



Analisis Kestabilan Lereng Highwall Dengan Metode Morgenstern Price Pada PIT 2 Banko Barat Di PT. Bukit Asam, Tbk.

(Analysis of Highwall Slope Stability Using Morgenstern Price Method at PIT 2 West Banko at PT. Bukit Asam, Tbk)

Sepriadi¹, Mirza Adiwarmanto², Kenyatta Ayu Zahara³

^{1,2,3} Politeknik Akamigas Palembang, Indonesia

¹sepriadi@pap.ac.id, ²mirzaadiwarman@pap.ac.id, ³kenyatta@gmail.com

Penulis Korespondensi: Sepriadi | Email: sepriadi@pap.ac.id

Diterima (Received): 13/11/2024 Direvisi (Revised): 13/12/2024 Diterima untuk Publikasi (Accepted): 13/12/2024

ABSTRAK

Kestabilan lereng merupakan faktor krusial dalam operasi penambangan terbuka. Berdasarkan Keputusan Menteri ESDM RI No. 1827K/ME/30/2018, nilai faktor keamanan (FK) minimum untuk mencapai lereng stabil adalah 1,3. Penelitian ini bersifat kuantitatif dengan metode survei eksplorasi. Analisis kestabilan dilakukan menggunakan metode kesetimbangan batas dan *software Geostudio 2023*. Penelitian difokuskan pada area Pit 2 Banko Barat, yang memiliki litologi berupa tuff, batulempung, batulanau, batupasir, dan batubara. Muka air tanah diasumsikan berada di kedalaman 13 m dari permukaan lereng, dengan *seismic load* 0,05 dan *surcharge load* 533 kN/m² dari berat alat angkut HD Komatsu 785 milik PT Bukit Asam, Tbk. Desain awal lereng pada bulan April 2024 menunjukkan beberapa bagian yang berpotensi longsor. Pada *section A-A*, *overall slope* dan *intermediate slope* memiliki nilai FK 1,25 (tidak stabil). Pada *section B-B*, *intermediate slope* memiliki FK 1,25 (kritis), sedangkan pada *section C-C*, *overall slope* berada dalam kondisi riskan (FK 1,25). Untuk meningkatkan stabilitas, dilakukan rekayasa geoteknik melalui pengupasan *overburden* dan batubara serta perubahan geometri lereng. Pemodelan ulang menghasilkan nilai FK yang lebih optimal dan stabil. Rekomendasi perbaikan mencakup perubahan desain pada *section B-B* (*overall slope*) dan *section C-C* (*intermediate slope*) untuk mencapai stabilitas lereng yang sesuai standar. Dengan rekayasa ini, diharapkan potensi longsor dapat diminimalkan dan operasi tambang berlangsung lebih aman dan efisien.

Kata Kunci: Eksplorasi, Lereng Highwall, Overall Slope, Intermediate slope

ABSTRACT

Slope stability is a crucial factor in open-pit mining operations. According to the Decree of the Minister of Energy and Mineral Resources of the Republic of Indonesia No. 1827K/ME/30/2018, the minimum factor of safety (FoS) required to achieve a stable slope is 1.3. This quantitative study employs an exploratory survey method. Slope stability analysis is conducted using the limit equilibrium method and *Geostudio 2023* software. The study focuses on the Pit 2 Banko Barat area, which consists of lithological units such as tuff, claystone, siltstone, sandstone, and coal. The groundwater level is assumed to be at a depth of 13 m from the slope surface, with a seismic load of 0.05 and a surcharge load of 533 kN/m², representing the load from the HD Komatsu 785 haul truck operated by PT Bukit Asam, Tbk. The initial slope design for April 2024 identified several areas prone to landslides. In section A-A, the overall slope and intermediate slope have an FoS of 1.25 (unstable). In section B-B, the intermediate slope has an FoS of 1.25 (critical), while in section C-C, the overall slope is in a risky condition (FoS 1.25). To enhance stability, geotechnical engineering measures were implemented, including overburden and coal stripping as well as changes to the slope geometry. Re-modeling produced a more optimal and stable FoS. Improvement recommendations involve redesigning the overall slope in section B-B and the intermediate slope in section C-C to achieve the required slope stability. These geotechnical measures aim to minimize landslide potential, ensuring safer and more efficient mining operations.

