

## Analisis Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara untuk Perencanaan Tambang PT BCD Kalimantan Timur

*Dewi Ayu Kusumaningsih\**, Akbar Saepudin, Supardi Razak, Ahmad Fauzan Haryono  
Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Indonesia  
\*Email: [dewi.ayu@uinjkt.ac.id](mailto:dewi.ayu@uinjkt.ac.id)

### SARI

PT BCD merupakan sebuah perusahaan yang bergerak dalam industri pertambangan batubara dan terletak di daerah Kalimantan Timur. PT BCD saat ini belum melakukan operasi produksi, namun kegiatan operasi detil sudah dilakukan. Hasil dari eksplorasi detil ini digunakan sebagai data dalam perencanaan tambang. Dalam perencanaan penambangannya, PT BCD perlu melakukan kajian geoteknik salah satunya yaitu analisis kestabilan lereng bukaan tambang. Tujuan penelitian yaitu mengetahui geometri lereng yang direkomendasikan untuk lereng tunggal dan lereng keseluruhan di *highwall*. Material properties sebagai input material, dilakukan analisis statistik. Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan menerapkan pendekatan kesetimbangan batas menggunakan metode kesetimbangan gaya yang dirumuskan oleh Morgenstern-Price. Material yang terdapat pada lokasi penelitian berjumlah 4 (empat) lapisan, diantaranya lapisan *claystone*, *coal*, *sandstone* dan *siltstone*. Hasil dari kajian mengenai kestabilan lereng tunggal (*single slope*) terhadap keempat jenis material menunjukkan geometri lereng tunggal dengan ukuran tinggi lereng mencapai 10 m dan sudut  $65^\circ$ . Dari analisis tersebut, diperoleh nilai  $FK > 2$  serta  $PF 0,00\%$ , sehingga termasuk dalam kategori aman menurut Kepmen ESDM Nomor 1827 Tahun 2018. Analisis kestabilan lereng keseluruhan menghasilkan rekomendasi geometri lereng yang mencangkup dimensi tinggi lereng 60 m, *bench* 5 m, dengan sudut lereng keseluruhan  $30^\circ$ . Dari analisis tersebut, diperoleh nilai  $FK 1,207$  dan  $PF 0,00\%$ . Hasil rekomendasi lereng tersebut menunjukkan bahwa lereng berada dalam keadaan stabil sesuai dengan Kepmen ESDM Nomor 1827 Tahun 2018.

**Kata kunci:** kestabilan lereng; *single slope*; *overall slope*; probabilitas longsor

---

**How to Cite:** Kusumaningsih, D.A., Saepudin, A., Razak, S. dan Haryono, A.F. 2025. Analisis Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara untuk Perencanaan Tambang PT BCD Kalimantan Timur. Jurnal Geomine, 13 (2): 186-199.

**Published By:**

Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Muslim Indonesia

**Address:**

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05  
Makassar, Sulawesi Selatan

**Email:**

[geomine@umi.ac.id](mailto:geomine@umi.ac.id)

**Phone:**

+6285299961257

+628124190813

**Article History:**

Submit July 15, 2025

Received in from May 31, 2025

Accepted August 18, 2025

**Lisensec By:**

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)





### ABSTRACT

*PT BCD is a company engaged in the coal mining industry, located in East Kalimantan. The company has not yet commenced production operations; however, detailed exploration activities have been carried out. The results of this detailed exploration are used as data in mine planning. As part of its mine planning, PT BCD is required to conduct a geotechnical study, including a slope stability analysis of the mine opening. This study aims to determine the recommended slope geometry for both single slopes and overall slopes at the highwall. Statistical analysis was performed on the material properties used as input parameters. Slope stability analysis was conducted using a limit equilibrium approach, applying the force equilibrium method formulated by Morgenstern-Price. The study area comprises four (4) material layers: claystone, coal, sandstone, and siltstone. The results of the single slope stability analysis for the four material types indicate a recommended single slope geometry with a slope height of 10 m and an angle of 65°. This analysis yielded a safety factor (SF) > 2 and a probability of failure (PF) of 0.00%, classifying the slope as stable according to the Decree of the Minister of Energy and Mineral Resources No. 1827 of 2018. The overall slope stability analysis resulted in a recommended slope geometry comprising a total slope height of 60 m, a bench width of 5 m, and an overall slope angle of 30°. This analysis produced an SF of 1.207 and a PF of 0.00%. These recommended slope geometries indicate that the slopes are stable in accordance with the Decree of the Minister of Energy and Mineral Resources No. 1827 of 2018.*

**Keywords:** *slope stability, single slope, overall slope, probability of failure.*

### PENDAHULUAN

Kegiatan pertambangan dalam melakukan aktivitasnya diperlukan perencanaan tambang dengan mempertimbangkan berbagai aspek, diantaranya: aspek teknis; ekonomis; lingkungan termasuk faktor kestabilan lereng penambangan. Kestabilan lereng penambangan penting dilakukan sebelum kegiatan penambangan berjalan guna mendapatkan lereng yang aman. Kestabilan sebuah lereng dapat dievaluasi melalui nilai Faktor Keamanan (FK). FK bisa diartikan sebagai perbandingan antara gaya yang berfungsi menahan dan gaya yang mendorong (Hardiyatmo, 2018).

