



Analisis Risiko dengan Pendekatan Semi-Kuantitatif untuk Stabilitas Lereng Highwall pada PIT B1 PT. Pancaran Surya Abadi Kabupaten Kutai Kartenegara

Melki Marten^{1*}, Revia Oktaviani², Windhu Nugroho³, Tommy Trides⁴,
Albertus Juvensius Pontus⁵

^{1,2,3,4,5} Teknik Pertambangan, Universitas Mulawarman, Indonesia

Email: melkimarten74@qmsail.com ^{1*}, revia.oktaviani@gmail.com ²

*Penulis Korespondensi: melkimarten74@qmsail.com

Abstract. *Guaranteeing the geotechnical stability of slopes is an absolute prerequisite for the sustainability of open pit mining operations, considering the potential for multidimensional losses due to slope failure. The specific geological conditions at PIT B1 PT. Pancaran Surya Abadi, which is composed of sedimentary rocks (coal, sandstone, and claystone), are susceptible to degradation and softening, especially due to high rainfall that causes an increase in pore water pressure and a decrease in rock shear strength. This study aims to analyze the stability of highwall slopes using the Morgenstern-Price Method to determine the Safety Factor (SFF) value according to Ministerial Decree number 1827 K/30/MEM/2018, and continued with a semi-quantitative risk analysis. The analysis results show that the initial slope has a static SFF of 0.77 (Not Safe). After redesign, the recommended optimal single slope geometry is: sandstone (Height 5 m, Angle 20°, Berm 5 m) and claystone (Height 10 m, Angle 60°, Berm 5 m). This redesign resulted in a FK of 1.34 (Safe). Sensitivity analysis to groundwater level rise (GTL) showed that the GTL value remained safe ($GTL \geq 1.30$) up to a 30% increase in GTL. However, a 40% to 80% increase in GTL caused the GTL to decrease (1.28–1.21), classified as Medium Risk. A 100% increase in GTL drastically reduced the GTL to 1.05, classified as High Risk. This study emphasizes the need for close monitoring and additional drainage to maintain the long-term stability of slopes under the influence of rainfall.*

Keywords: *Groundwater Level; Risk Analysis; Risk Matrix; Safety Factor; Semi-Quantitative.*

Abstrak. Jaminan atas kestabilan geoteknik lereng merupakan prasyarat mutlak bagi keberlanjutan operasi tambang terbuka, mengingat potensi kerugian multidimensi akibat keruntuhan lereng. Kondisi geologi spesifik di PIT B1 PT. Pancaran Surya Abadi yang tersusun atas batuan sedimen (batubara, batupasir, dan batulempung) rentan terhadap degradasi dan pelunakan, terutama akibat curah hujan tinggi yang menyebabkan peningkatan tekanan air pori dan penurunan kuat geser batuan. Penelitian ini bertujuan utama menganalisis kestabilan lereng highwall dengan Metode Morgenstern-Price untuk menentukan nilai Faktor Keamanan (FK) sesuai Kepmen nomor 1827 K/30/MEM/2018, dan dilanjutkan dengan analisis risiko semi-kuantitatif. Hasil analisis menunjukkan bahwa lereng awal memiliki FK statis sebesar 0,77 (Tidak Aman). Setelah dilakukan redesain, geometri lereng tunggal optimal yang direkomendasikan adalah: batupasir (Tinggi 5 m, Sudut 20°, Berm 5 m) dan batulempung (Tinggi 10 m, Sudut 60°, Berm 5 m). Redesain ini menghasilkan FK sebesar 1,34 (Aman). Analisis sensitivitas terhadap kenaikan muka air tanah (MAT) menunjukkan bahwa nilai FK tetap aman ($FK \geq 1,30$) hingga kenaikan MAT 30%. Namun, kenaikan MAT 40% hingga 80% menyebabkan FK turun (1,28–1,21), diklasifikasikan sebagai Risiko Menengah. Kenaikan MAT 100% menurunkan FK drastis hingga 1,05, diklasifikasikan sebagai Risiko Tinggi. Studi ini menekankan perlunya pemantauan ketat dan penambahan drainase untuk menjaga stabilitas jangka panjang lereng di bawah pengaruh curah hujan.

Kata kunci: Analisis Risiko; Faktor Keamanan; Matriks Risiko; Muka Air Tanah; Semi-Kuantitatif.

1. LATAR BELAKANG

Jaminan atas kestabilan geoteknik lereng menjadi tantangan utama dan prasyarat mutlak bagi keberlanjutan operasi. Keruntuhan lereng (*slope failure*) berpotensi menyebabkan kerugian multidimensi, mulai dari korban jiwa, kerusakan alat berat, hingga terhentinya produksi, sehingga memicu kerugian finansial yang signifikan.