Keywords: Exploration, Highwall Slope, Overall Slope, Intermediate Slope

1. Pendahuluan

Pada perencanaan tambang terbuka, selain mempertimbangkan faktor cadangan, teknik pertambangan, aspek ekonomi, serta lingkungan, faktor kestabilan lereng juga menjadi sangat signifikan pada operasi penambangan terbuka. Lereng yang stabil sangat penting untuk memastikan kelangsungan kegiatan penambangan. Meskipun secara teoritis lereng penambangan bakal aman ketika dibuat selebar mungkin, namun lereng yang terlalu curam bakal mengakibatkan volume pengupasan lapisan penutup yang besar *overburden*, sehingga dari segi ekonomis kurang bermanfaat. Penentuan tingkat kestabilan lereng tambang memerlukan proses yang teliti yang meliputi penyelidikan geoteknik seperti pengeboran geoteknik, pengujian sifat fisik, disertakan pengujian sifat mekanik batuan. Berdasarkan Keputusan Menteri Energi Sumber Daya Mineral RI No. 1827K/MEM/30/2018, untuk mencapai lereng yang stabil, faktor keamanan (FK) sebaiknya lebih besar atau sama dengan 1,3. Faktor-faktor yang berdampak pada kestabilan lereng tambang mencakup aspek internal seperti kondisi massa batuan, desain tambang, serta geologi lokasi penambangan, serta faktor eksternal seperti intensitas curah hujan serta tingkat pelapukan yang ada (Zakaria, 2010).

Tujuan yang didapat pada penelitian ini, yaitu mengetahui stratigrafi geologi pada lokasi penelitian di PT Bukit Asam, Tbk., mengetahui kuat tekan lereng pada lokasi penelitian di PT Bukit Asam, Tbk., serta mengetahui dan mengevaluasi nilai faktor keamanan lereng *highwall* rancangan bulanan pada *intermediate* dan *overall* di PT Bukit Asam, Tbk.

1.1. Analisa Kestabilan Lereng

Analisa kestabilan lereng merupakan proses evaluasi untuk menentukan sejauh mana lereng tersebut dapat bertahan stabil (Rachmat & Sulianta, 2023). Istilah kestabilan lereng merujuk pada kapasitas suatu blok yang diletakkan di atas permukaan miring (yang diukur pada garis horizontal) dalam menghadapi potensi runtuh dan tergelincir (Aprilliana et al., 2023). Faktor gaya penahan dan gaya penggerak yang memegang peran penting dalam menjaga stabilitas lereng (Warsita et al., 2014). Ketika gaya penahan (yang bertindak melawan potensi longsor) melebihi gaya penggerak, lereng bakal tetap pada kondisi yang aman dan stabil (Sepriadi et al., 2023). Namun, ketika gaya penahan lebih kecil daripada penggerak, lereng menjadi belum stabil serta rentan mengalami longsor. Adapun untuk mengetahui nilai kemantapan lereng dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F = \frac{\text{resultan gaya} - \text{gaya penahan}}{\text{resultan gaya} - \text{gaya penggerak}} \dots \dots \dots [1.1]$$

1.2. Metode Morgenstern Price

Metode ini merujuk pada salah satu pendekatan yang menurut prinsip keseimbangan batas yang dirumuskan oleh *Morgenstern* serta *Price*. Metode tersebut mendasarkan analisisnya pada kesetimbangan setiap gaya normal serta momen yang bekerja pada tiap bagian pada bidang lereng yang terlibat. Dengan mempergunakan asumsi yang disederhanakan, metode ini bertujuan untuk menjelaskan hubungan antara gaya geser sepanjang bidang lereng (X) serta gaya normal di sekitarnya (E) (Takwin et al., 2017). Gaya yang bekerja pada pada tiap irisan bidang kelongsoran diperlihatkan sebagaimana berikut:

$$P = \frac{[w - (x_k - x_i) - \frac{1}{\epsilon}(c'(\sin \alpha - \mu' \tan \phi' \sin \alpha)]}{\cos \alpha (\lambda + \tan \alpha \frac{\tan \phi}{\epsilon})} \dots \dots \dots [1.2]$$

Dimana:

- P = gaya normal,
- c' = kohesi (Ketika Analisa pada kondisi *undrained* diambil cu ketika pada kondisi *drained* diambil nilai kohesi efektif),
- Wn = gaya akibat beban tanah ke-n,
- α = sudut antara titik tengah bidang irisan dengan titik pusat busur bidang longsor,
- φ' = sudut geser tanah (ketika pada kondisi *undrained* nilai sudut geser 0),
- u = tekanan air pori, dan
- Xn, Xn' = gaya gesek yang bekerja di tepi irisan.