PT BCD merupakan sebuah perusahaan yang bergerak dalam industri pertambangan batubara dan terletak di daerah Kalimantan Timur. PT BCD saat ini belum melakukan kegiatan operasi produksi, namun kegiatan eksplorasi detil sudah dilakukan. Hasil dari eksplorasi detil ini digunakan sebagai data dalam perencanaan tambang. Dalam perencanaan penambangannya, PT BCD perlu melakukan kajian geoteknik salah satunya yaitu analisis kestabilan lereng bukaan tambang. Faktor-faktor yang menentukan stabilitas lereng meliputi bentuk tanah, keadaan geologi (unsur batuan dan struktur geologi), air tanah, keberadaan tumbuhan, sifat dari tanah atau batuan yang menutupi lereng, getaran bumi, dan cuaca (Rahman, 2010).

Analisis kestabilan lereng penambangan batubara PT BCD dilakukan sebelum kegiatan penambangan dilakukan. Hasil analisis berupa rekomendasi lereng yang aman untuk menunjang kegiatan perencanaan tambang agar batubara yang dihasilkan dapat optimal. Perancangan stabilitas lereng meliputi lereng tunggal dan keseluruhan. Lereng tunggal (*single slope*) adalah lereng yang mempunyai satu jenjang dengan sudut kemiringan dan ketinggian tertentu (Nuryanto, 2017). Sementara itu, lereng keseluruhan (*overall slope*) adalah lereng berukuran besar di area tambang terbuka yang terdiri dari lereng *inter-ramp* serta lereng tunggal yang terhubung dari *crest* paling atas hingga bagian *toe* paling bawah lereng (Sirnipson et al, 2020).

Kestabilan lereng yang aman merujuk pada nilai Faktor Keamanan sesuai Keputusan Menteri Energi Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K tahun 2018 mengenai Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik (Kepmen ESDM, 2018). Analisis kestabilan lereng dilakukan untuk memperoleh rekomendasi yang tepat untuk geometri lereng tunggal dan keseluruhan. Lereng keseluruhan terdiri dari lereng *highwall*. Lereng *highwall* adalah lereng yang berlawanan dengan arah perlapisannya (Manginte, 2019).

Syam et al (2021) dalam penelitiannya merekomendasikan geometri lereng tunggal pada penambangan batubara di lereng *highwall* PT Belayan Internasional Coal, disarankan 10 meter dengan sudut 60-70°. Rekomendasi lereng keseluruhan yaitu lebar *bench* 5 meter dengan jumlah lereng tunggal sebanyak 8 lereng. Nilai FK yang diperoleh 1,102. Sementara itu, berdasarkan studi yang dilakukan oleh Farhan et al (2020) mengungkapkan bahwa kestabilan lereng tunggal di *highwall* pada penambangan batubara yaitu 8 meter, dengan *slope* 2:3. Lereng keseluruhan yang disarankan dengan tinggi 165 m, dengan sudut 18,5° dan lebar berm 10 m.

## **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian yang diterapkan adalah kuantitatif dengan pemanfaatan permodelan geoteknik. Penelitian ini memanfaatkan baik data sekunder maupun primer. Data sekunder diperoleh melalui tinjauan literatur, sedangkan data primer dikumpulkan melalui pengamatan langsung di lokasi penelitian.

### **Teknik Pengumpulan Data**

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan dua metode, yaitu kajian pustaka dan pengamatan langsung. Pengumpulan data melalui kajian pustaka dilakukan dengan mengumpulkan informasi yang bersumber dari buku, artikel jurnal, dan laporan dari perusahaan. Sedangkan pengumpulan informasi melalui pengamatan langsung adalah data yang dikumpulkan dengan cara mengamati secara langsung di lokasi, dalam hal ini adalah konsesi tambang PT BCD yang berada di Provinsi Kalimantan Timur. Adapun data yang dimaksud meliputi:

1. Data pemboran geoteknik;
2. Data *section* rencana penambangan;
3. *Material properties*;
4. Data *logging*; dan
5. Dokumentasi lapangan

### **Teknik Pengolahan Data**

Proses pengolahan data dilakukan melalui dua langkah, yaitu melalui perhitungan dan komputasi. Pengolahan data dengan melakukan perhitungan dilakukan untuk mendapatkan data *material properties* mana yang akan digunakan pada analisis kajian geoteknik, pada tahap ini dibutuhkan analisis statistik dalam pengolahan data dengan bantuan ms. excel. Pengolahan data dengan komputasi dilakukan jika semua parameter *input* telah didapatkan. Pengolahan data dengan komputasi dilakukan untuk memudahkan dalam melakukan analisis stabilitas lereng tunggal dan keseluruhan. Prinsip komputasi yaitu mengaplikasikan metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*).