Kondisi geologi spesifik di PIT B1 PT. Pancaran Surya Abadi, yang dicirikan oleh formasi batuan sedimen tersier, terdiri dari lapisan batubara, batupasir dan batulempung

menghadirkan kompleksitas geoteknik. Lapisan batuan ini rentan terhadap degradasi dan pelunakan, terutama dipengaruhi oleh curah hujan tinggi yang tipikal di Kalimantan. Masuknya air hujan menyebabkan peningkatan tekanan air pori di dalam massa batuan, yang secara fundamental mengurangi tegangan efektif antar partikel. Penurunan tegangan efektif ini secara langsung menurunkan kuat geser tanah (kohesi dan sudut geser dalam) dan menjadi pemicu utama instabilitas lereng. Oleh karena itu, diperlukan analisis kestabilan yang akurat dan komprehensif.

Studi kestabilan lereng pada umumnya hanya mengandalkan perhitungan Faktor Keamanan (FK) dan kurang mengintegrasikan aspek risiko. Dengan demikian, terdapat pendekatan yang berbeda dalam menggabungkan hasil FK dengan analisis risiko semi-kuantitatif untuk memberikan rekomendasi mitigasi yang lebih holistik dan ekonomis.

Penelitian ini bertujuan utama untuk melakukan analisis kestabilan lereng highwall di PT. Pancaran Surya Abadi dengan Metode Morgenstern-Price guna menentukan nilai Faktor Keamanan (FK) sesuai dengan Kepmen nomor 1827 K/30/MEM/2018. Lebih lanjut, temuan FK tersebut akan dijadikan dasar untuk menganalisis risiko keruntuhan lereng melalui pendekatan semi-kuantitatif, yang secara sistematis mengintegrasikan kenaikan muka air tanah dengan konsekuensi kerugian potensial. Studi ini menekankan bahwa meskipun stabil, pemantauan terhadap perubahan muka air tanah sangat penting untuk menjaga integritas dan kestabilan jangka panjang lereng." (Prasetyo, 2011)

2. KAJIAN TEORITIS

Kestabilan Lereng

Kestabilan dari lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat dinyatakan secara sederhana sebagai gaya-gaya penggerak yang bertanggung jawab terhadap kestabilan lereng tersebut. Pada kondisi gaya penahan (terhadap longsoran) lebih besar dari gaya penggerak, maka lereng tersebut akan berada pada kondisi yang aman (stabil). Tetapi, jika gaya penahan lebih kecil dari gaya penggeraknya, maka lereng tersebut akan terjadi longsoran. Sebenarnya, longsoran merupakan suatu proses alami yang terjadi untuk mencapai kondisi kestabilan lereng yang baru, dimana gaya penahan lebih besar daripada gaya penggeraknya. (Arif, 2016), Hasil analisis kestabilan lereng pada tambang terbuka mineral X menunjukkan bahwa tingkat keamanan lereng dipengaruhi signifikan oleh kondisi geologi dan geometri lereng yang diterapkan. Faktor keamanan yang dihitung menjadi indikator utama untuk menilai potensi longsor dan menjadi dasar dalam merancang mitigasi risiko." (Azizi, dkk 2012)

Sifat Fisik batuan

Penentuan sifat fisik batuan seperti densitas, porositas, dan serapan air sangat esensial karena nilai-nilai ini merupakan parameter dasar yang secara langsung memengaruhi kekuatan dan kualitas batuan. Sifat-sifat ini menjadi masukan utama dalam perencanaan rekayasa geoteknik, seperti desain fondasi, penambangan, maupun analisis kestabilan lereng (Rai, dkk 2010) pada (Guskarnali, dkk 2020)

Sifat Mekanik Batuan

Sifat mekanik batuan dianalisis menggunakan kriteria keruntuhan geser pada penelitian ini yaitu kriteria *Mohr-Coulomb*, yang menyatakan kemampuan batuan atau massa batuan untuk menahan tegangan geser sebelum mengalami keruntuhan. Pengujian kuat geser batuan sangat penting untuk menentukan parameter *Mohr-Coulomb* (yaitu kohesi dan sudut geser dalam) yang merupakan kriteria kegagalan fundamental dalam mekanika batuan. Hasil pengujian geser langsung, terutama pada bidang diskontinuitas, memberikan data yang tak tergantikan untuk menganalisis stabilitas massa batuan pada desain lereng dan terowongan (Brady 1993)

Metode Morgenstern-Price

Metode Morgenstern-Price adalah metode kesetimbangan batas (limit equilibrium) yang lebih komprehensif untuk analisis kestabilan lereng, dirancang untuk mengatasi keterbatasan metode irisan sederhana (Abramson et al., 2002). Metode Morgenstern-Price merupakan salah satu pendekatan analisis keseimbangan batas (limit equilibrium) yang digunakan untuk menghitung faktor keamanan (FK) lereng dengan mempertimbangkan gaya antar-slice secara lebih akurat (Sepriadi, dkk 2024)

Analisis Risiko

Analisis risiko adalah suatu kegiatan sistematis dengan menggunakan informasi yang ada untuk mendeterminasi seberapa besar konsekuensi dan tingkat keseringan suatu kejadian yang ditimbulkan. Ada tiga metode analisis semi kuantitatif diantaranya analisis kualitatif, analisis semi kuantitatif, dan analisis kuantitatif (Ummi dkk, 2018)

