

## Analisis Kestabilan Lereng *Highwall* Tambang Batubara Pit “X” pada Kabupaten Balangan, Kalimantan Selatan

Andewa Fitru Fadhlurohman<sup>1)</sup>, Daniel Radityo<sup>\*1)</sup>

<sup>1)</sup>Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

\*[daniel.radityo@upnyk.ac.id](mailto:daniel.radityo@upnyk.ac.id)

**Abstrak** – Penambangan batubara umumnya dilakukan dengan metode terbuka (*open pit*) sehingga terbentuk lereng disekitarnya. Kajian kestabilan lereng penting dilakukan untuk mengetahui nilai faktor keamanannya sehingga dapat mencegah terjadinya longsor. Penelitian bertujuan untuk mengetahui batuan penyusun serta nilai faktor keamanan pada lereng *highwall* di pit “X”. Secara administratif daerah penelitian berada pada Kabupaten Balangan, Provinsi Kalimantan Selatan. Metodologi penelitian meliputi pemetaan lapangan untuk mendapatkan data primer mengenai jenis litologi dan kedudukannya, serta metode *scanline* pada lereng batuan untuk mendapatkan nilai *Geological Strength Index* (GSI). Data sekunder didapatkan dari perusahaan meliputi data desain lereng, topografi aktual, data uji laboratorium batuan, dan data kedalaman muka air tanah. Analisis kestabilan lereng dilakukan pada enam sayatan, yakni sayatan A – A’ hingga sayatan F – F’ sepanjang lereng *highwall* dengan metode *Limit Equilibrium Method* (LEM) dengan konsep Morgenstern-Price dan kriteria keruntuhan *Generalized Hoek-Brown*. Analisis dilakukan dalam kondisi statis maupun dinamis dengan nilai koefisien seismik horizontal sebesar 0,05. Hasil analisis didapatkan bahwa keenam sayatan lereng memiliki nilai faktor keamanan lebih dari 1,3 dalam kondisi statis dan lebih dari 1,1 pada kondisi dinamis sehingga dikategorikan dalam lereng stabil.

**Kata Kunci:** Analisis kestabilan lereng, *Generalized Hoek-Brown*, *Highwall*, Morgenstern-Price, *Geological Strength Index*

**Abstract** – Coal mining is generally carried out using the open-pit method, which results in the formation of surrounding slopes. Slope stability analysis is essential to determine the safety factor value and prevent potential landslides. This study aims to identify the rock formations and determine the safety factor of the highwall slope in pit “X.” Administratively, the study area is located in Balangan Regency, South Kalimantan Province. The research methodology includes field mapping to obtain primary data on lithology types and orientations, as well as the scanline method on the rock slope to determine the Geological Strength Index (GSI). Secondary data obtained from the company include slope design data, current topography, laboratory test results of rock samples, and groundwater level data. Slope stability analysis was conducted on six cross-sections, from section A–A’ to section F–F’, along the highwall using the Limit Equilibrium Method (LEM) with the Morgenstern-Price approach and the Generalized Hoek-Brown failure criterion. The analysis was performed under both static and dynamic conditions with a horizontal seismic coefficient of 0.05. The results show that all six slope sections have safety factor values greater than 1.3 under static conditions and greater than 1.1 under dynamic conditions, indicating that the slopes are classified as stable.

**Keywords:** Generalized Hoek-Brown, Geological Strength Index, Highwall, Morgenstern-Price, Slope Stability Analysis

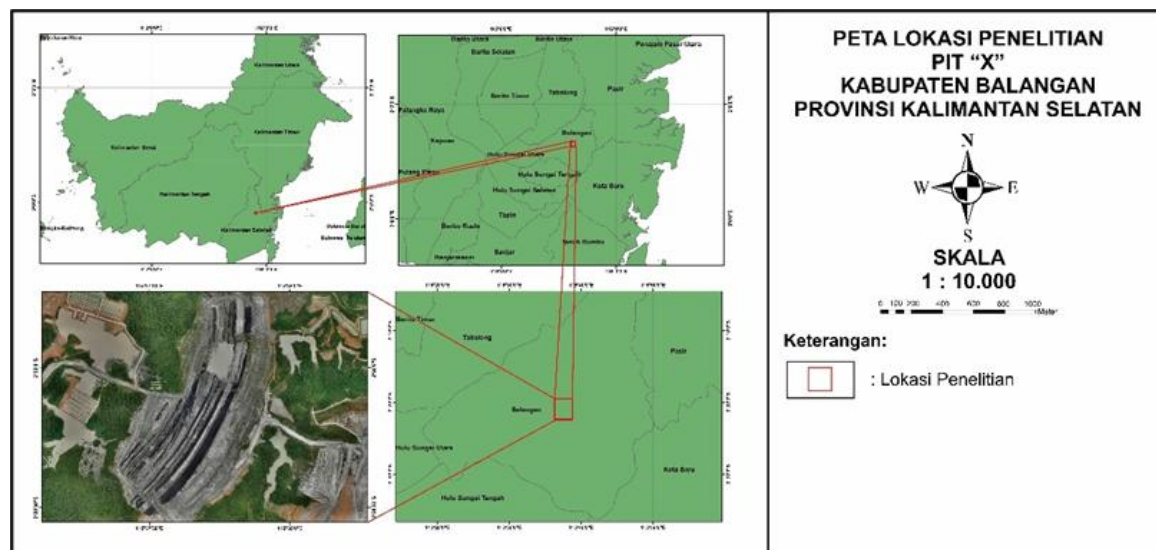
### PENDAHULUAN

Penambangan batubara umumnya dilakukan dengan sistem penambangan terbuka (*open pit*) yakni dengan pengupasan material tanah dan batuan *overburden* penutup sehingga mencapai lapisan batubara target. Setelah pengupasan material *overburden* tersebut akan terbentuk lereng *highwall*, *sidewall*, dan *lowwall* pada sekeliling lubang pit tersebut. Penambangan batubara umumnya dilakukan pada lereng *highwall* karena dapat menjangkau batubara lebih banyak dengan biaya yang lebih sedikit, tetapi juga memiliki resiko yang tinggi apabila tidak dilakukan dengan benar. Kajian mengenai stabilitas lereng *highwall* penting untuk dilakukan untuk mengetahui nilai faktor keamanan (FK) dengan akurat serta agar dapat mencegah terjadinya longsor. Metode Keseimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*) dengan konsep Morgenstern-Price digunakan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan secara akurat.

### Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di wilayah izin usaha pertambangan PT Y dengan luas 1,4 km<sup>2</sup>. Secara administratif terletak di wilayah Kabupaten Balangan, Provinsi Kalimantan Selatan. Terletak pada koordinat lokal X : 17.187 – 18.153 dan Y :