### **Teknik Analisis Data**

Teknik analisis data dilakukan untuk memperoleh geometri lereng yang direkomendasikan. Teknik analisis data yang diterapkan memanfaatkan dukungan komputasi berdasarkan prinsip kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*). Selain itu analisis data

dilakukan dengan menggunakan metode lainnya seperti metode Morgenstern-Price, dengan kriteria keruntuhan berdasarkan *Mohr-Coulomb*. Kriteria *Mohr Coulomb* dikenalkan oleh Mohr Coulomb. Prinsip dasar kondisi Mohr berasumsi bahwa *failure* hanya dipengaruhi oleh tegangan utama ( $\sigma_1$ ) dan tegangan minor ( $\sigma_3$ ), dan bentuk dari *failure envelope*, dan tegangan ( $\sigma$ ), kuat geser ( $\tau$ ) yang bekerja pada bidang *failure*, yaitu berupa regresi *linier* maupun *non-linier* (Labuz, 2012). Hasil analisis menunjukkan nilai Faktor Keamanan yang merujuk pada KEPMEN ESDM Nomor 1827 K Tahun 2018. Faktor Keamanan (FK) adalah perbandingan antara gaya yang menahan kestabilan lereng, dengan gaya penggerak yang memicu terjadinya longsoran (Shobari, 2019).

### Metode Kesetimbangan Batas

*Limit Equilibrium Method* (LEM) atau metode kesetimbangan batas adalah teknik analisis yang paling sering digunakan. Metode analisis ini mengasumsikan irisan pada setiap bidang gelincir yang akan dianalisis. Gaya yang berfungsi pada permukaan adalah gaya geser yang terjadi di antara dua permukaan, berat yang berpengaruh, dan gaya tegak yang beroperasi. Metode analisis kesetimbangan batas atau LEM mengasumsikan besar gaya-gaya antar irisan bernilai 0, dan bidang runtuh memiliki bentuk seperti busur lingkaran. Metode ini memiliki kondisi kesetimbangan momen yang menitik beratkan di pusat lingkaran dan kesetimbangan gaya horizontal dan vertikal di setiap irisan (Geoslope, 2010).

Morgenstern-Price merupakan salah satu metode analisis pada metode kesetimbangan batas. Metode Morgenstern-Price adalah suatu pendekatan yang diciptakan oleh Morgestern dan Price pada tahun 1965. Metode ini melaksanakan analisis terhadap keseimbangan gaya dan momen yang beroperasi pada sebuah lereng. Persamaan gaya untuk setiap bidang yang mengalami kelongsoran menggunakan persamaan 1, sementara gaya yang berpengaruh pada irisan dapat dilihat pada **Gambar 1**.

$$P = \frac{[W_n - (X_R - X_L) - \frac{1}{E} c' (\sin \alpha - \tan \phi' \sin \alpha)]}{\cos \alpha (1 + \tan \alpha \frac{\tan \phi'}{E})} \quad (1)$$

Dimana:

P = gaya normal

c' = kohesi

W<sub>n</sub> = gaya yang disebabkan oleh beban tanah ke-n

$\alpha$  = sudut yang terbentuk antara pusat bidang irisan dan pusat busur pada bidang longsor

$\phi'$  = sudut geser tanah

u = tekanan air pori

X<sub>L</sub>, X<sub>R</sub> = gaya gesek yang bekerja di tepi irisan

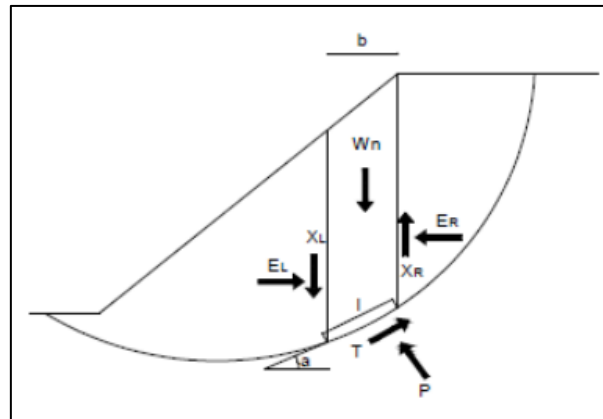
### Probabilitas Kelongsoran

Keberlangsungan sebuah lereng dapat ditunjukkan melalui nilai Faktor Keamanan (FK), yang merupakan perbandingan antara gaya penahan dan gaya yang mendorong. Dalam konteks probabilitas, kedua parameter input, baik gaya penahan maupun gaya pendorong merupakan fungsi dari variabel acak yang memiliki distribusi probabilitas. Gabungan kedua elemen tersebut, maka akan diperoleh probabilitas terjadinya kelongsoran.