Analisis risiko merupakan bagian dari manajemen risiko yang berfokus pada pemahaman sifat risiko dan penentuan tingkat risikonya. Analisis risiko merupakan proses yang sistematis untuk menentukan tingkat kemungkinan (probabilitas atau frekuensi) terjadinya suatu peristiwa yang tidak pasti (risiko) dan menilai dampak atau konsekuensi potensial yang ditimbulkannya terhadap pencapaian tujuan keamanan lereng (Read, 2009)

Metode Semi-Kuantitatif

Dalam beberapa kasus, kesulitan-kesulitan ini mungkin dapat diatasi sebagian dengan menggunakan deskripsi konsekuensi kualitatif bersama dengan data kemungkinan kuantitatif

berdasarkan analisis probabilistik. Pendekatan semi-kuantitatif mungkin berguna dalam memeringkat dan memprioritaskan risiko (Read, 2009). Sedangkan pada (AS/NZS 4360:2004), analisis semi kuantitatif mempertimbangkan kemungkinan untuk menggabungkan 2 elemen, yaitu probabilitas (*Likelihood*) (dan frekuensi).

Analisis Sensitivitas

Analisis Sensitivitas didefinisikan sebagai teknik yang digunakan untuk menentukan bagaimana variabel independen tertentu seperti parameter input geoteknik (misalnya kohesi atau sudut geser dalam) yang mempengaruhi variabel dependen, yaitu Faktor Keamanan (FK) lereng (USACE, 2003).

Kriteria Frekuensi (Likelihood)

Kemungkinan adalah nilai yang menggambarkan kecenderungan terjadinya konsekuensi dari sumber risiko pada setiap tahapan pekerjaan. Kemungkinan tersebut akan ditentukan ke dalam kategori tingkat kemungkinan yang mempunyai nilai rating yang berbeda, yaitu: *Almost Certain, Likely, Unusual, Remotely Possible, Conceivable, dan Practically Impossible* (AS/NZS 4360 : 2004).

Kriteria Keparahan

Konsekuensi adalah nilai yang menggambarkan suatu keparahan dari efek yang ditimbulkan oleh sumber risiko pada setiap tahapan pekerjaan. Analisis konsekuensi ini sangat berguna untuk memperoleh suatu informasi mengenai cara mencegah dan meminimalkan dampak terjadinya kecelakaan akibat suatu proses pekerjaan. Tingkat konsekuensi metode analisis semi kuantitatif dibagi ke dalam beberapa kategori, yaitu: *Catastrophic, Disaster, Very Serious, Serious, Important, dan Noticeable* (AS/NZS 4360 : 2004).

Matriks Risiko

kriteria *likelihood* dan *consequence risk matriks* yang digunakan masing-masing adalah frekuensi di mana kejadian sering terjadi dan akibat yang akan diterima pekerja. (Rivaldi, 2024), sedangkan pada (Andeka, 2021) Setelah menentukan kriteria nilai kemungkinan (*likelihood*) dan dampak (*impact*), selanjutnya melakukan tahap penilaian terhadap kemungkinan risiko yang ada.

Klasifikasi Risiko (Tingkat Risiko)

Tingkat risiko harus menjadi dasar untuk zonasi penggunaan lahan dan pengambilan keputusan mitigasi, memastikan bahwa risiko diturunkan ke tingkat yang Dapat Diterima (*Acceptable*) oleh masyarakat atau otoritas terkait (Fell et al., 2005). Industri pertambangan secara inheren memiliki keragaman bahaya yang tinggi dalam sistem yang kompleks, sehingga

sering kali kurangnya klasifikasi yang koheren dan terintegrasi menjadi tantangan dalam manajemen risiko (Mohammadi et al., 2023)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian dengan pendekatan semi-kuantitatif dimana data hasil uji laboratorium yaitu sifat fisik dan sifat mekanik digunakan sebagai parameter masukan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan sedangkan asumsi kenaikan muka air tanah sebagai data masukan untuk analisis risiko keamanan lereng. Proses penelitian ini terdiri dari tahap uji laboratorium pada sampel, tahap analisis nilai keamanan lereng awal kemudian dilakukan redesain untuk mendapatkan rekomendasi lereng akhir yang aman, kemudian dilakukan uji analisis risiko.

Pengujian uji laboratorium dilakukan untuk mendapatkan nilai sifat-sifat material seperti sifat fisik seperti bobot isi asli dan bobot isi jenuh dan sifat mekanik seperti kohesi dan sudut geser dalam.