9.375 – 11.058 seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



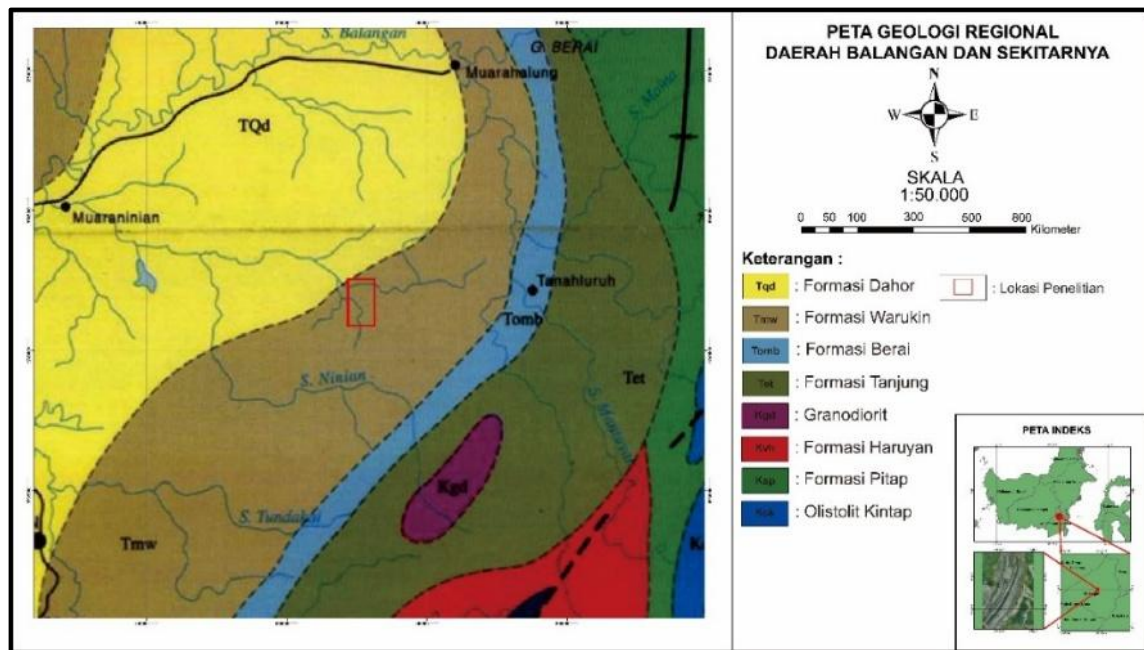
Gambar 1. Lokasi penelitian

### Geologi Regional

Daerah penelitian termasuk kedalam Cekungan Barito yang terletak di bagian tenggara Pulau Kalimantan. Cekungan Barito merupakan cekungan asimetrik yang membentuk *foredeep* di bagian timur dan platform di bagian barat tepatnya pada Blok Schwanner (Satyana, 1999). Secara fisiografis cekungan ini dibatasi oleh Blok Schwanner pada bagian barat, Tinggian Meratus pada bagian timur, Sesar Adang pada bagian utara, dan Cekungan Jawa Timur Utara pada bagian selatan secara tidak tegas (Winarno, 2017).

Cekungan Barito terbentuk akibat tektonik gaya regangan pada Kapur Akhir – Awal Miosen dan gaya tekanan pada Pliosen – Plistosen yang membentuk struktur berupa sesar dan lipatan. Lipatan berorientasi timur laut – barat daya terbentuk pada bagian timur laut secara intensif yang dipengaruhi oleh sesar naik dengan dip tinggi yang mengelilingi Pegunungan Meratus. Pada bagian barat tidak terbentuk deformasi akibat struktur geologi karena sedikit dikontrol oleh lempeng tektonik (Darman & Sidi, 2000).

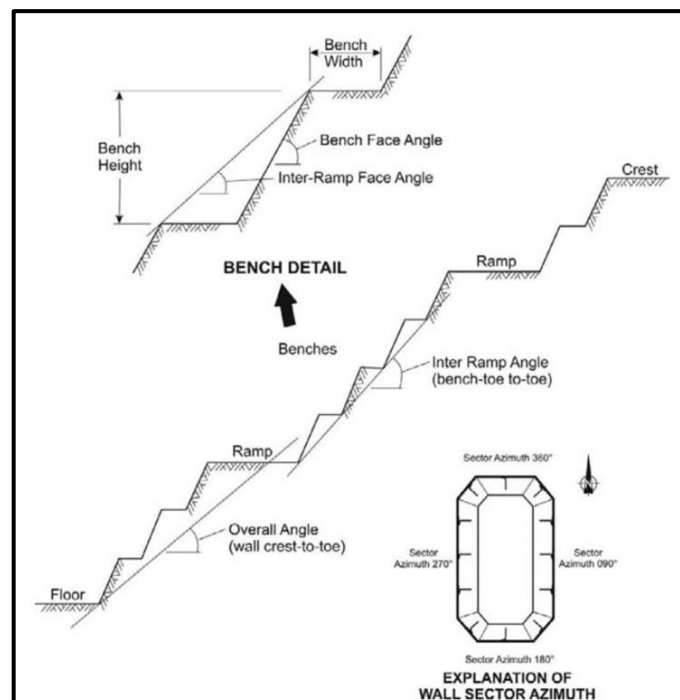
Daerah penelitian termasuk kedalam Formasi Warukin yang merupakan bagian dari Stratigrafi Cekungan Barito seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Formasi Warukin merupakan formasi pembawa batubara tebal dengan litologi penciri batulempung, batupasir halus, serta seam batubara. Terendapkan pada lingkungan *delta front* hingga *upper delta plain* pada Miosen Tengah – Atas dengan ketebalan 2400 meter yang terbagi menjadi Formasi Warukin bawah, tengah, dan atas (Novita dan Kusuma, 2016). Struktur geologi pada daerah penelitian didominasi oleh kekar berpasangan dengan orientasi arah umum tegasan utama tenggara – barat laut yang terbentuk pada litologi batulempung dan batupasir. Struktur sesar dan lipatan tidak ditemukan pada lokasi penelitian.



**Gambar 2.** Peta Geologi Regional Lembar Sampanahan (Modifikasi Heryanto, dkk, 1994)

## METODE

Lereng adalah morfologi berupa bidang yang memiliki suatu geometri berupa bagian tertinggi dan terendah yang membentuk sudut kemiringan tertentu serta apabila dalam kondisi tidak stabil akan memiliki potensi untuk terjadi longsor (Wesley dan Pranyoto, 2010 dalam Khodijah, dkk, 2022). Pada tambang terbuka, lereng dibagi menjadi tiga jenis yakni *lowwall* yang merupakan lereng dengan arah kemiringan lapisan dan kemiringan lereng sejajar, *sidewall* merupakan lereng yang berada disamping pit, dan *highwall* dengan kemiringan lapisan dan kemiringan lereng berlawanan. Masing-masing lereng terdiri atas empat bagian, yakni *bench height* yang merupakan tinggi lereng tunggal dari kaki *bench* hingga puncak, *bench angle* yang merupakan sudut lereng tunggal, *overall slope* yang merupakan sudut lereng keseluruhan, dan *bench width* yang merupakan lebar lereng yang diukur dari *toe* hingga *crest* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Geometri Lereng Tambang Terbuka (Read dan Stacey, 2009)

Kestabilan lereng dapat diartikan suatu keadaan stabil terhadap suatu bentuk lereng dan dimensi lereng atau disebut kesetimbangan terhadap gaya yang bekerja (Wyllie & Mah, 2004). Kesetimbangan gaya adalah kesetimbangan antara

gaya penggerak dan gaya penahan. Suatu lereng akan berada dalam kondisi stabil apabila nilai gaya penggerak lebih kecil dari gaya penahan dan juga sebaliknya. Perbandingan dari kedua gaya tersebut dinyatakan oleh nilai faktor keamanan (FK) seperti ditunjukkan pada (1)

$$FK = \frac{\text{Resultan Gaya Penahan (F*)}}{\text{Resultan Gaya Penggerak (F)}} \quad (1)$$

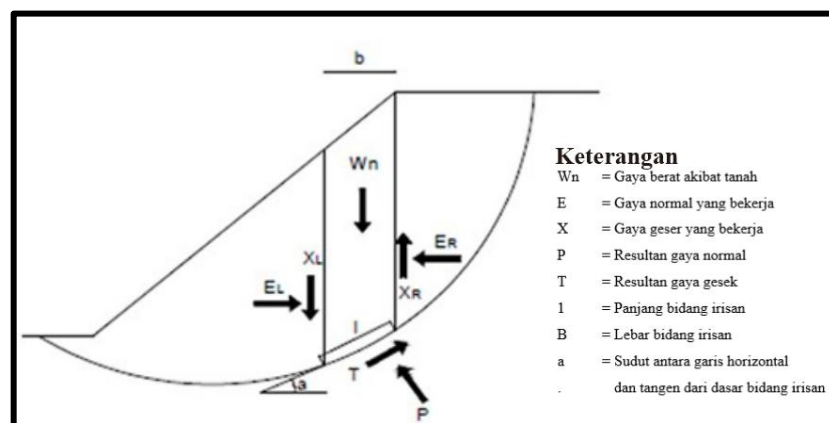
dengan F\* adalah gaya penahan (N) dan F adalah Gaya Penggerak (N).