Probabilitas dianalisis menggunakan teknik simulasi *Monte Carlo*. Teknik ini sering dipakai dalam analisis probabilitas. Pendekatan ini sangat efektif dalam menangani masalah yang berkaitan dengan variabel tidak pasti. Selain mudah, pendekatan ini juga memiliki kemampuan yang lebih adaptif dalam mengkombinasikan berbagai jenis distribusi probabilitas dengan sedikit penafsiran, serta mampu memodelkan hubungan antar variabel. Dalam metode kesetimbangan batas, nilai FK adalah perbandingan antara gaya yang menahan lereng dan



gaya pendorong lereng, dimana setiap parameter adalah fungsi dari variabel acak yang memiliki sifat ketidakpastian dan mengikuti distribusi probabilitas tertentu. Oleh karena itu, penerapan simulasi Monte Carlo sangat tepat untuk mengatasi masalah ketidakpastian pada nilai FK, sehingga akhirnya akan diperoleh nilai probabilitas terjadinya longsoran (Arief, 2016).



**Gambar 1.** Irisan yang berisi gaya-gaya menggunakan metode morgenstern price (Morgenstern Price (1965) dalam Amrullah, 2019)

Tahapan dalam menghitung kemungkinan terjadinya kelongsoran menggunakan pendekatan *Monte Carlo* adalah sebagai berikut (Willie, 2004):

1. Mengestimasi distribusi kemungkinan untuk setiap variabel acak yang menjadi parameter kestabilan lereng (contohnya distribusi normal atau lognormal)
2. Menghasilkan angka acak untuk masing-masing parameter yang berdistribusi merata dengan memanfaatkan rentang dari 0 hingga 1 yang kemudian dikalikan dengan rentang setiap parameter (selisih antara nilai maksimal dan minimal). Untuk fungsi lainnya, diperlukan distribusi kumulatif untuk setiap variabel acak tersebut.
3. Menghitung nilai masing-masing gaya penahan dan gaya penggerak, kemudian menentukan seberapa sering ( $M$ ) gaya penahan muncul dengan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan gaya penggerak.
4. Ulangi langkah-langkah tersebut sebanyak  $N$  kali ( $N > 100$ ) dan seterusnya, hitung kemungkinan terjadinya kelongsoran menggunakan persamaan 2.

$$PK = \frac{N-M}{N} \quad (2)$$

Dimana :

PK = Peluang terjadinya kelongsoran/ Probabilitas Kelongsoran

N = Total perhitungan yang dilakukan

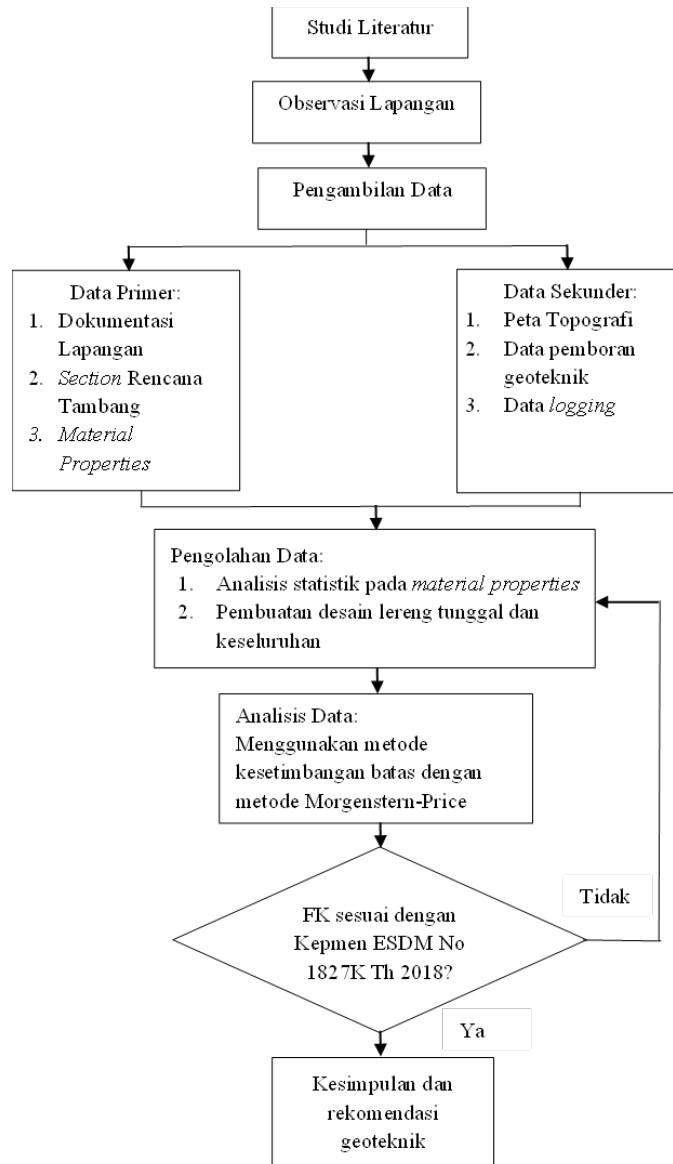
M = Total kejadian nilai gaya penahan yang lebih besar dibandingkan gaya penggerak

