarkan pada pada Tabel 5.

Adapun gambaran simulasi *section A-A'* ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4, *section B-B'* ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6, *section C-C'*, ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8, dan *section D-D'* ditunjukkan pada Gambar 9 dan 10.

3.4.2.2 PIT C2

Pada Pit C2 ini tersusun atas 3 sayatan penampang, terdiri dari *section E-E'*, *section F-F'*, dan *section G-G'*. Pada wilayah ini tersusun atas material batupasir lanauan dan batulempung pasiran. Analisis dilakukan pada kondisi kering. Hal ini karena mengingat wilayah ini memiliki elevasi yang jauh dari ketinggian muka air tanah di wilayah penelitian. Material properti wilayah penelitian ditunjukkan dengan legenda warna sebagaimana digambarkan pada pada Tabel 6. Adapun gambaran simulasi *section E-E'* ditunjukkan pada Gambar 11, *section F-F'* ditunjukkan pada Gambar 12, dan *section G-G'* ditunjukkan pada Gambar 13.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, hasil rekapitulasi kondisi faktor keamanan lereng aktual yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 7.

3.5 Rekomendasi Stabilisasi Lereng

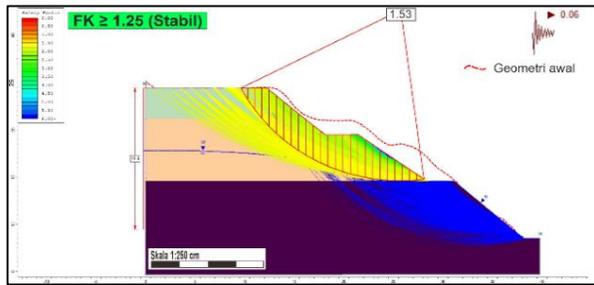
Berdasarkan analisis yang telah dilakukan didapatkan rekomendasi stabilisasi sebagai berikut:

3.5.1 Stabilisasi Lereng Berdasarkan *Slope Mass Rating*

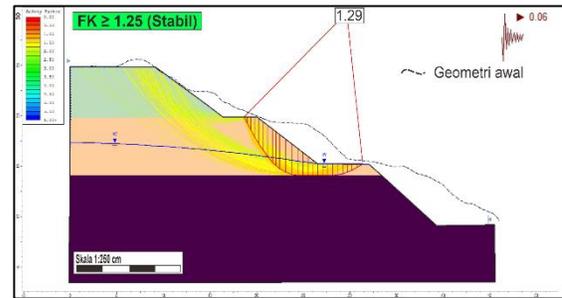
Menurut analisis yang telah dilakukan, terdapat 3 titik lokasi yang berpotensi terjadi kegagalan lereng akibat keberadaan orientasi diskontinuitas. Berikut adalah rekomendasi stabilisasi yang diberikan berdasarkan analisis SMR. Tindakan stabilisasi lereng tipe longsoran Jungkiran adalah ekskavasi pelandaian lereng/perubahan arah *strike* lereng dan kontrol terhadap reruntuhan dengan pembuatan saluran penangkapan (*toe ditch*) sebagai pengamanan keselamatan pekerja terhadap kemungkinan terjadinya longsor. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka diberikan rekomendasi perubahan bukaan lereng sebesar 10^0 ke arah Utara, sehingga kemungkinan terjadinya longsor ini menjadi di bawah 50% (Gambar 14).

Tindakan stabilisasi lereng dengan tipe runtuh baji adalah pada lereng material batuan keras STA 4 dengan pemasangan penyangga struktural dengan *bolt* atau ankur, sedangkan pada material batuan lunak STA 3 dapat diterapkan kontrol terhadap runtuh baji dengan membuat saluran penangkap.