Tahap analisis keamanan lereng dilakukan dengan mendapatkan nilai faktor keamanan lereng awal menggunakan metode *morngenster-price* yang kemudian dilakukan simulasi perbaikan geometri lereng untuk mendapatkan rekomendasi akhir desain lereng yang stabil dan aman. Kemudian analisis sensitivitas dilakukan dengan variasi asumsi penurunan kohesi dan sudut geser dalam dengan persentase kenaikan bobot isi dari asli ke bobot isi jenuh pada material karena tidak dilakukan uji sifat mekanik pada kondisi jenuh material sehingga digunakan yaitu penurunan 10% pada batupasir, 15% pada batubara dan 20% pada batulempung.

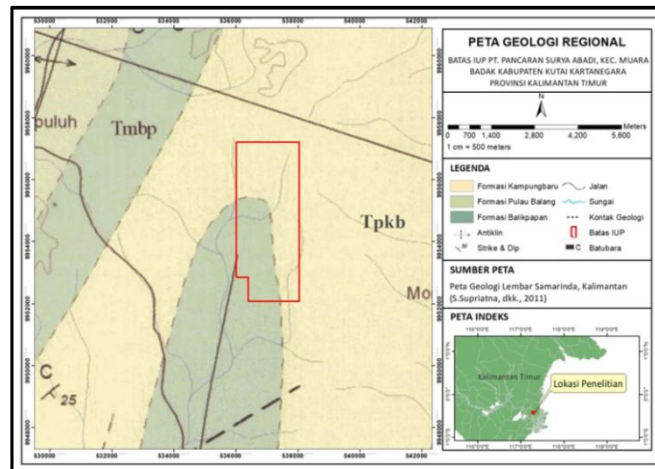
Pada tahap analisis risiko ini yang mengintegrasikan Kondisi material (kenaikan muka air tanah) akibat kondisi curah hujan dan sifat porositas dan permeabilitas material sebagai faktor frekuensi (kemungkinan) longsor, dan menggunakan asumsi tingkat konsekuensi tinggi untuk tingkat keparahan sesuai dengan Kepmen Nomor 1827 K/30/MEM/2018. Kemudian dilakukan pemetaan matriks risiko dan klasifikasi risiko sebagai langkah mitigasi untuk merepons risiko yang mungkin akan terjadi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang merupakan wilayah ijin usaha penambangan (IUP) batubara milik PT. Pancaran Surya Abadi, yang secara administratif terletak pada Desa Salo Palai, Kecamatan Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur yang

berada pada Formasi Batuan Balikpapan dan Kampungbaru. Material sampel seperti batu pasir, batubara dan batu lempung berasal dari Formasi Balikpapan.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Data.

Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Sifat Mekanik

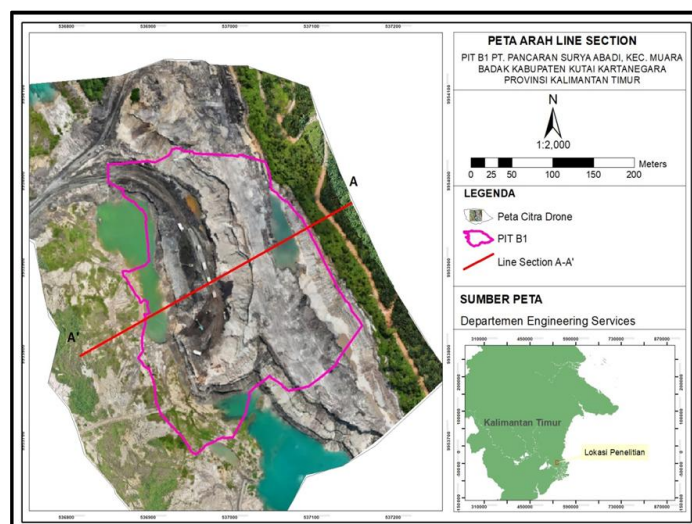
Hasil pengujian sifat-sifat material didapatkan dari hasil pengujian laboratorium, yang ditampilkan pada tabel 2 berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sifat Fisik Dan Mekanik.

Kode Sampel	γ_n (kN/cm ³)	γ_s (kN/cm ³)	Kadar Air (%)	C (kPa)	ϕ (°)	C jenuh (asumsi)	ϕ jenuh (asumsi)
B1							
B2	12.08	13.23	7.2	80.58	25.27	68.49	21.48
B3							
B4							
SS1	18.64	22.21	7.5	21.37	13.24	19.23	11.92
SS2							
CS1							
CS2	19.55	22.35	21.2	103.22	23.76	82.57	19.01
CS3							

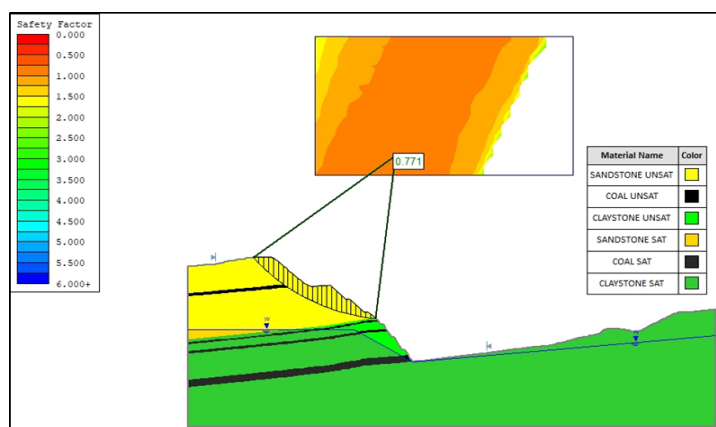
Analisis Desain Lereng Sayatan A-A'

Setelah didapatkan data sifat-sifat material sebagai data masukan, kemudian dilakukan analisis kestabilan lereng desain pada posisi *highwall pit*. Kemudian dibuat *section* yang akan dianalisis nilai FK yang terdiri dari 1 sayatan yaitu *Section A-A'*.