Proses ini membutuhkan simulasi sampai ribuan kali untuk menghasilkan kalkulasi statistik yang akurat. Setelah proses *Monte Carlo* selesai dan diperoleh angka acak untuk nilai faktor keamanan, langkah berikutnya adalah menyusun distribusi empiris dari nilai faktor keamanan hingga data tersebut diolah menjadi histogram frekuensi relatif, lalu didekati dan dianalisis dengan fungsi kerapatan probabilitas atau distribusi teoritis yang sesuai (Arief, 2016).



### Diagram Alir Penelitian

Penelitian dimulai dengan kajian literatur, observasi di lapangan, pengumpulan data yang meliputi data sekunder dan data primer, pengolahan informasi, analisis data, penarikan kesimpulan, serta pembuatan rekomendasi. Diagram alur penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Diagram alir penelitian

## HASIL PENELITIAN

### Pemboran Geoteknik

PT BCD adalah sebuah perusahaan yang bergerak di bidang penambangan batubara yang berada di wilayah Provinsi Kalimantan Timur. Pada saat pengambilan data dilaksanakan, PT BCD belum melakukan operasi penambangan. Kegiatan yang telah dilakukan yaitu kegiatan eksplorasi. Kegiatan eksplorasi dilakukan dengan metode pemboran secara *full coring*. Metode pemboran secara *full coring* dimaksudkan agar sampel hasil pemboran tersebut dapat



dijadikan sampel untuk mengetahui kualitas batubara dan juga dapat dimanfaatkan untuk pemboran geoteknik.

Pemboran geoteknik diperlukan dengan maksud untuk memahami sifat dan karakteristik batuan yang berada di wilayah IUP PT BCD. Karakteristik dari batuan meliputi sifat-sifat fisik serta mekanis yang dimiliki oleh batuan. Hasil dari proses pemboran geoteknik adalah contoh batuan, yang selanjutnya contoh batuan tersebut akan dikirim ke laboratorium untuk pengujian terhadap karakteristik fisik dan mekanik batuan. **Gambar 3** merupakan salah satu contoh batuan jenis *claystone* hasil pemboran geoteknik.



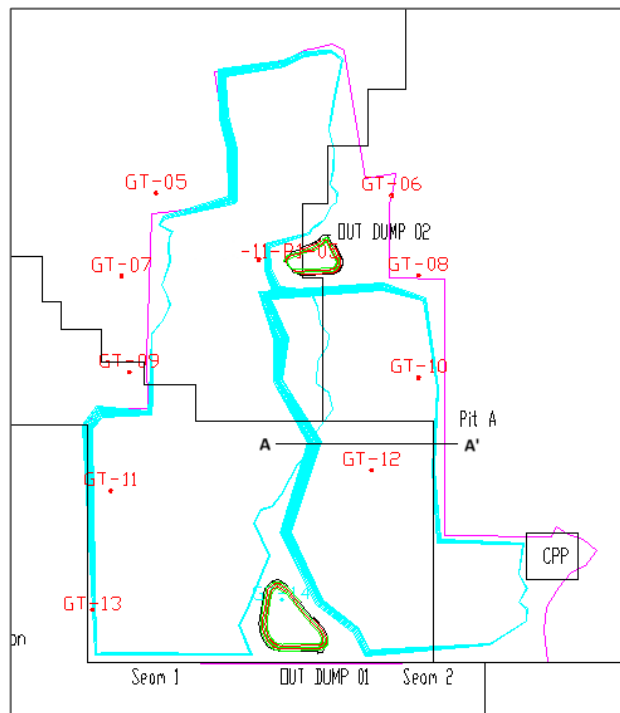
**Gambar 3.** Batuan *claystone* dari pemboran geoteknik

Pemboran geoteknik dilaksanakan di lokasi yang telah ditetapkan sebelumnya. Dalam penelitian ini, terdapat 9 (sembilan) titik yang menjadi lokasi pengambilan sampel, yaitu GT 05, GT 06, GT 07, GT 08, GT 09, GT 10, GT 11, GT 12, dan GT 13. Posisi titik lubang bor tersebut bisa dilihat pada **Gambar 4**.

### **Rencana Penambangan**

Rencana penambangan batubara PT BCD memerlukan analisis geoteknik, dengan tujuan untuk mengetahui rekomendasi geometri lereng yang aman ketika tambang beroperasi. Sistem penggalian yang akan digunakan adalah tambang terbuka dengan teknik pengisian kembali (*back filling*). Teknik pengisian kembali adalah cara mengisi kembali material tanah penutup di area bekas galian setelah bahan tambang diambil atau ditambang, sehingga lahan yang telah ditambang dapat dipakai kembali untuk tujuan reklamasi, demi mengurangi efek negatif dari aktivitas penambangan (Rahman et al, 2019).