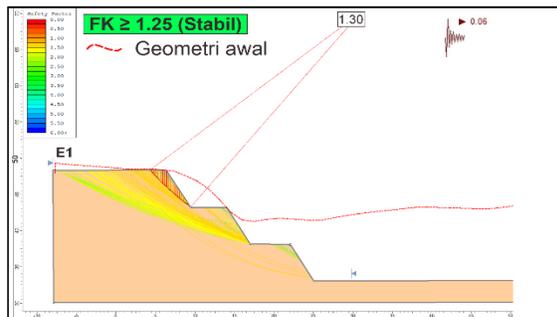
Tipe longsor Busur tidak dapat dilakukan analisis kinematik, sehingga tidak dilakukan koreksi analisis *slope mass rating*. Pada lereng yang tidak memiliki potensi longsor akibat keberadaan diskontinuitas seperti STA 1, STA 5, dan STA 6, perlu dilakukan analisis longsor busur dan analisis penyebab longsor parameter selain diskontinuitas dengan metode kesetimbangan batas *Morgenstern-price*.



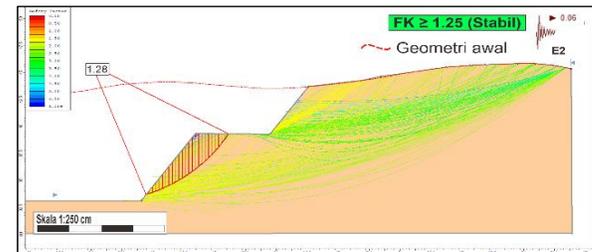
Gambar 15. Nilai faktor keamanan hasil perbaikan lereng section A-A



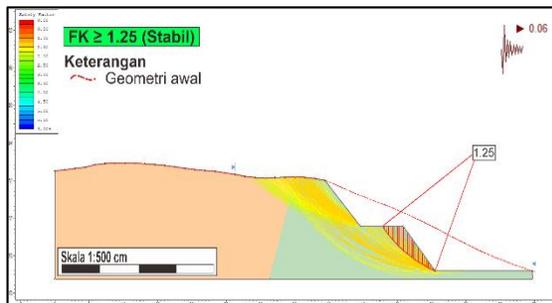
Gambar 16. Nilai faktor keamanan hasil perbaikan lereng section B-B.



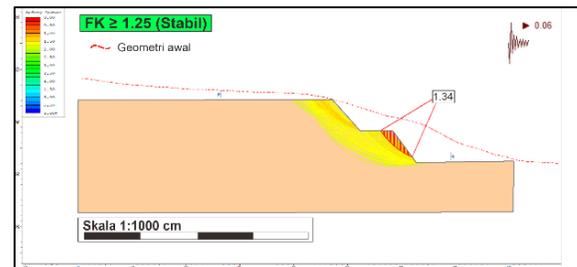
Gambar 17. Nilai faktor keamanan rekomendasi overall lereng E-E' barat



Gambar 18. Nilai faktor keamanan rekomendasi overall lereng E-E' timur



Gambar 19. Nilai faktor keamanan rekomendasi overall lereng F-F'.



Gambar 20. Nilai faktor keamanan rekomendasi overall lereng G-G'

3.5.2 Stabilisasi Lereng Berdasarkan Nilai Faktor Keamanan

3.5.2.1 Perbaikan Lereng Tidak Aman ($FK < 1,25$).

Berikut adalah hasil analisis rekomendasi desain perbaikan. Untuk section A-A', direkomendasikan dilakukan pemotongan kepala longsor dan pelandaian lereng untuk mengurangi gaya dorong lereng. Desain geometri lereng tunggal direkomendasikan pada sudut $35-40^{\circ}$ dengan ketinggian 5-6 meter. Sudut lereng keseluruhan sebesar 32° dengan tinggi mencapai 16 m. Adapun simulasi perbaikan lereng (Gambar 15) dan rekapitulasi perbandingan perubahan (Tabel 8).

Rekomendasi untuk Section B-B' berupa dilakukan untuk melakukan pelandaian lereng, pemanjangan bench floor untuk mengurangi gaya dorong

lereng dan menambah gaya penahan. Desain geometri lereng tunggal direkomendasikan pada sudut $35-40^{\circ}$ dengan ketinggian 5-6 meter. Sudut lereng keseluruhan sebesar 27° dengan tinggi mencapai 16 m. Adapun simulasi perbaikan lereng (Gambar 16) dan rekapitulasi perbandingan perubahan (Tabel 9).