Nilai minimum faktor keamanan diatur dalam Keputusan Menti ESDM No. 1827 K / 30 / MEM / 2018 seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Nilai Minimum Faktor Keamanan dan Probabilitas Kelongsoran Lereng Tambang (Modifikasi Kepmen ESDM No. 1827 K / 30 / MEM / 2018)

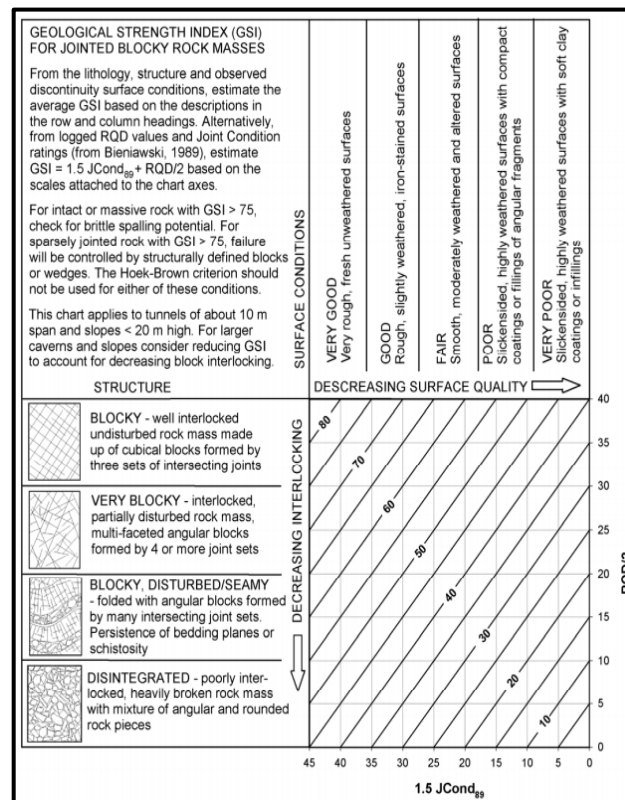
Jenis Lereng	Keparahan Longsor	Faktor Keamanan Statis (minimal)	Faktor Keamanan Dinamis (minimal)
Lereng Tunggal	Rendah - Tinggi	1,1	Tidak ada
Inter-ramp	Rendah	1,15 - 1,2	1
	Menengah	1,2 - 1,3	1
	Tinggi	1,2 - 1,3	1,1
Lereng keseluruhan	Rendah	1,2 - 1,3	1
	Menengah	1,3	1,05
	Tinggi	1,3 - 1,5	1,1

Analisis kestabilan lereng dalam penelitian ini menggunakan metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng pada kondisi statis tanpa memperhitungkan hubungan tegangan-regangan. Kestabilan lereng dinyatakan melalui faktor keamanan yang dihitung berdasarkan keseimbangan gaya, momen, atau kombinasi keduanya (Arif, 2016). Salah satu konsep dalam metode kesetimbangan batas adalah konsep Morgenstern-Price yang menganalisis faktor keamanan dari kesetimbangan gaya normal, gaya geser, serta momen yang bekerja pada tiap irisan bidang gelincir lereng. Maka dari itu, metode ini dipilih karena hasil perhitungan akan lebih akurat seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Gaya yang Bekerja pada Metode Morgenstern-Price (Takwin, dkk, 2017)

Kriteria keruntuhan yang digunakan adalah *Generalized Hoek-Brown* (2002) yang memperhitungkan rekahan yang terbentuk pada massa batuan. Parameter yang digunakan meliputi nilai kuat tekan batuan, nilai GSI seperti ditunjukkan pada Gambar 5, nilai *disturbance factor*, dan koefisien batuan *intact* ( $m_i$ ).



Gambar 5. Bagan *Geological Stength Index* (GSI) (Hoek, dkk, 2013)

Dalam pengukuran langsung di lapangan, digunakan metode *scanline* yang mengukur diskontinuitas pada massa batuan yang terbentuk pada sepanjang bentangan *scanline* menggunakan meteran. Pengukuran diskontinuitas tersebut menggunakan klasifikasi massa batuan *rock mass rating* (RMR) tahun 1989. Parameter lengkap yang digunakan yakni kekuatan batuan, nilai RQD, jarak antar diskontinuitas, panjang diskontinuitas, lebar bukaan diskontinuitas, material pengisi diskontinuitas, kekasaran diskontinuitas, tingkat pelapukan diskontinuitas, dan kondisi air tanah. Masing-masing parameter tersebut kemudian akan dilakukan pembobotan dengan lima rentang nilai berdasarkan kondisi tiap parameter dan selanjutnya seluruh nilai pembobotan dijumlahkan untuk mendapatkan nilai RMR (Bienawski, 1989) seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) (Modifikasi Bienawski, 1989)

Tabel 2. Klasifikasi Rock Mass Rating (RMR) (Modifikasi Bowdawi, 1992)								
No	Parameter		Pembobotan					
1	Kekuatan Massa Batuan	Point Load Strength Index	> 10 Mpa	4 - 10 Mpa	2 - 4 Mpa	1 - 2 MPa	Gunakan Nilai UCS	
		Uniaxial Compressive test	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 - 25 Mpa	1 - 5 Mpa
	Bobot		15	12	7	4	2	1
2	RQD		90 - 100 %	75 - 90 %	50 - 75 %	25 - 50 %	< 25 %	
	Bobot		20	17	13	8	3	
3	Spasi Diskontinuitas		> 2 m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,2 - 0,06 m	< 0,06m	
	Bobot		20	15	10	8	5	
Kondisi Diskontinuitas								
4	Kemenerusan		< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m	
	Bobot		6	4	2	1	0	
5	Bukaan		Tidak ada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5mm	
	Bobot		6	5	4	1	0	
6	Kekasaran		Sangat Kasar	Kasar	Sedikit	Halus	Slickensided	
	Bobot		6	5	3	1	0	
7	Pengisi		Tidak ada	Keras < 5 mm	Keras > 5 mm	Halus < 5 mm	Halus > 5 mm	
	Bobot		6	5	2	2	0	
8	Pelapukan		Tidak lapuk	Sedikit Lapuk	Lapuk sedang	Sangat Lapuk	Hancur	
	Bobot		6	5	3	1	0	
9	Kondisi Air Tanah		Kering	Lembab	Basah	Menetes	Mengalir	
	Bobot		15	10	8	4	0	



## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Data Primer

Data primer didapatkan dari delapan titik lokasi pengamatan yang tersebar pada lereng *highwall* dan *sidewall*. Metode *scanline* dilakukan pada kedelapan titik tersebut untuk mengetahui kondisi diskontinuitas pada lereng dan mendapatkan *rock mass rating* (RMR) yang akan digunakan untuk mendapatkan nilai *geological strength index* (GSI) sebagai parameter dalam analisis kestabilan lereng. Parameter nilai GSI dikelompokkan berdasarkan jenis litologinya, yakni batulempung, batupasir, batulanau, dan batubara seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai GSI

Litologi	Nilai GSI
Batulempung	53
Batupasir	55
Batulanau	59
Batubara	43

### Data Sekunder

Data sekunder didapatkan dari data perusahaan meliputi data laboratorium, data topografi aktual, data desain lereng, data laboratorium, dan data ketinggian muka air tanah. Data laboratorium terdiri atas data kuat tekan batuan dan berat isi. Data topografi aktual, desain lereng, dan kedalaman muka air tanah digunakan untuk membuat sayatan lereng. Data kedalaman muka air tanah didapatkan dari pengukuran *piezometer* pada Juni 2021 hingga Maret 2025 yang didapatkan rata-rata kedalamannya 20 meter dari permukaan. Data koefisien seismik berdasarkan data PGA Indonesia tahun 2017 seismik juga digunakan untuk analisis dinamis. Nilai PGA pada lokasi penelitian diperoleh sebesar 0,1g, kemudian dikonversi menjadi nilai F PGA melalui perhitungan faktor amplifikasi ( $F_a$ ) sesuai dengan SNI 8460 (2017), dengan asumsi litologi penyusun berupa batuan (SB). Selanjutnya, untuk menentukan koefisien seismik horizontal ( $k_h$ ) yang digunakan dalam analisis kestabilan lereng dengan metode kesetimbangan batas, ditetapkan sebesar 0,5 dari nilai F PGA. Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh nilai  $k_h$  sebesar 0,05.