1.3. Faktor Keamanan

Faktor keamanan adalah kondisi standar yang digunakan untuk menilai apakah suatu lereng stabil atau tidak (Prasetyo et al., 2022). Terdapat tiga kategori faktor keamanan *safety factor* yang dilihat berdasarkan tingkat kecuraman lerengnya (Yogaswara & Herwina, 2023). Ketika kestabilan suatu lereng dalam konteks aktivitas penambangan diragukan, maka penilaian kestabilannya harus mempertimbangkan struktur geologi, kondisi air tanah, serta faktor pengendali lain yang berdampak pada lereng tersebut. Kestabilan lereng pada formasi batuan terdampak oleh geometri lereng, sifat fisik serta mekanik batuan, juga gaya-gaya luar yang berpengaruh pada lereng tersebut (Warastri et al., 2024). Nilai faktor keamanan dalam kestabilan lereng dinyatakan sebagaimana berikut:

- Stabil = Fk > 1,00
 - Kritis = Fk = 1,00
 - Labil = Fk < 1,00
- Namun pada kondisi aktual di lapangan, bowles terbagi sebagaimana berikut:
- Stabil = Fk ≥ 1,25
 - Kritis = 1,07 < Fk < 1,25
 - Labil = Fk ≤ 1,07

2. Data dan Metodologi

2.1. Data dan Lokasi

Tempat yang akan dijadikan lokasi dalam kegiatan penelitian ini di PT. Bukit Asam, Tbk. Area penelitian berada di Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, provinsi Sumatera Selatan. Untuk mencapai wilayah tersebut dari Palembang dapat dilalui dengan menggunakan transportasi darat melalui jalan Provinsi Palembang-Tanjung Enim menempuh jarak sekitar 251 km, (4 jam 16 menit perjalanan) menuju ke site Pit 2 Banko Barat PT Bukit Asam, Tbk.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Waktu dilakukannya kegiatan Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 22 April hingga tanggal 10 Juni 2024 dengan deskripsi kegiatan terdiri dari orientasi lapangan, pengambilan data, pengolahan data, dan pembuatan laporan.

2.2. Metodologi

Metode yang diterapkan pada penelitian ini yakni metode survei eksplorasi, yang merupakan kombinasi antara metode deskriptif serta analisis. Proses analisis selanjutnya bertujuan guna mengolah data tersebut sehingga menghasilkan nilai-nilai parameter yang berkaitan dengan pengamatan lapangan. Seluruh proses ini bertujuan untuk menghasilkan sebuah laporan lengkap beserta rekomendasi berdasarkan temuan yang diperoleh selama penelitian.

2.2.1. Cara Pengambilan Data

Metode pengambilan data penelitian yang digunakan dalam penyusunan Penelitian ini adalah:

1. Studi literatur

Studi literatur meliputi penelitian yang mengumpulkan data-data dari sumber-sumber literatur atau pustaka yang berisi informasi yang relevan mengenai berbagai aspek pergerakan tanah, diskontinuitas geologi, kekuatan batuan, serta bermacam rumus perhitungan terkait. Data ini didapati pada buku serta jurnal yang berkaitan dengan bidang studi tersebut.

2. Pengamatan lereng secara langsung

Pengamatan langsung terhadap lereng dilaksanakan dengan cara mengamati langsung lokasi serta lingkungan sekitar dari penelitian guna mendapati pemahaman yang lebih mendalam terkait kondisi lereng yang sedang diteliti.

3. Teknik pengumpulan data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini mencakup pengumpulan data primer serta sekunder yang didukung dan menguatkan kegiatan penelitian akhir yang sedang dilaksanakan. Data tersebut diperoleh baik melalui pemungutan langsung di lapangan ataupun mengambil data-data yang sudah ada sebelumnya.

4. Analisa menggunakan *software*

Analisis menggunakan perangkat lunak khusus dalam bidang Geoteknik merujuk pada salah satu langkah penting pada penelitian ini. Pada tahap ini, perangkat lunak tersebut digunakan untuk mengolah data mengenai lereng dan memberikan rekomendasi dengan mengikutkan data-parameter yang diperoleh pada hasil pengujian di laboratorium.

5. Evaluasi lereng yang stabil menggunakan *software*

Evaluasi stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak adalah tahapan di mana lereng yang sudah dianalisis faktor keamanan pada kondisi awalnya dievaluasi dengan melaksanakan perubahan pada geometri lereng seperti lebar *bench*, sudut kemiringan, serta jarak antar elevasi lereng untuk mendapatkan faktor keamanan yang stabil.