3.5.2.2 Optimalisasi Lereng Tidak Aman ($FK \geq 1,25$).

Berikut adalah hasil analisis rekomendasi desain optimalisasi lereng. Untuk Section E-E', section F-F' dan section G-G' diberikan rekomendasi pembukaan lereng untuk pengoptimalan sudut lereng dengan konfigurasi yang direkomendasikan pada lereng tunggal sudut bukaan sebesar 55° , ketinggian 6 m, dan lebar lereng tunggal minimal $2/3$ tinggi lereng. Sudut lereng keseluruhan sebesar 37° dengan tinggi mencapai 15 m.

Tabel 10. Rekomendasi geometri lereng E-E'

Jumlah Bench	Konfigurasi Bench		Overall Slope		Nilai FK Min	
	Tinggi	Lebar	Sudut	Tinggi		Sudut
3	5	5	60	15	39	1,30
2	6	6	55	10,5	35	1,28
	4,5	6	55			

Adapun simulasi rekomendasi lereng pada *section* E-E' barat (Gambar 17), *section* E-E' timur (Gambar 18), dan rekapitulasi rekomendasi konfigurasi geometri (Tabel 10). Simulasi rekomendasi lereng pada *section* F-F' (Gambar 19) dan rekapitulasi rekomendasi konfigurasi geometri lereng bukaan ditunjukkan pada Tabel 11. Simulasi rekomendasi lereng pada *section* G-G' (Gambar 20) dan rekapitulasi rekomendasi konfigurasi geometri lereng bukaan ditunjukkan pada Tabel 12.

Analisis kestabilan lereng dengan menggunakan penggabungan metode RMR, SMR, dan Morgenstern Price dapat mengatasi kekurangan antara setiap metodenya, sehingga dapat memberikan suatu rekomendasi yang lebih sesuai dan dapat meminimalisir penyebab terjadinya suatu kegagalan lereng menurut faktor penyebabnya. Dengan menggunakan metode RMR, SMR, dan kesetimbangan batas bukan hanya dapat memberikan suatu rekomendasi geometri lereng sebagaimana penelitian Setiawan dan Samudera (2018), tetapi juga dapat menentukan terkait dengan tipe bidang gelincir dan faktor yang dapat menyebabkan terjadinya ketidakstabilan lereng.

Analisis dengan prinsip kesetimbangan batas dengan metode *Morgenstern-Price* merupakan metode yang paling komprehensif dibandingkan dengan metode lainnya. Metode ini dapat menganalisis semua bentuk bidang gelincir dan dapat secara akurat digunakan pada semua jenis material dan jenis geometri lereng, semua kondisi kesetimbangan (momen dan gaya) dipertimbangkan, dan memiliki ketelitian yang tinggi karena fungsi variabel pada resultan serta hubungan antara gaya geser (X) dan gaya normal (E) disesuaikan dengan fungsi penggunaannya (Nash dalam Abramson, dkk., 2002).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kondisi geologi teknik di daerah pit C2 dan C4 blok Mayang PT Menara Cipta Mulia terbagi menjadi 3 zona, yaitu: (1) zona meta batupasir - meta batulempung, (2) zona batupasir lanauan, dan (3) zona batulempung pasiran.

Berdasarkan kondisi massa batuanannya, wilayah penelitian didominasi dengan massa batuan kelas sedang hingga baik (Bieniawski, 1989), dan memiliki nilai *Slope Mass Rating* dalam kondisi stabilitas stabil sebagian (Romana, 1985). Daerah yang masuk pada kelas stabil

Tabel 11. Rekomendasi geometri lereng F-F'

Tinggi Overall	Sudut Overall	Jumlah Bench	Tinggi Bench	Sudut Bench	FK
12	37	2	6	50	1,25
			6	52	

sebagian atau berpotensi longsor berada pada STA 2 yang termasuk pada lereng B-B' memiliki tipe longsor jungkiran serta STA 3 pada lereng C-C' dan STA 4 pada lereng D-D' dengan potensi longsor tipe baji.