Desain penambangan telah dibuat oleh PT BCD pada area pit seluas 1.700 ha. Kajian analisis geoteknik dilakukan pada *section A – A'*. Adapun rencana design penambangan PT BCD, *section* geoteknik dan lokasi pemboran geoteknik yang dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Rencana Penambangan dan Lokasi Pemboran Geoteknik

### ***Material Properties***

Karakteristik fisik batuan yang berpengaruh terhadap stabilitas lereng adalah bobot isi batuan, permeabilitas, porositas dan kadar air. Di sisi lain, hasil pengujian sifat mekanik batuan yang berpengaruh terhadap stabilitas lereng adalah kekuatan kohesi dan sudut geser dalam (Bowles, 1991). Hasil dari pengujian karakteristik fisik dan mekanik batuan yang dilakukan oleh Laboratorium selanjutnya diproses menjadi informasi statistik. Penelitian ini menggunakan kriteria keruntuhan Mohr Coulomb, sehingga sifat mekanik yang dilakukan analisis statistik adalah nilai kohesi dan nilai sudut geser dalam. Hasil dari data statistik ini digunakan sebagai sifat-sifat bahan (parameter masukan) dalam menganalisis kestabilan tebing menggunakan metode kesetimbangan batas. *Material properties* di lokasi IUP PT BCD terdiri dari beberapa lapisan batuan, yaitu *claystone*, *sandstone*, *siltstone*, dan *coal*. Hasil pengolahan data statistik mengenai sifat material dapat dilihat pada **Tabel 1**.

### ***Analisis Kestabilan Lereng Tunggal (Single Slope)***

Analisis kestabilan lereng tunggal dilakukan pada 4 (empat) material, yaitu *claystone*, *coal*, *sandstone* dan *siltstone*. Pendekatan yang digunakan dalam menganalisis lereng tunggal diantaranya:

1. Parameter kekuatan menggunakan nilai terkecil dari setiap kelompok material pembentuk lereng;
2. Material dianggap homogen berdasarkan jenis litologinya;
3. Tinggi muka air tanah dianggap jenuh yaitu mengikuti tinggi lereng;
4. Tekanan air pori yang digunakan dalam kalkulasi adalah 1,0 dan *seismic load factor* yang digunakan berdasarkan lokasi kegiatan penambangan PT BCD sebesar 0,083;
5. Acuan FK berdasarkan KEPMEN ESDM Nomor 1827 K Tahun 2018, dimana FK lereng tunggal yaitu minimal 1,1 dengan keadaan statis dengan probabilitas longsor maksimal 25-50%.

**Tabel 1.** Hasil Analisis Statistik *Material Properties*

<b>Nama Material</b>	<b>Property</b>	<b>Satuan</b>	<b>Distribusi</b>	<b>Mean</b>	<b>Std. Dev.</b>	<b>Rel. Min</b>	<b>Rel. Max</b>
<i>Claystone</i>	Kohesi	MPa	Lognormal	0,0721	0,0081	0,0121	0,0149
	Sudut geser dalam	°	Normal	15,806	0,7634	1,9360	1,0840
	Bobot isi basah	g/cm <sup>3</sup>	Normal	2,0781	0,0443	0,2081	0,0618
	Bobot isi natural	g/cm <sup>3</sup>	Lognormal	1,9909	0,1158	0,6209	0,0791
<i>Coal</i>	Kohesi	MPa	Lognormal	0,0970	0,0051	0,0080	0,0120
	Sudut geser dalam	°	Gamma	23,238	1,5417	2,6888	2,5312
	Bobot isi basah	g/cm <sup>3</sup>	Lognormal	1,4944	0,1358	0,0844	0,6156
	Bobot isi natural	g/cm <sup>3</sup>	Normal	1,4106	0,2076	0,6106	0,5594
<i>Sandstone</i>	Kohesi	MPa	Gamma	0,0811	0,0052	0,0111	0,0088
	Sudut geser dalam	°	Normal	19,523	0,6078	1,3233	0,9167
	Bobot isi basah	g/cm <sup>3</sup>	Normal	2,3333	0,0769	0,2533	0,1167
	Bobot isi natural	g/cm <sup>3</sup>	Normal	2,1353	0,0653	0,2053	0,1146