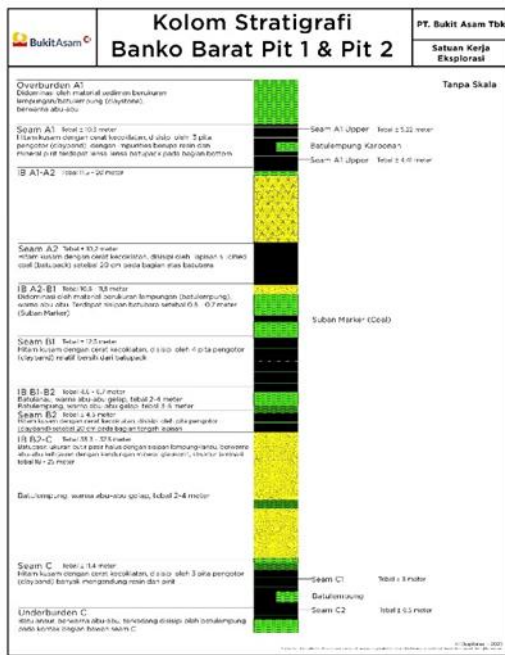
6. Rekomendasi lereng yang stabil

Rekomendasi untuk memperbaiki stabilitas lereng adalah tahapan di mana lereng yang sudah dievaluasi bakal diberikan rekomendasi berdasarkan pada faktor keamanan yang diperoleh, mulai dari kondisi kritis ($<1,25$) hingga kondisi stabil ($>1,25$). Rekomendasi tersebut biasanya berupa desain lereng yang sudah melalui proses perubahan pada tahapan sebelumnya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Stratigrafi Geologi

Pada daerah Pit 2 Banko Barat merupakan daerah yang memiliki jenis litologi berupa tuff, batulempung, batulanau, batupasir, serta batubara, daerah ini merupakan daerah perbukitan rendah (Dwinagara et al., 2021). Pada daerah penelitian ini terdapat 11 Lapisan dan termasuk 5 *seam* Batubara. Adapun stratigrafinya sebagai berikut:



Gambar 2 Stratigrafi Pit2 Banko Barat

3.2. Kuat Tekan Lereng Daerah Penelitian

Keberagaman tingkat bahan baku dapat berpengaruh pada daya dukung dan kualitas batuan secara keseluruhan. Kegiatan pembaran geoteknik di sekitar Pit 2 Banko Barat bertujuan untuk memberikan gambaran kondisi geoteknik bahan pembentuk di area tersebut. Uji UCS (*Uniaxial Compressive Strength*) dilakukan terhadap hasil pembaran tersebut. Data rata-rata nilai UCS dapat ditemukan pada tabel 1.

Tabel 1 Rata-rata Nilai UCS Lapisan Batuan di Pit 2 Banko Barat

No	Material	UCS (kPa)
1	Top Soil	110,06
2	OB A1	2.191,35
3	A1	8.680,63
4	IB A1-A2	3.436,08
5	A2	9.744,86
6	IB A2-B1	2.068,61
7	B1	7.352,9
8	IB B1-B2	409,31
9	B2	7.239,58
10	IB B2-C	1.881,19
11	C	6.090,6
12	Under C	2.560,17

3.3. Hasil Uji Laboratorium

Uji laboratorium geoteknik melibatkan serangkaian pengujian fisik dan mekanik pada sampel tanah dan batuan di laboratorium. Nilai-nilai ini selanjutnya digunakan sebagai input properti material dalam perhitungan faktor keamanan menggunakan perangkat lunak geostudio 2023.

Tabel 2 Nilai Parameter Sifat Fisik

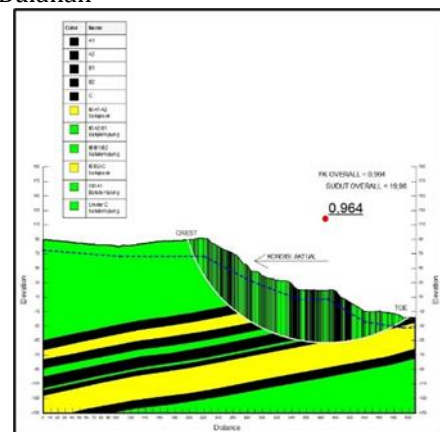
No.	Material	Unit weight (kN/m ³)
1	Top Soil	17,41
2	OB A1	20,00
3	A1	13,33
4	IB A1-A2	19,39
5	A2	12,16
6	IB A2-B1	19,79
7	B1	12,18
8	IB B1-B2	20,83
9	B2	13,05
10	IB B2-C	20,82
11	C	12,03
12	Under C	21,39