Berdasarkan nilai FK lereng aktual pit C2 dan C4 blok Mayang PT Menara Cipta Mulia, lereng C-C', lereng D-D', lereng E-E', lereng F-F' dan G-G' memiliki kondisi stabil ($FK \geq 1,25$), namun terdapat dua lereng yang memiliki kondisi tidak stabil ($FK < 1,25$) saat kondisi jenuh sebagian, yaitu lereng A-A' dengan FK 1,02 dan lereng B-B' dengan FK 0,92.

Rekomendasi perbaikan pada desain lereng A-A' dan lereng B-B' supaya lereng menjadi aman ($FK \geq 1,25$) yaitu melakukan perubahan geometri lereng melalui pelandaian lereng keseluruhan, pemunduran posisi *crest*, dan pemotongan lereng tunggal. Selain itu, dilakukan pemotongan kepala longSORan pada daerah titik puncak kejenuhan air tanah untuk mengurangi gaya dorong lereng. Rekomendasi desain lereng optimal, yaitu (1) kondisi jenuh sebagian: sudut lereng tunggal 35- 40⁰, tinggi 5 m, dan lebar lereng tunggal minimal 2/3 tinggi lereng, dengan *overall* lereng disarankan sudut 32⁰ dan tinggi 16 m; dan (2) kondisi kering: sudut lereng tunggal 55⁰, tinggi 6 m, dengan lebar lereng tunggal minimal 2/3 tinggi lereng, dengan *overall* lereng disarankan sudut lereng sebesar 37⁰ dan tinggi 15 m.

Ucapan Terima Kasih

Dengan selesainya artikel ilmiah ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak PT Menara Cipta Mulia yang telah memberikan izin dan memfasilitasi penulis dalam pengambilan data, serta Bapak Ir. Achmad Albani, S.T., selaku donatur dalam penelitian ini, sehingga hasil analisis penelitian dapat dipublikasikan melalui artikel ilmiah ini.

Daftar Pustaka

- Alfaiz, M.N, dan Wilopo, W. 2019. *Pengaruh Alterasi Hidrotermal terhadap Kejadian Longsor di Daerah Pasirpanjang, Kecamatan Salem, Kabupaten Brebes, Provinsi Jawa Tengah*. Prosiding Seminar Nasional Kebumian XII, 630-640.
- Ali, R. K., Najib, N., dan Nasrudin, A. 2017. *Analisis Peningkatan Faktor Keamanan Lereng Pada Areal Bekas Tambang Pasir Dan Batu di Desa*