Gambar 2. Peta Line Section Pit B1 PT. PSA.

Hasil Analisis Sayatan A-A' Pada Kondisi Awal



Gambar 3. Hasil Analisis Sayatan A-A' Pada Kondisi Awal.

Dari hasil simulasi *software Slide 6.0* didapatkan hasil analisis pada *section A-A'* didapatkan nilai FK statis sebesar 0,77. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa lereng pada kondisi yang tidak aman seperti yang terlihat pada gambar 3.

Tabel 2. Hasil Analisis Desain awal Lereng Highwall Pit B1.

Litologi	Geometri Single Slope			Geometri Overall slope			Ket.
	Tinggi (m)	Berm (m)	Sudut (°)	Tinggi (m)	Sudut (°)	FK	
BB	5	2	60				
SS	10	2	45	82.16	38	0.77	Tidak
CS	10	2	60				Aman

Simulasi Redesain Lereng Sayatan A-A'

Untuk memperoleh geometri lereng yang optimal dan aman, dilakukan simulasi perubahan geometri lereng dengan tinggi lereng tunggal dan sudut lereng tunggal. Simulasi ini dilakukan pada litologi sandstone karena memiliki nilai kohesi dan sudut geser dalam yang paling rendah dibandingkan dengan litologi lainnya yang dianggap aman. Geometri lereng

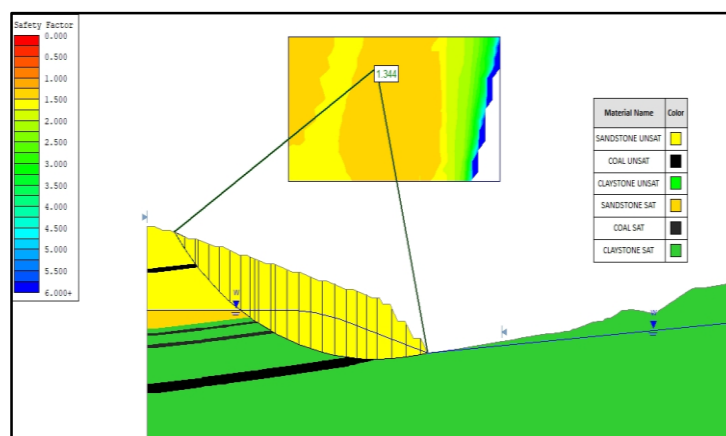
dalam analisis yang digunakan adalah tinggi lereng tunggal 5 m, 7 m, dan 10 m, berm 5m, serta sudut lereng tunggal 20°, 25°, dan 30°.

Tabel 3. Hasil Simulasi Redesain Lereng Sayatan A-A'.

Simulasi Redesain	Single Slope				Overall Slope			
	Tinggi (m)	Sudut (°)			Tinggi (m)	Sudut (°)	FK Statis	Ket.
Redesain 1	5	20	20, 60	60	75	21	1.34	Aman
Redesain 2	5	25	25, 60	60	75	24	1.17	Kritis
Redesain 3	5	30	30, 60	60	75	25	1.05	Kritis
Redesain 4	7	20	20, 60	60	75	27	1.19	Kritis
Redesain 5	7	25	25, 60	60	75	26	1.1	Kritis
Redesain 6	7	30	30, 60	60	75	28	0.98	Tidak aman
Redesain 7	10	20	20, 60	60	75	25	1.19	Kritis
Redesain 8	10	25	25, 60	60	75	26	1.03	Kritis
Redesain 9	10	30	30, 60	60	75	30	0.91	Tidak aman

Berdasarkan hasil analisis pada simulasi yang telah dilakukan, didapatkan hasil redesain lereng seperti yang terlihat pada tabel 3. Tinggi lereng dengan 5 meter dengan sudut tunggal 20° pada simulasi redesain 1 didapatkan hasil FK sebesar 1,34 yang menandakan kondisi lereng dalam keadaan yang aman. Sedangkan, Pada simulasi redesain 6 dan 9 didapatkan FK lereng di bawah 1 (<1) yang menandakan simulasi desain tersebut dalam kondisi yang tidak aman.

Hasil analisis Desain Sayatan A-A' Rekomendasi



Gambar 4. Hasil Redesain Sayatan A-A' Akhir Rekomendasi.