Tabel 3 Nilai Parameter Sifat Mekanik

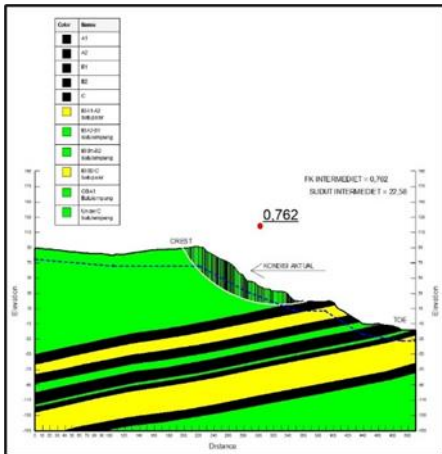
No	Material	Peak		Residual	
		C _p (kPa)	Φ _p (°)	C _R (kPa)	Θ _R (°)
1	Top Soil	31,90	21,81	22,95	17,77
2	OB A1	98,20	22,39	35,54	15,26
3	A1	120,52	29,64		
4	IB A1-A2	113,56	21,95	45,08	16,20
5	A2	209,08	25,68		
6	IB A2-B1	116,97	20,26	70,31	14,76
7	B1	145,78	23,10		
8	IB B1-B2	147,40	24,00	87,88	17,68
9	B2	210,41	23,94		
10	IB B2-C	103,00	23,67	73,18	16,73
11	C	158,24	23,78		
12	Under C	120,97	25,60	72,17	19,80

3.4. Analisis Kestabilan Lereng

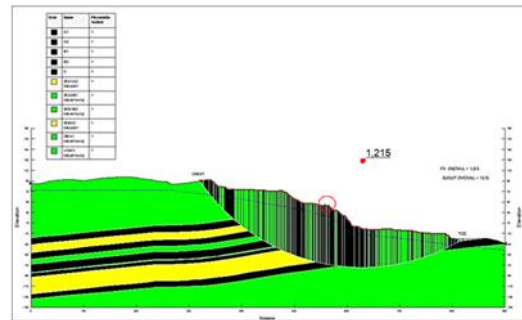
3.4.1. Analisis Kestabilan Lereng *Highwall* Desain Awal Rencana Bulanan



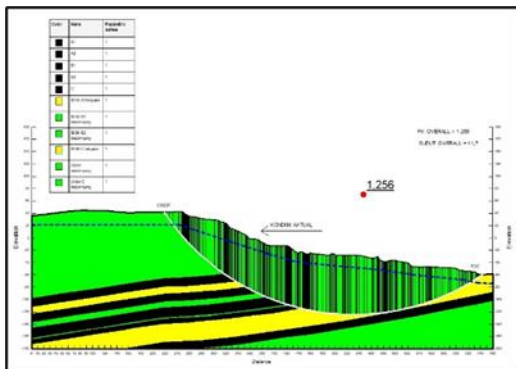
Gambar 3 Nilai Faktor Keamanan pada Desain Awal *Section A-A* (Overall slope)



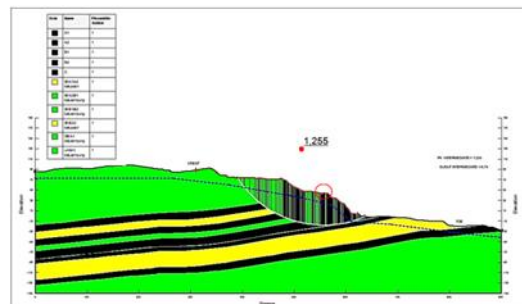
Gambar 4 Nilai Faktor Keamanan pada Desain Awal Section A-A" (Intermediate slope)



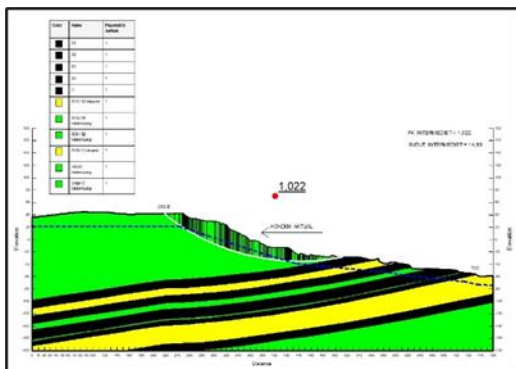
Gambar 7 Nilai Faktor Keamanan pada Desain Awal Section C-C" (Overall slope)



Gambar 5 Nilai Faktor Keamanan pada Desain Awal Section B-B" (Overall slope)



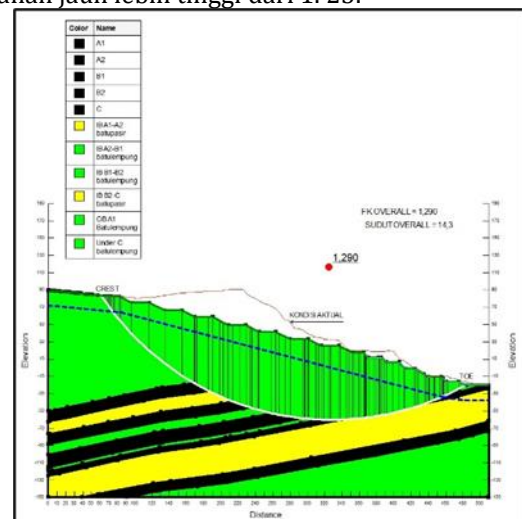
Gambar 8 Nilai Faktor Keamanan pada Desain Awal Section C-C" (Intermediate slope)