- Ngablak, Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati. Promine Journal, 5 (1).
- Anbalagan, R., Sharma, S., dan Raghuvanshi, T. 1992. *Rock mass stability evaluation using modified SMR approach*. Proceedings of 6th National Symposium on Rock Mechanics, 68-258. Diambil dari [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(92\)90053-2](https://doi.org/10.1016/0013-7952(92)90053-2). (Kementerian Pekerjaan Umum, 2017).
- Bargawa, W. S. 2014. *Kajian Lingkungan Hidup Strategis Sektor Pertambangan Studi Kasus Pertambangan Batuan Basalt Di Kabupaten Banyumas*. Prosiding Seminar Nasional Kebumihan IX Tahun 2014 UPN Veteran Yogyakarta, 1-13. ISSN 978-602-8461-29-0.
- Bieniawski, Z.T. 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual For Engineers And Geologists In Mining, Civil, And Petroleum Engineering*, 51-62. New York: John Wiley & Sons.
- Frans, J. S., dan Nurfalaq, M. H. 2019. *Studi Geoteknik Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan Lereng Tambang Batubara*. Indonesian Mining Professionals Journal, 1, 12-21.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C., dan Corkum, B. 2002. *Hoek-Brown failure criterion 2002 edition*. Proceedings of NARMS-Tac, 1 (1), 267-273.
- Kuswardani, I. F., dan Anggraini, Y. I. 2021. *Revisi UU Minerba sebagai Tonggak Baru Pertumbuhan Ekonomi Bangsa*. Jurnal Teknologi Sumberdaya Mineral, 2(1), 1-6. <https://doi.org/10.19184/jeneral.v2i1.25880>
- Metriani, R., Anaperta, Y. M., dan Saldy, T. G. 2019. *Analisis Balik Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Bishop yang disederhanakan Pada Front II Existing Tambang Quarry PT. Semen Padang, Sumatera Barat*. Bina Tambang, 44.
- Pamuji, A. F., Sophian, R. I., dan Muslim, D. 2018. *Pengaruh Geological Strength Index GSI Terhadap Nilai Faktor Keamanan Melalui Simulasi Kestabilan Lereng Tambang, Kecamatan Batu Kajang, Kabupaten Paser, Kalimantan Timur*. Padjadjaran Geoscience Journal 2(6), 487-497. ISSN: 2597-4033.
- Ridwan, M., Hasan, H., Winarno, A., Oktaviani, R., dan Trides, T. 2022. *Penentuan Kelas Massa Batuan dengan Klasifikasi Rock Mass Rating (RMR) dan Slope Mass Rating (SMR) Pada Formasi Balikpapan dan Pulau Balang di Kota Samarinda*. Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL, 10(2), 12-17.
- Rochmanto, B., dan Stefano A. F. 2012. *Karakteristik Morfologi Pantai Malusetasi Berdasarkan Data Spasial Kabupaten Barru Provinsi Sulawesi Selatan*, 2-8. ISBN: 978-979-127255-0-6.
- Romana, M. 1985. *New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes*. Proceedings of the International Symposium on the Role of Rock Mechanics in Excavations for Mining and Civil Works, 49-53
- Salim, M. 2022. *Geologi dan Studi Porositas serta Permeabilitas Batuan Terhadap Kestabilan Lereng Highwall-Lowwall Tambang Terbuka, Desa Mangkalapi, Kecamatan Teluk Kepayang, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan*. (Disertasi). Universitas Pembangunan Nasional Veteran, Yogyakarta.
- Saptono, S. 2019. *Sistem Klasifikasi Massa Batuan untuk Tambang Terbuka*. Yogyakarta: UPN Veteran Yogyakarta. ISBN 978-623-7594-11.
- Saptono, S., Yulianto, M. R., Vergiagara, V., dan Sofyan, H. 2020. *Rock Mass Rating and Geological Strength Index of Rock Masses of Indonesia Coal Mining Areas*. Seminar Nasional Informatika, 1(1), 415-426.
- Saputra, R. A., dan Heriyadi, B. 2019. *Analisis Klasifikasi Massa Batuan dan Potensi Longsor pada Area Pit Timur Tambang Terbuka PT. Allied Indo Coal Jaya, Kota Sawalunto, Sumatera Barat*. Bina Tambang, 4(3), 207-217.
- Tiambunan, D., Irvani, I., dan Fahraini, F. 2020. *Analisa Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Fellenius Secara Manual dan Software Slide Rocscience 6.0 Studi Kasus: TB 1.42 Pemali PT Timah Persero Tbk*. Mineral, 31, 39-49. Diambil dari <https://doi.org/10.33019/mineral.v3i1.1575>.
- Waskita, A. D., Febriadi, A., Rampan, R., Oktavianto, H., dan Patmo, N. 2020. *Analisis Kestabilan Lereng Batuan Lunak dengan Model Material Validated Transition pada Rancangan PIT Wara 2020 PT Adaro Indonesia*. Prosiding Temu Profesi Tahunan PERHAPI, 865-874. Diambil dari <https://prosiding.perhapi.or.id/index.php/prosiding/article/view/221>.
- Wentworth, C.K. 1922. *A scale of grade and class terms for clastic sediments*. The Journal of Geology, 30(5), 377-392. <http://www.jstor.org/stable/10.2307/30063207>