Dari hasil analisis lereng redesain pada geometri lereng yang telah dilakukan, pada sayatan A-A' dengan metode *Morgenstern-Price* didapatkan nilai FK 1.34. Dari hasil dapat

diketahui lereng sudah dalam keadaan stabil setelah dilakukan redesain pada geometri lereng setelah sudut lereng dan tinggi lereng tunggal diturunkan dan jenjang yang dilebarkan pada desain lereng *highwall* Pit B1. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis Redesain Lereng Highwall Pit B1.

Litologi	Geometri Single Slope			Geometri Overall slope			
	Tinggi (m)	Berm (m)	Sudut (°)	Tinggi (m)	Sudut (°)	FK	Ket.
SS	5	5	20				
BB	5	5	20, 60	75	21	1.32	Aman
CS	10	5	60				

Analisis Risiko

Analisis Asumsi Kenaikan Muka Air Tanah

Dilakukan variasi parameter kohesi dan sudut geser dalam $\pm 20\%$ dari nilai rata-rata hasil uji laboratorium untuk melihat pengaruhnya terhadap stabilitas lereng.

Tabel 5. Hasil Analisis Asumsi Kenaikan Muka Air Tanah.

Asumsi kenaikan MAT (%)	Elevasi (m)	FK Statis	PK (%)	Interval
0	25.4	1.34	0	FK Tetap (≥ 1.30)
10	27.94	1.31	0	
20	30.48	1.30	0	
30	33.02	1.30	0	
40	35.56	1.28	0	
50	38.1	1.27	0	FK Turun ($1.20 < FK < 1.30$)
60	40.64	1.25	0	
70	43.18	1.24	0	
80	45.72	1.21	0	FK Turun ($1.10 < FK < 1.20$)
90	48.26	1.17	0	
100	50.8	1.05	3.933	FK Turun ($1.00 < FK < 1.10$)

Analisis Frekuensi

Asumsi kenaikan MAT dikelompokkan dalam lima (5) kelompok analisis frekuensi yaitu, 10% sampai 30% didapatkan frekuensi yang sangat rendah, kemudian pada asumsi kenaikan 40% sampai 80% didapatkan frekuensi yang rendah, pada asumsi kenaikan 90% didapatkan frekuensi sedang dan pada asumsi kenaikan 100% didapatkan tingkat frekuensi yang tinggi.

Tabel 6. Hasil Analisis Tingkat Frekuensi Risiko.

Nilai	Frekuensi	FK Overall Slope	Asumsi yang sesuai
1	Sangat Rendah	≥ 1.3	0%-30%
2	Rendah	1.2-1.29	40%-80%
3	Sedang	1.1-1.19	90%
4	Tinggi	1.0-1.09	100%
5	Sangat Tinggi	< 1.0	-

Analisis Konsekuensi

Lereng yang dianalisis merupakan lereng keseluruhan yang berada pit B1 PT. Pancaran Surya Abadi. Berdasarkan Kepmen 1827 K/30/MEM/2018, maka lereng pada Pit B1 diasumsikan memiliki tingkat konsekuensi tinggi yang menyebabkan kerugian potensial yang kemudian diasumsikan nilai dari tingkat tersebut diklasifikasikan pada nilai 3, seperti yang terlihat pada tabel 10 berikut.

Tabel 7. Hasil Analisis Tingkat Keparahan Risiko.

Nilai Konsekuensi	Tingkat Konsekuensi	Asumsi kenaikan (%)	Elevasi (m)	FK
3	Tinggi	0	25.4	1.34
3	Tinggi	10	27.94	1.31
3	Tinggi	20	30.47	1.3
3	Tinggi	30	33.01	1.3
3	Tinggi	40	35.55	1.28
3	Tinggi	50	38.09	1.27
3	Tinggi	60	40.63	1.25
3	Tinggi	70	43.17	1.24
3	Tinggi	80	45.71	1.21
3	Tinggi	90	48.25	1.17
3	Tinggi	100	50.79	1.05