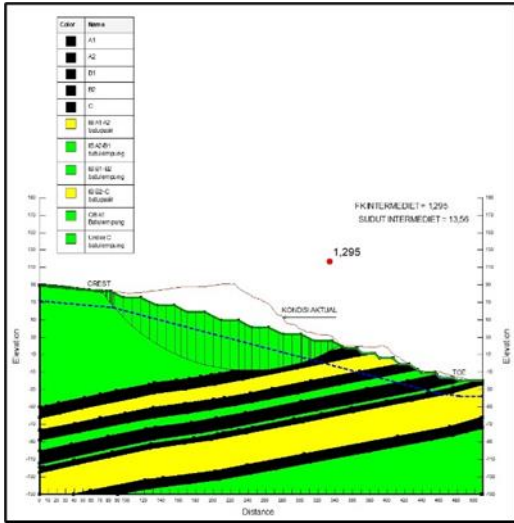
Gambar 6 Nilai Faktor Keamanan pada Desain Awal Section B-B" (Intermediate slope)

3.4.2. Analisis Kestabilan Lereng Highwall Desain Rekomendasi

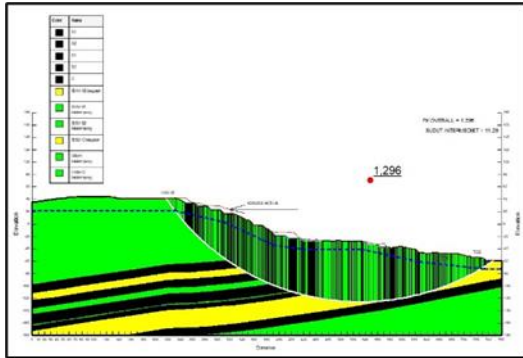
Rekomendasi terhadap lereng melibatkan penggunaan teknik rekayasa geoteknik untuk mengubah atau memperkuat bentuk geometri lereng sesuai dengan kondisi aktualnya. Penyesuaian geometri dilangsungkan pada saat kondisi lereng belum stabil dengan nilai Faktor Keamanan (FK) kurang dari 1.25, serta memastikan bahwa faktor keamanan jauh lebih tinggi dari 1.25.



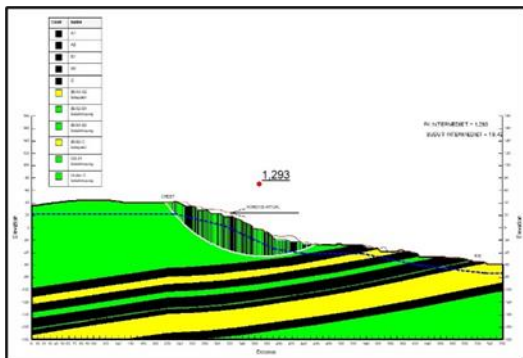
Gambar 9 Nilai Faktor Keamanan pada Desain Rekomendasi Section A-A" (Overall slope)



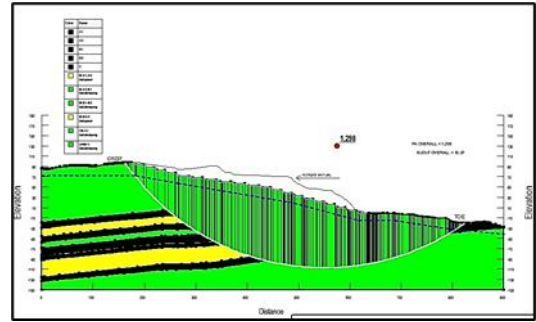
Gambar 10 Nilai Faktor Keamanan pada Desain Rekomendasi Section A-A" (Intermediate slope)



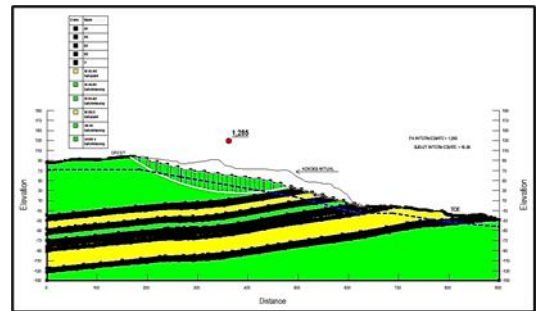
Gambar 11 Nilai Faktor Keamanan pada Desain Rekomendasi Section B-B" (Overall slope)



Gambar 12 Nilai Faktor Keamanan pada Desain Rekomendasi Section B-B" (Intermediate slope)