### Litologi Batuan

Jenis litologi penyusun yang ditemukan pada daerah penelitian dibagi menjadi empat, yakni batulempung, batupasir, batulanau, dan batubara dengan litologi batulempung mendominasi daerah penelitian sedangkan litologi batupasir, batulanau, dan batubara yang terdapat hanya pada beberapa titik pada lereng *highwall* dengan ketebalan yang tipis. Tingkat pelapukan batuan antara sedang hingga tinggi akibat kondisi cuaca serta aktivitas penambangan.

Batulempung seperti ditunjukkan pada Gambar 6 mendominasi daerah penelitian dimana hampir keseluruhan daerah penelitian tersusun atas batulempung. Deskripsi lapangan batulempung adalah sebagai berikut: Batulempung; Abu – abu (segar), Coklat (lapuk); Ukuran butir: Lempung ( $<0,004$  mm); Komposisi: Material berukuran lempung; Struktur: Perlapisan.



Gambar 6. Litologi Batulempung

Batupasir seperti ditunjukkan pada Gambar 7 terdapat pada beberapa titik dan memiliki struktur perlapisan. Deskripsi lapangan batupasir adalah sebagai berikut: Batupasir; Abu-abu (segar), Coklat kemerahan (lapuk); Ukuran butir: Pasir halus (0,125-0,25 mm); Derajat pembundaran: Membundar; Derajat pemilahan: Terpilah baik; Kemas: Didukung butiran; Struktur: Perlapisan; Komposisi Fragmen: Kuarsa, Litik; Matriks: Material berukuran lanau; Semen: Silika.



**Gambar 7.** Litologi Batupasir

Batulanau seperti ditunjukkan pada Gambar 8 terdapat pada beberapa titik dengan struktur perlapisan. Batulanau; Abu-abu (segar), Coklat (lapuk); Ukuran butir: Lanau (0,004 – 0,0625 mm); Komposisi: Material berukuran lanau; Struktur: Perlapisan



**Gambar 8.** Litologi Batulanau

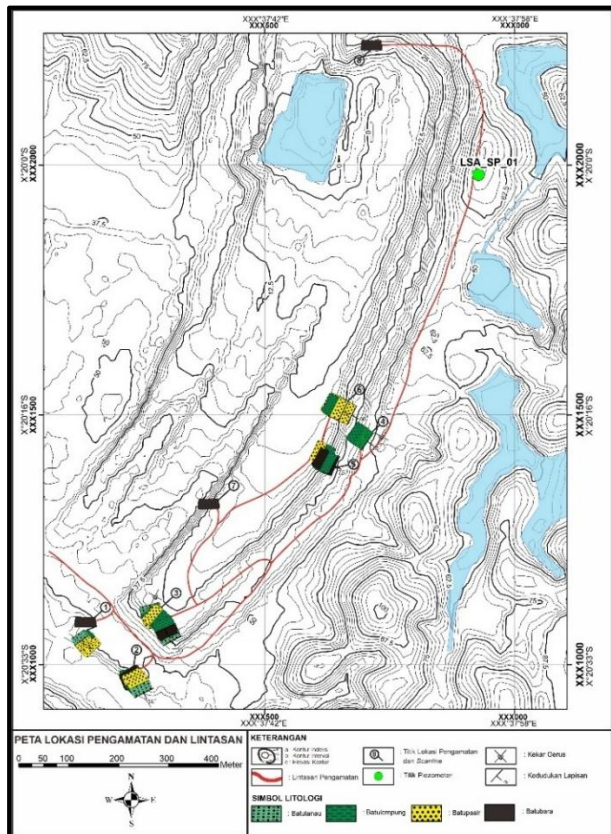
Batubara seperti ditunjukkan pada Gambar 9 yang terdapat pada lokasi penelitian merupakan bagian dari Seam A yang merupakan target utama dalam penambangan batubara. Selain batubara seam A, terdapat juga lapisan batubara yang sangat tipis di beberapa titik pada lereng highwall. Deskripsi lapangan batubara adalah sebagai berikut: Batubara; Warna: Hitam; Kilap: Cerah; Gores: Coklat; Pecahan: Uneven.



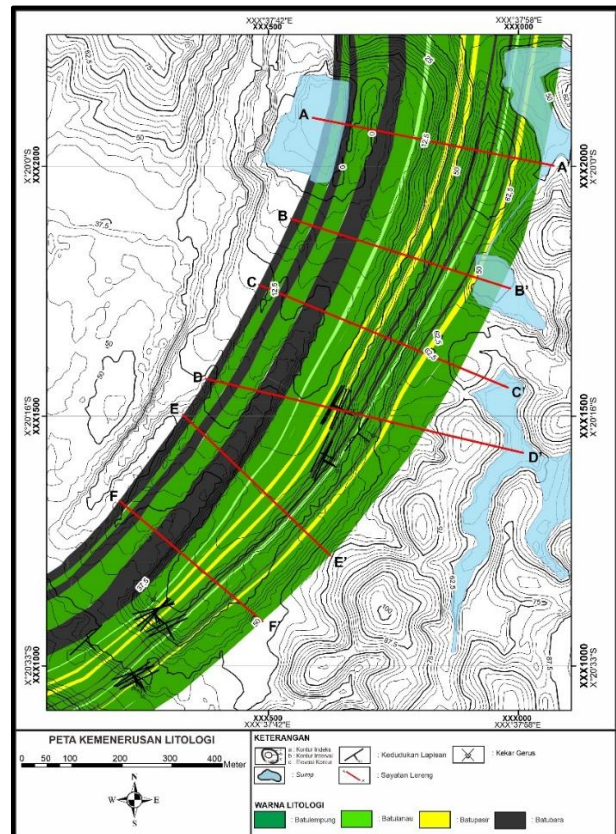
**Gambar 9.** Litologi Batubara

Setelah diketahui jenis litologi dari hasil pemetaan lapangan, dapat dibuat peta lintasan dan lokasi pengamatan seperti ditunjukkan pada Gambar 10 untuk mengetahui persebarannya. Selanjutnya, dibuat peta kemenerusan litologi seperti ditunjukkan pada Gambar 11 untuk mengetahui lapisan yang terdapat sepanjang lereng *highwall* dan sekitarnya. Terakhir, dibuat sayatan sepanjang lereng *highwall* untuk dilakukan analisis kestabilan lereng.





Gambar 6. Peta Lintasan dan Lokasi Pengamatan



Gambar 11. Peta Kemenerusan Litologi

### Analisis Kestabilan Lereng

Analisis dilakukan dengan beberapa asumsi yang digunakan, yakni:

1. Metode kesetimbangan batas menggunakan metode Morgenstern-Price menggunakan bantuan perangkat lunak *Slide 6.0*
2. Analisis dilakukan pada desain pit lereng *highwall* untuk lereng keseluruhan pada keenam sayatan.
3. Analisis dilakukan untuk kondisi statis dan dinamis dengan nilai koefisien seismik horizontal 0,05
4. Kriteria keruntuhan menggunakan *Generalized Hoek-Brown* pada material batuan dan Mohr-Coulomb pada material tanah.
5. Tipe longsoran diasumsikan *circular* dengan metode *auto-refine search* untuk menentukan nilai faktor keamanan *global minimum*.
6. Kedalaman muka air tanah mengikuti data *piezometer* dan diasumsikan seluruh kondisi kedalaman muka air tanah di daerah penelitian sama.

*Material properties* yang digunakan sebagai parameter analisis kestabilan lereng ditunjukkan pada Tabel 4.