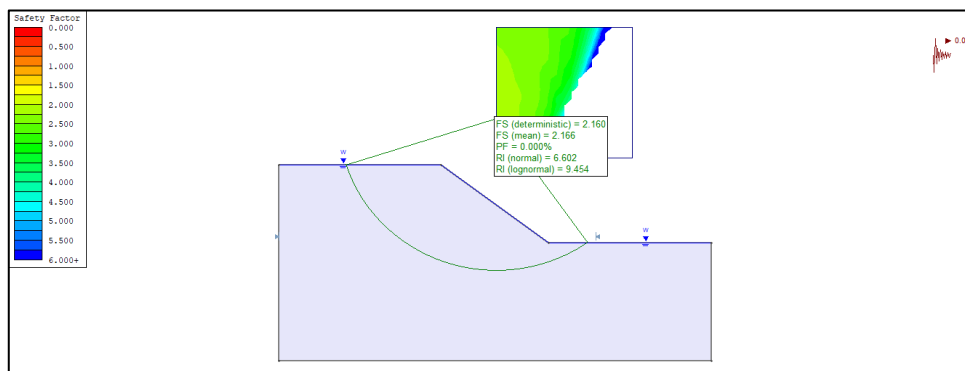


<b>Nama Material</b>	<b>Property</b>	<b>Satuan</b>	<b>Distribusi</b>	<b>Mean</b>	<b>Std. Dev.</b>	<b>Rel. Min</b>	<b>Rel. Max</b>
<i>Silstone</i>	Kohesi	MPa	Normal	0,0765	0,0055	0,0105	0,0084
	Sudut geser dalam	°	Normal	17,259	1,4135	3,8990	2,2310
	Bobot isi basah	g/cm <sup>3</sup>	Gamma	2,1217	0,0190	0,0317	0,0282
	Bobot isi natural	g/cm <sup>3</sup>	Gamma	1,9969	0,0236	0,0469	0,0431

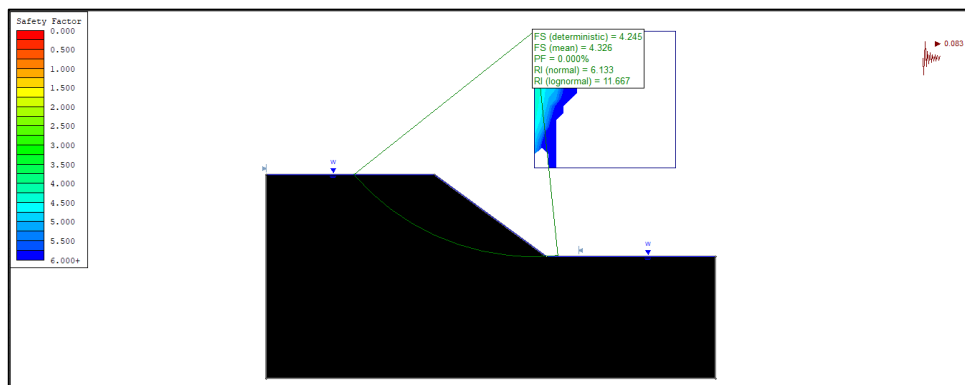
Permodelan dan perhitungan stabilitas lereng individu dilakukan untuk semua jenis batuan dengan menggunakan variasi dua parameter yaitu sudut kemiringan dan tinggi lereng. PT BCD menggunakan lereng dengan tinggi sebesar 10 m dalam perancangan lereng tunggal. Perhitungan dilakukan untuk tinggi lereng 10 m dengan variasi sudut kemiringan. Contoh lereng kemiringan tunggal pada setiap material dapat dilihat pada **Gambar 5 – 8**. Hasil perhitungan lereng tunggal pada PT BCD disajikan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Hasil FK pada desain lereng tunggal PT BCD  
(Tinggi = 10 m dan sudut kemiringan = 65°)

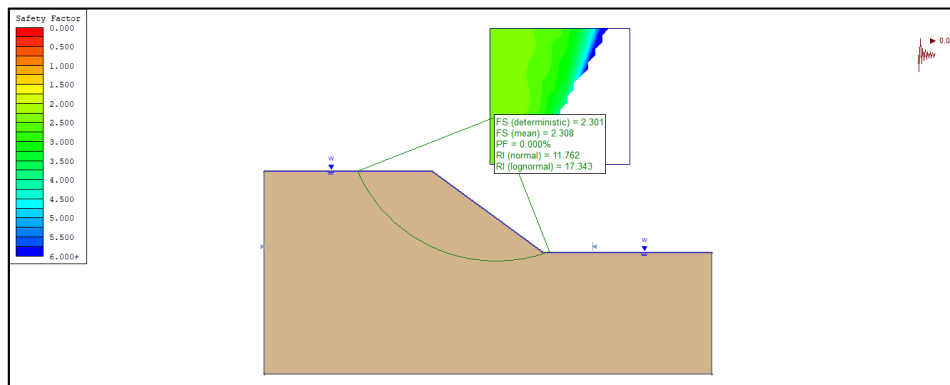
Litologi	Faktor Keamanan		Probabilitas Longsor	Keterangan
	FK Deterministik	FK Mean		
<i>Claystone</i>	2,160	2,166	0,000%	Stabil
<i>Coal</i>	4,245	4,326	0,000%	Stabil
<i>Sandstone</i>	2,301	2,308	0,000%	Stabil
<i>Silstone</i>	2,777	2,265	0,000%	Stabil