Gambar 13 Nilai Faktor Keamanan pada Desain Rekomendasi Section C-C" (Overall slope)



Gambar 14 Nilai Faktor Keamanan pada Desain Rekomendasi Section C-C" (Intermediate slope)

3.5. Hasil Evaluasi

Tabel 4 Dimensi dan nilai FK pada Desain Awal

Penaung	Lapisan/Batuan/ Kondisi Material	Analisis FK Aktual					Faktor Keamanan (FK)	Kondisi Lereng
		Dimensi Geometri Lereng						
		Elevasi		Tinggi	Sudut	Lebar		
		Top	Base	Lereng	Lereng	Bench		
		(m)	(°)	(m)				
A-A"	OB A1, A1, IB A1-A2	90	-16	108,06	22,09	6-40	0,96	Longsor
	A2							
	IB A2-B1 B1 IB B1-B2 B2							
B-B"	OB A1	90	20	72,777	29,54	6-40	0,76	Longsor
	A1, A1, IB A1-A2							
	A2							
	IB A2-B1 B1 IB B1-B2 B2 IB B2-C							
C-C"	OB A1	92	-19	108,6	13,5	5-58	1,21	Riskan
	A1, A1, IB A1-A2							
	A2							
	IB A2-B1 B1 IB B1-B2 B2 IB B2-C							
	C							
OB A1	92	46	44,4	13,9	5-58	1,25	Stabil	

Tabel 5 Dimensi dan nilai FK pada Desain Rekomendasi

Penampang	Lapisan Batuan/ Kondisi Material	Analisis FK Rekomendasi Geoteknik						
		Dimensi Geometri Lereng					Faktor Keamanan (FK)	Kondisi Lereng
		Elevasi		Tinggi Lereng	Sudut Lereng	Lebar Berm		
		Top	Base					
(m)	(m)	(m)	(°)	(m)				
A-A"	OB A1, A1, IB A1-A2 A2 IB A2-B1 B1 IB B1-B2	82	-19	105,3	14,3	12-27	1,29	Stabil
	OB A1	82	18	70,89	13,56	12-27	1,29	Stabil
B-B"	OB A1, A1, IB A1-A2 A2 IB A2-B1 B1 IB B1-B2 B2 IB B2-C	44	-66	94	10,46	15-90	1,29	Stabil
	OB A1	44	-27	74,24	10,8	15-90	1,29	Stabil
	OB A1, A1, IB A1-A2 A2 IB A2-B1 B1 IB B1-B2 B2 IB B2-C	100	-19	108,7	10,5	15-20	1,29	Stabil
	OB A1	100	37	65,3	10,89	15-20	1,28	Stabil

Setelah dilakukan analisis dan evaluasi, rekomendasi untuk meningkatkan desain lereng bulanan pada bagian A-A", B-B", dan C-C" telah disusun agar mampu menghasilkan desain lereng yang lebih efisien dalam hal pengurangan *overburden* dan penambangan batubara. Modifikasi pada geometri lereng seperti sudut, lebar berm, dan tinggi telah dicetuskan dalam proses rekayasa geoteknik untuk memastikan pengoptimalan desain tersebut. Dalam penelitian ini, nilai faktor yang dipergunakan sebagai dasar guna menunjukkan bahwasanya lereng *intermediate* serta lereng keseluruhan aman bisa terlihat dari analisis nilai faktor keamanan pada rencana bulanan serta nilai faktor keamanan sesudah langkah-langkah perbaikan diterapkan pada area tersebut. Hasil analisis ini dapat dikaitkan dengan konsep teori serta temuan dari percobaan mekanik material yang sedang diselidiki. Berdasarkan teori tersebut, faktor keamanan dianggap stabil ketika gaya-gaya penahan lebih besar daripada gaya-gaya penggerak, di mana gaya penggerak ini mencakup parameter kohesi serta sudut geser dari bahan yang diamati.

Rekomendasi menunjukkan bahwa beda antara bidang runtuh pada lereng *intermediate* serta lereng *overall* hanya sedikit di bagian dasar lereng itu. Bidang runtuh pada lereng secara keseluruhan disebabkan oleh material batubara, sementara pada lereng *intermediate*, penyebabnya adalah material *overburden* yang ada di situ.

Apabila kestabilan lereng *intermediate* terjamin, maka dapat dipastikan bahwa kondisi keseluruhan lereng juga aman, asalkan perbedaan dalam bidang runtuh kedua jenis lereng tersebut tidak signifikan secara spasial.