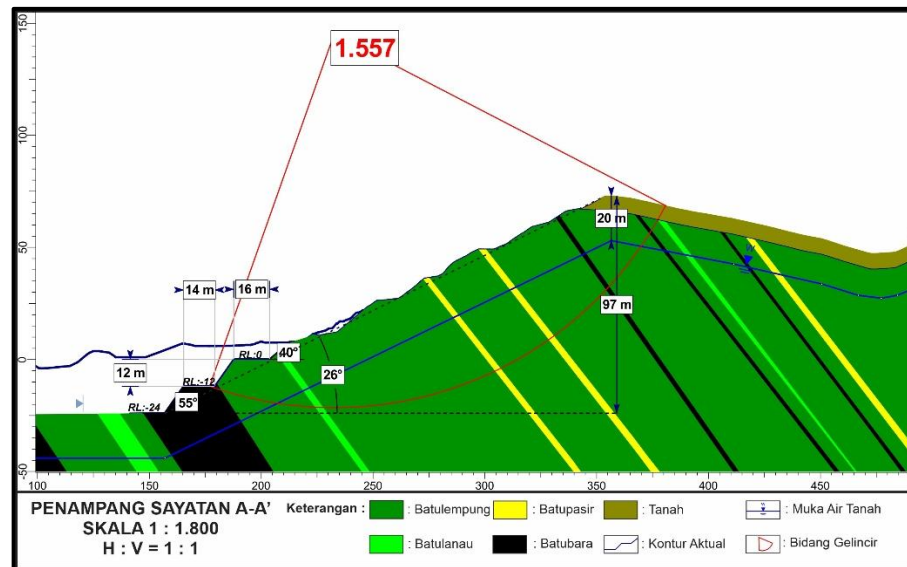
Tabel 4. *Material Properties*

Litologi	Berat Isi (kN/m <sup>3</sup> )	UCS (kPa)	GSI	mi	D
Batulempung	18,81	2460	53	4	0
Batupasir	18,865	3910	55	19	0
Batubara	12,152	6410	43	16	0
Batulanau	20,2	2680	59	9	0

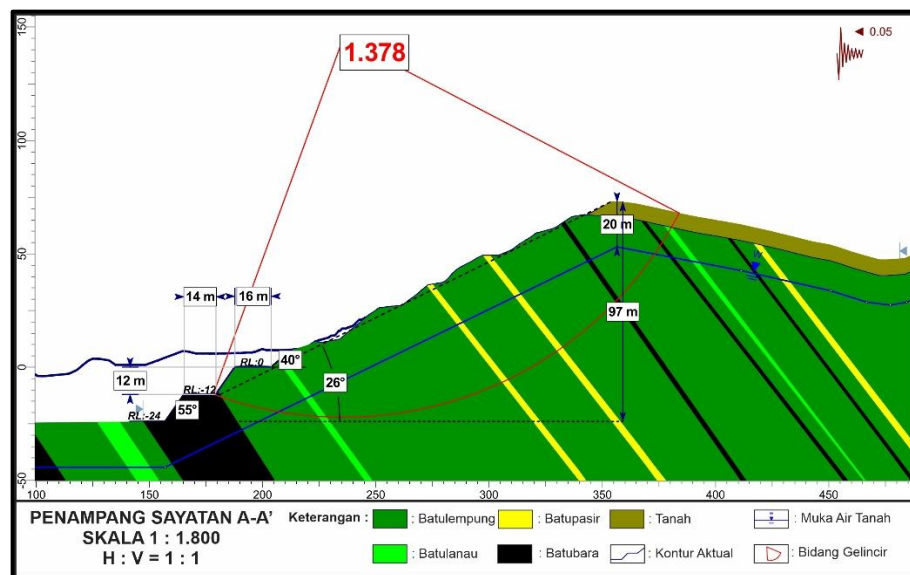
### Sayatan A-A'

Sayatan A-A' berada pada bagian paling utara lereng *highwall*. Desain lereng memiliki geometri sudut *bench* 55° pada elevasi -24 dan -12 meter serta sudut 40° pada elevasi 0 meter. Lebar *bench* 14 meter pada elevasi -12 meter dan lebar *bench* 16 meter pada elevasi 0 meter. Tinggi *bench* 12 meter dengan sudut lereng keseluruhan 26°. Berdasarkan analisis kestabilan lereng, bidang gelincir yang mungkin terjadi terdapat pada lereng keseluruhan dengan nilai faktor keamanan 1,557 untuk kondisi statis dan 1,378 untuk kondisi dinamis. Menurut Kepmen ESDM tahun 2018, nilai FK tersebut masih dalam kategori lereng stabil seperti ditunjukkan pada Gambar 12 dan 13.





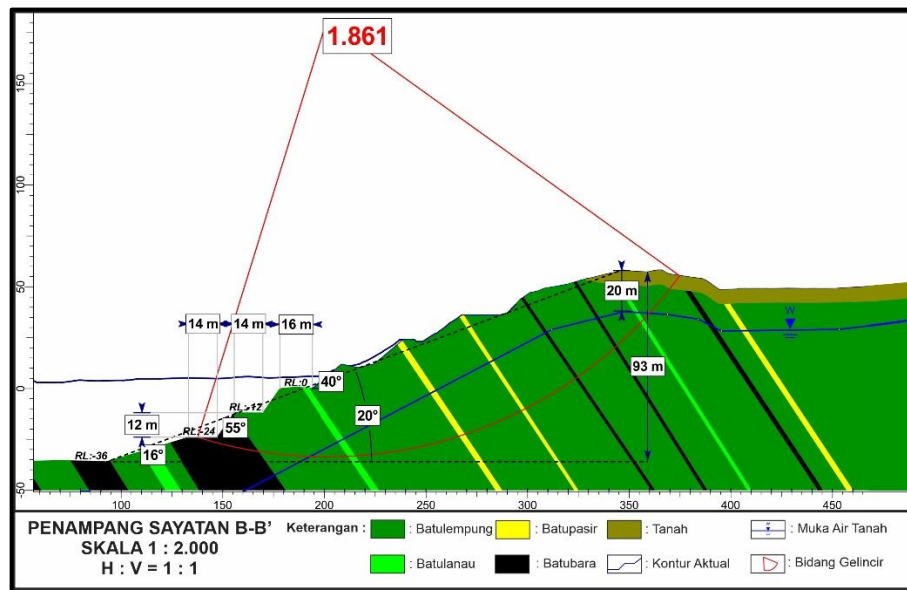
Gambar 7. Analisis Statis Desain Lereng Sayatan A-A'



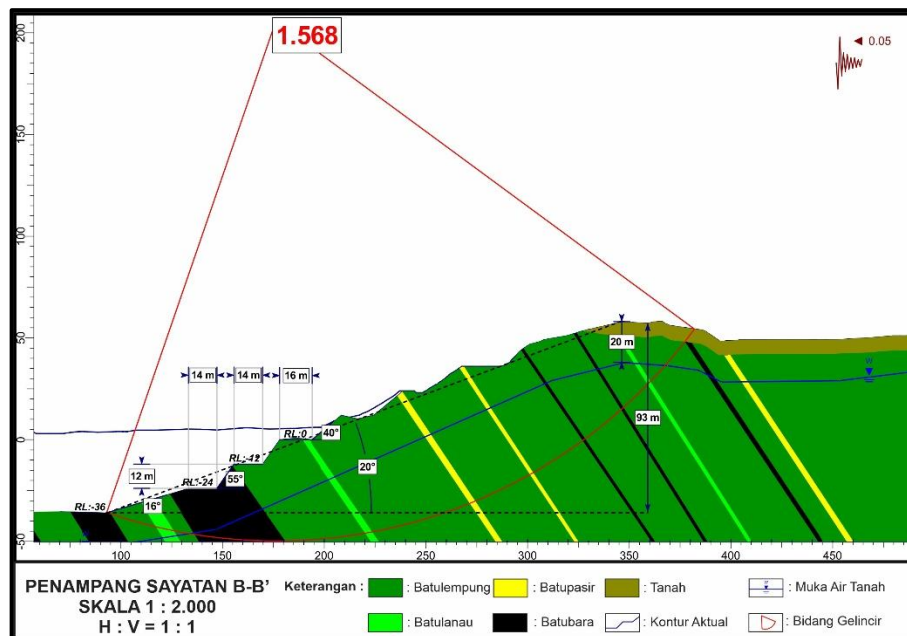
Gambar 8. Analisis Dinamis Desain Lereng Sayatan A-A'

### Sayatan B-B'

Sayatan B-B' memiliki geometri lereng dengan sudut *bench*  $16^\circ$  pada elevasi -36 meter, sudut  $55^\circ$  pada elevasi -24 meter, serta sudut  $40^\circ$  pada elevasi 0 meter. Lebar *bench* 14 meter pada elevasi -24 serta -12 meter, dan lebar *bench* 16 meter pada elevasi 0 meter. Tinggi *bench* 12 meter dengan sudut lereng keseluruhan  $20^\circ$ . Berdasarkan hasil analisis, bidang gelincir yang mungkin terjadi ada pada lereng keseluruhan dengan nilai faktor keamanan 1,861 untuk kondisi statis dan 1.571 untuk kondisi dinamis. Menurut Kepmen ESDM tahun 2018, nilai FK tersebut masih dalam kategori lereng stabil seperti ditunjukkan pada Gambar 14 dan 15.