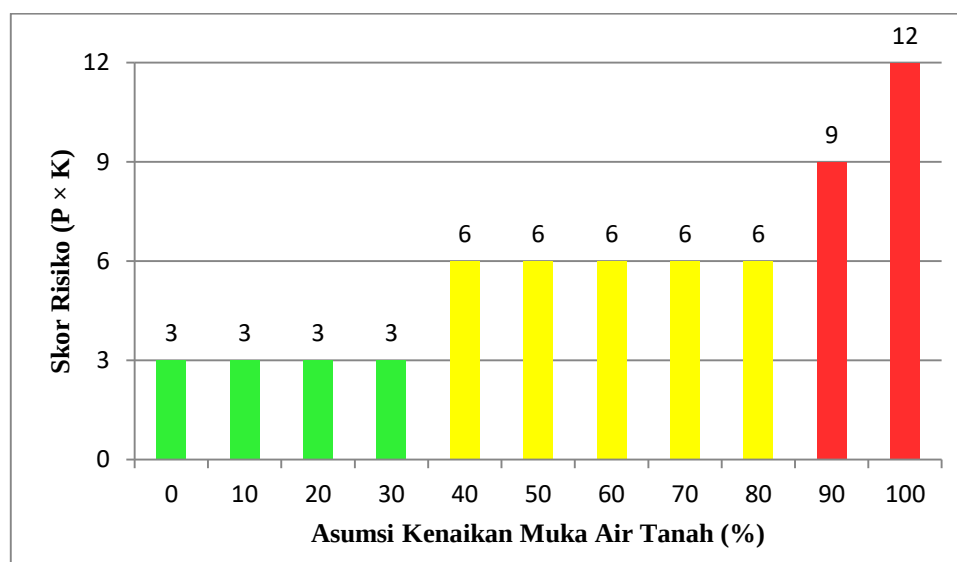
Berdasarkan hasil analisis yang telah didapatkan, lereng diasumsikan mengalami konsekuensi tingkat tinggi. Maka, semua hasil FK yang didapatkan dikalikan dengan nilai 3 (tiga) sebelumnya dari hasil asumsi kenaikan muka air tanah.

Analisis Skor Risiko

Tabel 8. Hasil Analisis Skor Risiko.

Asumsi Kenaikan (%)	FK	Nilai Frekuensi	Nilai Keparahan	Skor Risiko ($P \times K$)
0	1.34	1	3	3
10	1.31	1	3	3
20	1.3	1	3	3
30	1.3	1	3	3
40	1.28	2	3	6
50	1.27	2	3	6
60	1.25	2	3	6
70	1.24	2	3	6
80	1.21	2	3	6
90	1.17	3	3	9
100	1.05	4	3	12

Berdasarkan hasil analisis yang telah didapatkan, lereng dengan asumsi kenaikan muka air tanah 10%-30% memiliki skor risiko 3, namun pada asumsi 40% mengalami penurunan FK sehingga skor risiko naik menjadi 6, dan terjadi sampai pada asumsi 80%, pada asumsi 90% skor risiko naik dengan nilai 9 dan pada asumsi kenaikan 100% skor risiko mendapat nilai 9 yang tertinggi dari semua asumsi yang di lakukan. Pada tabel 8 menunjukkan tingkat angka risiko berdasarkan hasil perkalian skor risiko yang dilakukan. Dan kemudian nilai dari skor petakan dalam matriks risiko pada gambar 5.



Gambar 5. Hasil Analisis Pada Skor Risiko.

Matriks Risiko

Pada matriks risiko yang dianalisis, pemetaan tingkat risiko dibagi menjadi tiga (3) klasifikasi yaitu rendah yang ditandai dengan warna hijau, menengah yang ditandai dengan

warna kuning dan tinggi yang ditandai dengan warna merah. Seperti yang terlihat pada gambar 6.

Frekuensi (Probabilitas)	5	5	10	15	Tinggi
	4	4	8	12	Menengah
	3	3	6	9	Rendah
	2	2	4	6	
	1	1	2	3	
		1	2	3	
		Keparahan			

Gambar 6. Matriks Risiko.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, pada asumsi dasar, 10%-30% tingkat matriks risiko yang didapatkan yaitu rendah, kemudian pada asumsi kenaikan 40%-80% didapatkan tingkat risiko tingkat menengah, dan pada asumsi kenaikan 90%-100% tingkat klasifikasi risiko yang didapatkan adalah tingkat tinggi.

Klasifikasi Risiko

Klasifikasi risiko dilakukan dengan pengelompokan tingkat yang dilakukan pada analisis matriks risiko dan tindakan risiko sebagai langkah mitigasi yang akan dilakukan sebagai cara untuk merespons risiko yang mungkin akan terjadi.

Tabel 9. Kasifikasi Risiko.

Skor Risiko	Klasifikasi Risiko	Kondisi Lereng	Keterangan
1-3	Rendah	Aman	Dapat Diterima. Kelola melalui prosedur operasional standar dan inspeksi visual rutin.
4-8	Menengah	Kritis	Dapat Diterima dengan pertimbangan. Lereng dalam kondisi yang Kritis dan mengurangi kegiatan operasional dibawah lereng
9-15	Tinggi	Tidak Aman	Tidak Dapat Diterima. Perlu penambahan drainase pada bagian atas lereng, agar tingkat risiko dapat menurun dan dilakukan pemantauan ketat pada area lereng.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis, rekomendasi geometri lereng yang aman, sesuai dengan hasil optimalisasi, menetapkan bahwa lereng tunggal pada lapisan batupasir harus memiliki tinggi 5 meter, sudut kemiringan 20°, dan lebar jenjang (berm) 5 meter. Sementara itu, tinggi