4. Kesimpulan

Stratigrafi geologi di daerah Pit 2 Banko Barat tersusun atas litologi batulempung, batupasir, batupasir tufan, batulanau, serta batubara. Dimana litologi yang paling mendominasi adalah batulempung. Kuat tekan lereng di daerah Pit 2 Banko Barat berdasarkan hasil uji laboratorium kuat tekan batuan didapatkan nilai UCS berkisar (110,06-9.744,86 kPa). Menurut hasil analisis desain awal rancangan bulan April tahun 2024, *overall slope* dan *intermediate slope* desain awal A-A" berada di kondisi longsor ($FK < 1,25$), untuk desain awal B-B" hanya *intermediate slope* yang berada di kondisi kritis ($FK < 1,25$), sedangkan desain awal C-C" hanya *overall slope* yang berada di kondisi riskan ($FK < 1,25$), oleh karena itu perlu dilangsungkan desain ulang guna mengoptimalkan nilai faktor keamanan. Berdasarkan hasil dari analisis *software Geostudio 2023*, pemodelan ulang dari geometri lereng pada desain awal mendapatkan nilai faktor keamanan yang stabil ($FK > 1,25$). Rekayasa geoteknik ini dilakukan dengan pertimbangan pengupasan *overburden* dan pengupasan Batubara. Berdasarkan nilai FK pada desain awal terdapat nilai FK yang riskan dan stabil pemodelan ulang pada desain tersebut juga bertujuan untuk mendapatkan nilai FK yang optimal. Rekomendasi lereng dalam keadaan stabil dilakukan rekayasa, yakni desain awal section B-B" *overall slope* dan desain awal section C-C" *intermediate slope*.

5. Referensi

- Aprilliana, A., Adiwarmar, M., Ramadhon, I. A., & Putra, P. (2023). Analisis Produktivitas Alat Angkut Pada Kegiatan Pengangkutan Batubara Dari Temporary Stockpile Menuju Dump Hopper Di PT Rifansi Dwi Putra Site Banko Barat PT Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Sains*, 1(2), 106–112.
- Dwinagara, B., Merliza, M., & Sukamto, U. (2021). Analisis Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan Lereng Pada Tambang Batubara PT. Bukit Asam, Tbk. Sumatera Selatan. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 6(2), 154–163.
- Prasetyo, R. D., Faris, F., & Rifa'i, A. (2022). Hubungan Klasifikasi RMR dan Faktor Keamanan Terhadap Penentuan Geometri Lereng Tambang Terbuka (Studi Kasus: Tambang Terbuka Batubara Desa Kebur, Kecamatan Merapi Barat, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan). *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 242–253.
<https://doi.org/10.36055/fondasi.v11i2.16751>

- Rachmat, A. M., & Sulianta, F. (2023). Aplikasi Analisis Kestabilan Dinding Penahan Tanah Dengan Menggunakan Metode Rankine. *Progresif: Jurnal Ilmiah Komputer*, 19(2), 767-778. <https://doi.org/10.35889/progresif.v19i2.1326>
- Sepriadi, S., Adiwarmarman, M., Perdana, R., & Putra, P. (2023). Analisis Perbandingan Volume Overburden Berdasarkan Data Survey Menggunakan Software Surpac 6.5. 1 Dengan Data Truck Count Pada Pit Pandu PT Putra Muba Coal. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Sains*, 1(2), 100-105.
- Takwin, G. A., Turangan, A. E., & Rondonuwu, S. G. (2017). Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern-Price (Studi Kasus: Diamond Hill Citraland). *Tekno*, 15(67). <https://doi.org/10.35793/jts.v15i67.15749>
- Warastri, A. E. F., Lukito, H., & Nugroho, N. E. (2024). Evaluasi dan Pengelolaan Lereng Bekas Galian Material Vulkanik Di Padukuhan Selo Timur, Kalurahan Hargorejo, Kapanewon Kokap, Kabupaten Kulonprogo, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumihan SATU BUMI*, 5(1). <https://doi.org/10.31315/psb.v5i1.11671>
- Warsita, I., Permana, S., & Farida, I. (2014). Perancangan Dewatering Pada Konstruksi Basement (Studi Kasus Proyek Landmark Residence Bandung). *Jurnal Konstruksi*, 12(1). <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.12-1.269>
- Yogaswara, D., & Herwina, T. A. (2023). Analisis Stabilitas Lereng Terhadap Kelongsoran (Studi Kasus Di Jalan Raya Bandung-Garut Desa Ciherang Kecamatan Nagreg). *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, 6(3), 167-175. <https://doi.org/10.24815/jarsp.v6i3.31751>
- Zakaria, Z. (2010). Model Starlet, suatu Usulan untuk Mitigasi Bencana Longsor dengan Pendekatan Genetika Wilayah (Studi Kasus: Longsoran Citatah, Padalarang, Jawa). *Indonesian Journal on Geoscience*, 5(2), 93-112. <https://doi.org/10.17014/ijog.5.2.93-112>