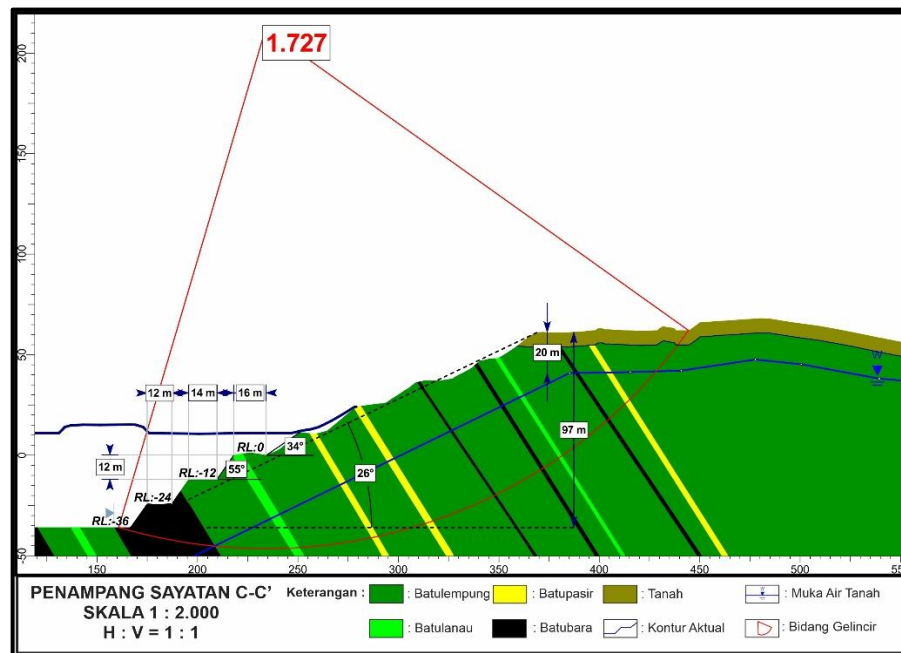
Gambar 9. Analisis Statis Desain Lereng Sayatan B-B'



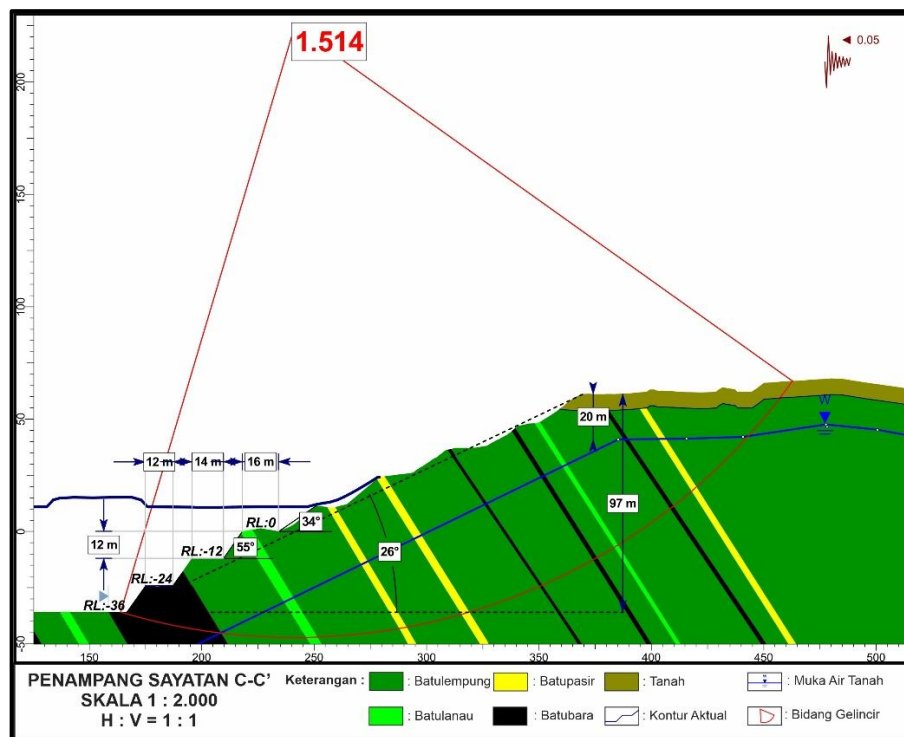
Gambar 10. Analisis Dinamis Desain Lereng Sayatan B-B'

### Sayatan C-C'

Sayatan C-C' memiliki geometri lereng dengan sudut bench 55° pada elevasi -12 meter, -24 meter, dan -36 meter serta sudut 34° pada elevasi 0 meter. Lebar bench 16 meter pada elevasi 0 meter, lebar bench 14 meter pada elevasi -12 meter, dan lebar bench 12 meter pada elevasi -24 meter. Tinggi bench 12 meter dengan sudut lereng keseluruhan 26°. Berdasarkan hasil analisis, bidang gelincir yang mungkin terjadi ada pada lereng keseluruhan dengan nilai faktor keamanan 1,727 untuk kondisi statis dan 1.483 untuk kondisi dinamis. Menurut Kepmen ESDM tahun 2018, nilai FK tersebut masih dalam kategori lereng stabil seperti ditunjukkan pada Gambar 16 dan 17.



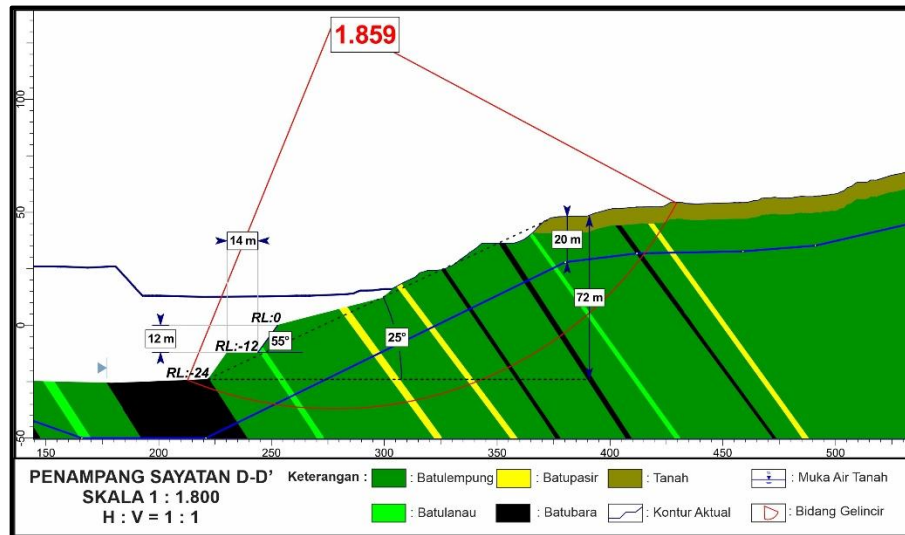
Gambar 11. Analisis Statis Lereng Sayatan C-C'