lereng tunggal pada lapisan batulempung direkomendasikan setinggi 10 meter dengan sudut kemiringan 60° dan lebar jenjang 5 meter sehingga memperoleh Faktor Keamanan (FK) sebesar 1,34 yang telah memenuhi syarat aman sesuai KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018. Lebih lanjut, analisis risiko lereng dengan asumsi kenaikan Tanah MAT pada rekomendasi akhir menunjukkan bahwa nilai FK tetap aman (di atas 1,3) jika MAT diasumsikan naik hingga 30% dari elevasi dasar MAT. Namun, pada kenaikan asumsi 40% hingga 80%, FK mengalami penurunan di bawah batas aman ($FK < 1,3$). Penurunan FK terus berlanjut seiring MAT diasumsikan naik hingga 90% dan 100%, menghasilkan nilai FK yang mendekati batas kelongsoran, yaitu masing-masing 1,17 dan 1,05.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia nikmat, berkat dan penyertaannya sehingga penulis dapat menyelesaikan jurnal ini, Terimakasih juga kepada Bapak dan Ibu Dosen yang sudah mengarahkan serta memberi saran kepada penulis dalam penyusunan jurnal ini. Terima kasih kepada PT. Pancaran Surya Abadi atas dukungan dan kerja sama yang diberikan selama proses penelitian, bantuan berupa penyediaan data, fasilitas, serta bimbingan teknis dari pihak perusahaan sangat membantu dalam pelaksanaan penelitian ini. Bagian ini disediakan bagi penulis untuk menyampaikan ucapan terima kasih, baik kepada pihak penyandang dana penelitian, pendukung fasilitas, atau bantuan ulasan naskah.

DAFTAR REFERENSI

- Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S., & Boyce, G. M. (2002). *Slope stability and stabilization methods* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Andeka, B. R., Wijaya, M. R., & Nurfarida. (2021). Analisis risiko dengan metode ISO 31000 pada Disperinnaker Kota Salatiga bidang industri. *JATISI: Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, 8(3), 1105–1118. <https://doi.org/10.35957/jatisi.v8i3.1037>
- Arif, I. (2016). *Geoteknik tambang*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Astawa Rai, M., Arifin, Y. I., & Siagian, U. (2010). *Mekanika batuan*. Penerbit ITB.
- Australian/New Zealand Standards. (2004). *AS/NZS 4360:2004 risk management guidelines*. Standards Australia.
- Azizi, M. A., Musa, R. H., Manaf, A., & Noer, M. A. (2012). Analisis risiko kestabilan lereng tambang terbuka (studi kasus tambang mineral X). Dalam *Prosiding Simposium dan Seminar Geomekanika Ke-1* (hlm. 19–27). Jakarta.
- Brady, B. H. G., & Brown, E. T. (1993). *Rock mechanics for underground mining* (2nd ed.). Chapman and Hall.

- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., & Savage, W. Z. (2005). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology*, 76(3–4), 3–30. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.08.001>
- Guskarnali, Oktarianty, H., & Armelia, D. (2020). Pengaruh sifat fisik batuan terhadap kuat tekan uniaksial pada batu granit di Pulau Bangka. *Jurnal Geomine*, 8(3), 214–219. <https://doi.org/10.33536/jg.v8i3.712>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2018). *Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang pedoman pelaksanaan teknik pertambangan yang baik*.
- Mohammadi, B., Haghani, F., & Sadrzadeh, B. (2023). Identification and categorization of hazards in the mining industry: A systematic review of the literature. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 15(1), 1–11. <https://doi.org/10.1556/1848.2023.00621>
- Prasetyo, S. I., Hariyanto, R., & Cahyadi, T. A. (2011). Studi kasus analisa kestabilan lereng disposal di daerah Karuh, Kecamatan Kintap, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan. Dalam *Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi ke-6*. UPN Veteran Yogyakarta.
- Read, J., & Stacey, P. (2009). *Guidelines for open pit slope design*. CSIRO Publishing. <https://doi.org/10.1071/9780643101104>
- Rivaldi, L. S., Rachmadhani, M. M., Tosofu, A. Z., Mbisikmbo, M., & Supriatna, I. I. (2024). Analisa risiko menggunakan metode likelihood dan consequence risk matriks. *Industrial Engineering Journal System*, 2(2), 67–77.
- Sepriadi, Mirza, A., & Kenyta, A. Z. (2024). Analisis kestabilan lereng highwall dengan metode Morgenstern–Price pada PIT 2 Banko Barat di PT Bukit Asam Tbk. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains*, 2(2), 66–73. <https://doi.org/10.62278/jits.v2i2.38>
- U.S. Army Corps of Engineers. (2003). *Risk-based analysis in geotechnical engineering for earth structures (Engineer Manual EM 1110-2-1619)*. Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers.
- Ummi, N., Umyati, A., & Rahmawati, R. (2018). Analisis risiko keselamatan dan kesehatan kerja menggunakan metode analisis semi kuantitatif AS/NZS 4360:1999 dan PUSLITBANG Teknologi Mineral dan Batubara pada PT XYZ. *Journal Industrial Services*, 4(1), 14–20. <https://doi.org/10.36055/jiss.v4i1.4083>