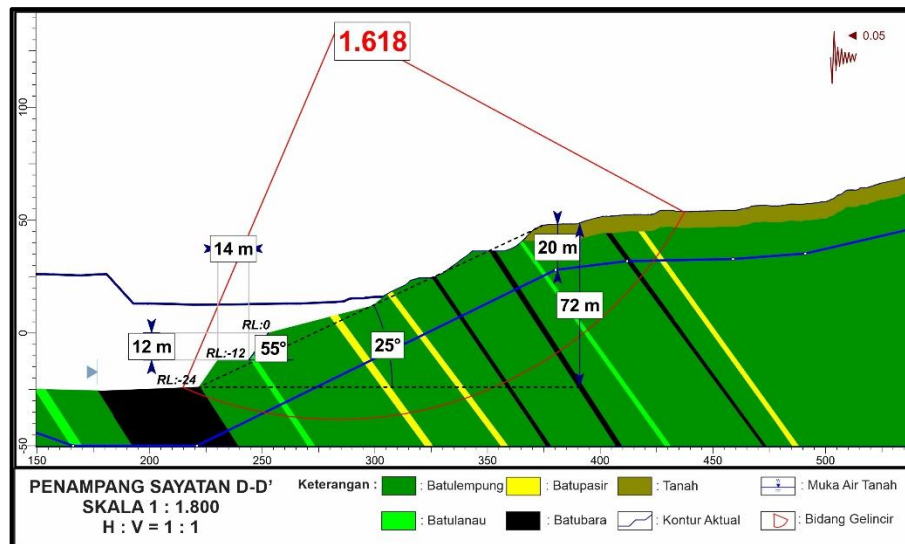
Gambar 12. Analisis Dinamis Lereng Sayatan C-C'

### Sayatan D-D'

Sayatan D-D' memiliki geometri lereng dengan sudut bench  $55^\circ$  pada elevasi -12 meter dan -24 meter serta sudut  $15^\circ$  pada elevasi 0 meter. Lebar bench 14 meter pada elevasi -12 meter. Tinggi bench 12 meter dengan sudut lereng keseluruhan  $25^\circ$ . Berdasarkan hasil analisis, bidang gelincir yang mungkin terjadi ada pada lereng keseluruhan dengan nilai faktor keamanan 1,859 untuk kondisi statis dan 1.594 untuk kondisi dinamis. Menurut Kepmen ESDM tahun 2018, nilai FK tersebut masih dalam kategori lereng stabil seperti ditunjukkan pada Gambar 18 dan 19.



Gambar 13. Analisis Statis Desain Lereng Sayatan D-D'

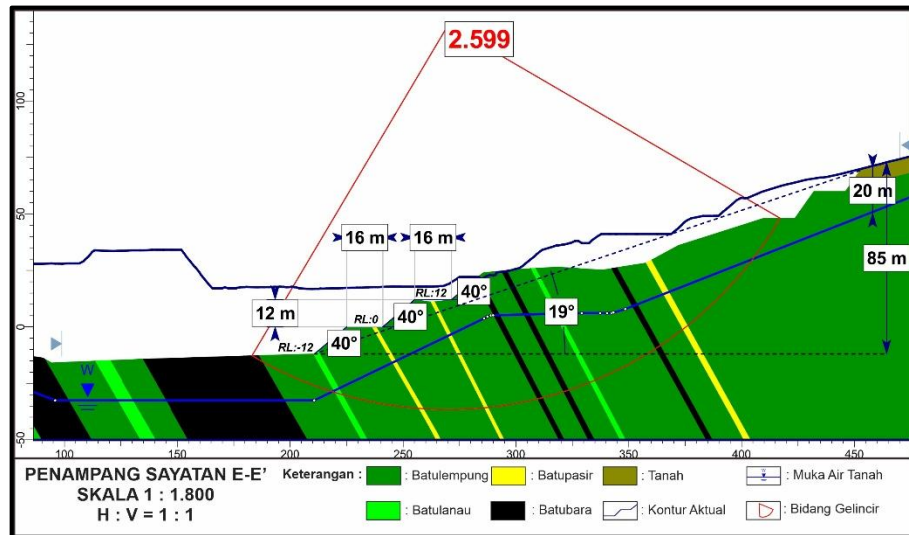


Gambar 14. Analisis Dinamis Desain Lereng Sayatan D-D'

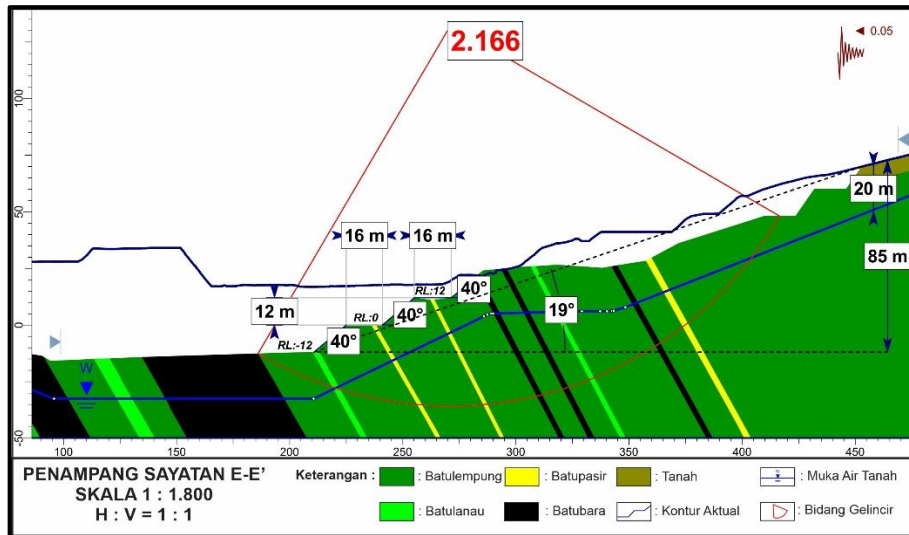
### Sayatan E-E'

Sayatan E-E' memiliki geometri lereng dengan sudut bench  $40^\circ$  pada elevasi 12 meter, 0 meter, dan -12 meter. Lebar bench 16 meter pada elevasi 0 meter dan 12 meter. Tinggi bench 12 meter dengan sudut lereng keseluruhan  $19^\circ$ . Berdasarkan hasil analisis, bidang gelincir yang mungkin terjadi ada pada lereng keseluruhan dengan nilai faktor keamanan 2,599 untuk kondisi statis dan 2.182 untuk kondisi dinamis. Menurut Kepmen ESDM tahun 2018, nilai FK tersebut masih dalam kategori lereng stabil seperti ditunjukkan pada Gambar 20 dan 21.





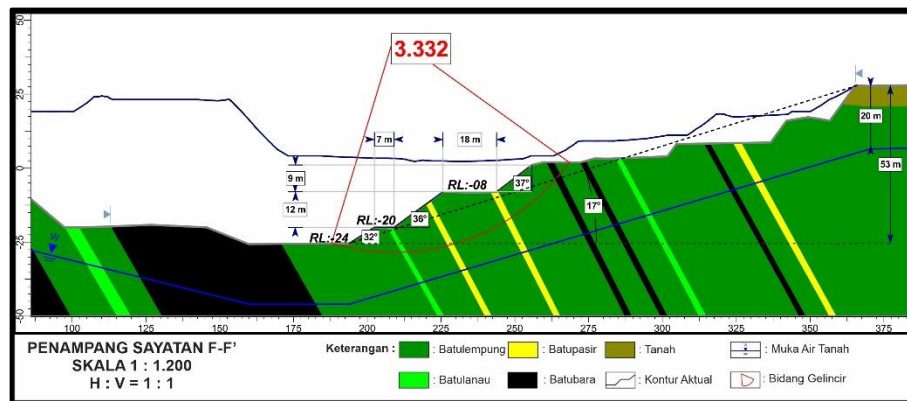
Gambar 15. Analisis Statis Desain Lereng Sayatan E-E'



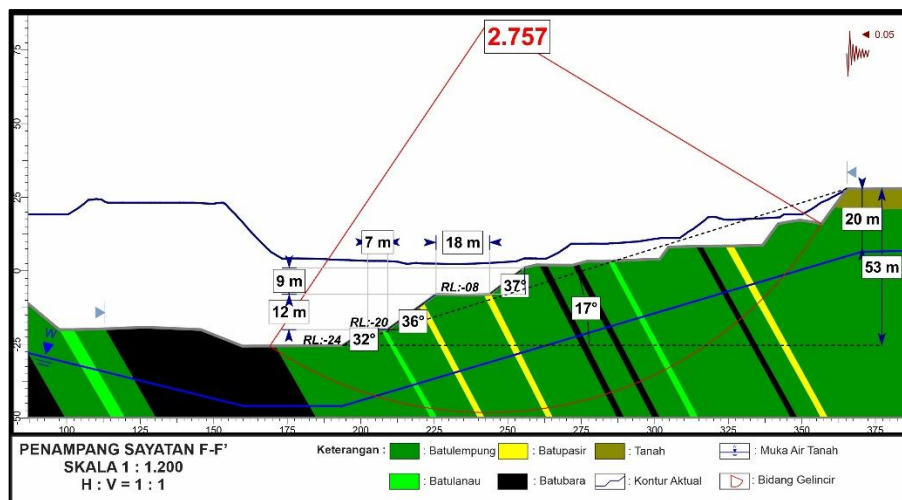
Gambar 16. Analisis Dinamis Desain Lereng Sayatan E-E'

#### Sayatan F-F'

Sayatan F-F' memiliki geometri lereng dengan sudut bench 36° pada elevasi -8 meter dan -20 meter serta sudut 32° pada elevasi -24 meter. Lebar bench 18 meter pada elevasi -8 meter dan lebar bench 7 meter pada elevasi -24 meter. Tinggi bench 9 meter pada elevasi -8 meter dan tinggi 12 meter pada elevasi -20 meter. Sudut lereng keseluruhan sebesar 17°. Berdasarkan hasil analisis, bidang gelincir yang mungkin terjadi ada pada lereng keseluruhan dengan nilai faktor keamanan 3,332 untuk kondisi statis dan 2,757 untuk kondisi dinamis. Menurut Kepmen ESDM tahun 2018, nilai FK tersebut masih dalam kategori lereng stabil seperti ditunjukkan pada Gambar 22 dan 23.



Gambar 17. Analisis Statis Desain Lereng Sayatan F-F'



Gambar 18. Analisis Dinamis Desain Lereng Sayatan F-F'

### Hasil Analisis

Setelah dilakukan analisis kestabilan lereng, didapatkan hasil sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5. Keseluruhan sayatan lereng didapatkan nilai FK yang telah memenuhi kriteria nilai minimum menurut Kepmen ESDM 2018 dimana dalam kondisi statis nilai FK minimum bernilai 1,3 dan dalam kondisi dinamis nilai FK minimum bernilai 1,1.

Tabel 5. Geometri Lereng dan Nilai FK Desain Lereng

Sayatan	Lebar Bench (m)	Tinggi Bench (m)	Sudut Bench	Sudut Lereng	Kedalaman Dasar Pit (m)	FK Statis	FK Dinamis
A - A'	14 - 16	12	40 - 55	26	-24	1,557	1,378
B - B'	14 - 16	12	16 - 55	20	-36	1,861	1,568
C - C'	12 - 16	12	34 - 55	26	-36	1,727	1,514
D - D'	14	12	55	25	-24	1,859	1,618
E - E'	16	12	40	19	-12	2,599	2,166
F - F'	7 - 18	9 - 12	32 - 36	17	-24	3,332	2,757

### PENUTUP

#### Kesimpulan

Bedasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di Pit "X" didapatkan daerah tersebut terdiri atas litologi batuan yang didominasi batulempung dengan sisipan batupasir, batulanau, dan batubara tebal. Litologi tersebut mencirikan Formasi Warukin yang merupakan formasi pembawa batubara dalam Stratigrafi Cekungan Barito. Lapisan batuan pada daerah penelitian memiliki kemiringan dip sekitar 40° hingga 70° kearah tenggara. Geometri lereng *highwall* pada daerah penelitian memiliki tinggi *bench* 12 meter kecuali pada sayatan F-F' yang memiliki tinggi 9 hingga 12 meter. Lebar *bench* beragam dengan maksimal 16 pada sayatan A-A' hingga E-E' dan 18 meter pada sayatan F-F'. Sudut lereng tertinggi terdapat pada sayatan A-A' dan C-C' sebesar 26° dan terendah pada sayatan F-F; sebesar 17°. Kedalaman dasar pit maksimal berada pada sayatan B-B' dan C-C' sebesar -36 meter. Kondisi kestabilan lereng *highwall* didapatkan bahwa

keseluruhan sayatan lereng memiliki nilai faktor keamanan bernilai lebih dari 1,3 dalam kondisi statis dan lebih dari 1,1 dinamis. Faktor keamanan dalam kondisi statis pada sayatan A – A' bernilai 1,557, sayatan B – B' bernilai 1,861, sayatan C – C' bernilai 1,727, sayatan D – D' bernilai 1,859, sayatan E – E' bernilai 2,599, dan sayatan F – F' bernilai 3,332. Sementara dalam kondisi dinamis pada sayatan A – A' bernilai 1,378, sayatan B – B' bernilai 1,568, sayatan C – C' bernilai 1,514, sayatan D – D' bernilai 1,618, sayatan E – E' bernilai 2,166, dan sayatan F – F' bernilai 2,757. Hal tersebut menunjukkan bahwa lereng *highwall* pada Pit "X" masih berada pada kategori stabil menurut ketentuan Kepmen ESDM 2018.

#### Saran

Perlu dilakukan pemantauan berkala terhadap lereng untuk mengantisipasi deformasi lereng. Pemantauan dapat menggunakan prisma atau ekstensometer pada beberapa titik lereng, terutama pada bagian dekat sayatan A-A' karena memiliki nilai FK yang cenderung paling kecil dibandingkan sayatan lainnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Darman, H., & Sidi, H. 2000. An Outline of the Geology of Indonesia. Jakarta: Indonesian Geologist Association Publication.
- Heryanto, R. 2008. Paleogeografi Cekungan Tersier Barito, Kalimantan. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan IAGI ke-37, Bandung: Agustus 2008
- Hoek, E., Carranza-Torres, C., dan Corkum, B. 2002. Hoek-Brown Criterion – 2002 Edition. Proceeding NARMS-TAC Conference. Vol. 1: 267 – 273.
- Khodijah, S., Monica, U., Eryyari, J., Khoirullah, N., dan Sophian, R. 2022. Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Keseimbangan Batas dalam Kondisi Statis dan Dinamis pada PIT X, Tanjung Enim, Sumatra Selatan. *Padjadjaran Geoscience Journal*. Vol. 6(4): 1030 – 1037.
- Novita, D. dan Kusumah, K.D. 2016. Karakteristik dan Lingkungan Pengendapan Batubara Formasi Warukin di Desa Kalumpang, Binuang, Kalimantan Selatan. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*. Vol. 17(3): 139 – 152.
- Read, J., dan Stacey, P. 2009. Guidelines for Open Pit Slope Design. CSIRO Publishing.
- Romana, M. R. 1993. A Geomechanical Classification For Slopes: Slope Mass Rating. *Rock Testing and Site Characterization*. 575 – 600.
- Satyana, A. H. 1999. Tectonic controls on the hydrocarbon habitats of the Barito, Kutei, and Tarakan, Eastern Kalimantan, Indonesia: major dissimilarities in adjoining basins. *Journal of Asians Earth Sciences*. 99 – 122.
- Takwin, G.A., Turangan, A., dan Rondonuwu, S. 2017. Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern-Price (Studi Kasus : Diamond Hill Citraland). *TEKNO*. Vol. 15(67): 66 – 76.
- Wyllie, C.D., dan Mah, C. W. 2004. *Rock Slope Engineering: Civil and Mining, 4th Edition* (4th ed.). The Institute of Mining and Metallurgy.
- Winarno, A., Amijaya, H., dan Agung, D. 2017. Studi Mineral dan Geokimia Batubara Peringkat Rendah Kalimantan Timur. Prosiding Seminar Nasional Kebumihan XII. Rekomendasi Sumber Daya Mineral dan Energi Untuk Kemakmuran Bangsa: 161-170. Yogyakarta, 14 September 2017: UPN Veteran Yogyakarta.