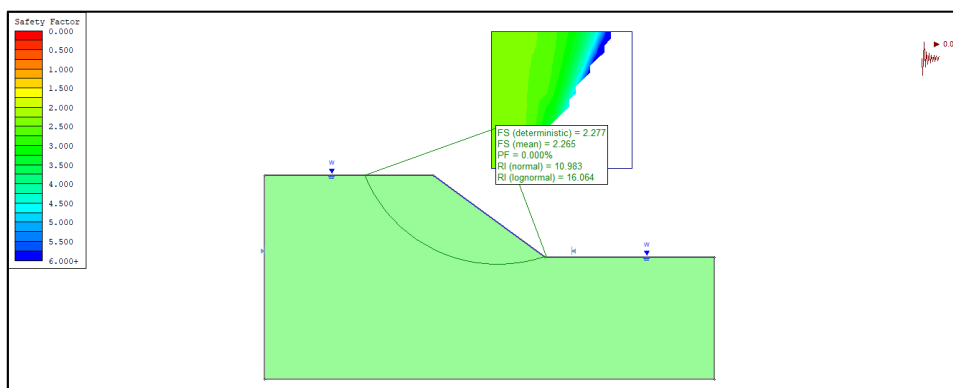
**Gambar 5.** Analisis permodelan lereng tunggal pada material *claystone*



**Gambar 6.** Analisis permodelan lereng tunggal pada material *coal*



**Gambar 7.** Analisis permodelan lereng tunggal pada material *sandstone*



**Gambar 8.** Analisis permodelan lereng tunggal pada material *siltstone*

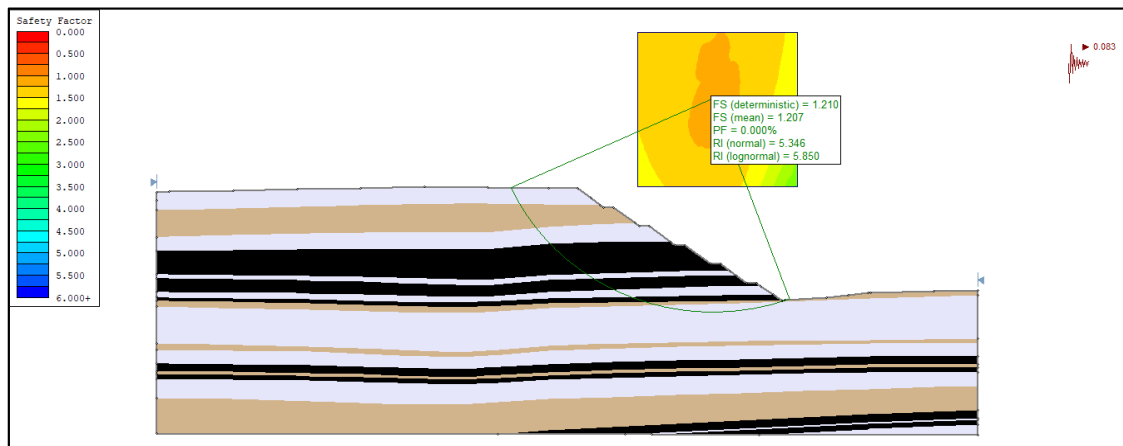
Berdasarkan analisis, direkomendasikan lereng tunggal dengan dimensi lereng yaitu tinggi 10 m, sudut kemiringan lereng yaitu 65°. Rekomendasi lereng tunggal tersebut masih memenuhi persyaratan yang disyaratkan berdasarkan KEPMEN ESDM Nomor 1827 K tahun 2018 yaitu lereng tunggal dengan FK lebih besar dari 1,1 dan probabilitas kelongsoran dibawah 25 – 50%.

### **Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan (*Overall Slope*)**

Setelah melakukan analisis pada lereng tunggal dan mendapatkan rekomendasi bentuk lereng yang aman, selanjutnya dilakukan analisis untuk seluruh lereng agar dapat diperoleh rekomendasi bentuk lereng secara keseluruhan yang aman. Adapun pendekatan yang dilakukan dalam analisis kestabilan lereng secara keseluruhan dengan asumsi:

1. Analisis lereng secara keseluruhan dilakukan pada area *highwall* pada *section A – A'* (**Gambar 2**)
2. Geometri lereng tunggal mengikuti rekomendasi geometri lereng tunggal yang direkomendasikan.
3. *Material properties* yang digunakan merupakan hasil analisis statistik pada **Tabel 1**.
4. Variasi material pembentuk lereng mengikuti litologi pada *log bor*.
5. Kondisi air dianggap jenuh, yaitu muka air tanah mengikuti tinggi lereng.
6. Lebar jenjang *bench (berm)* yang digunakan adalah 5 meter.
7. Acuan FK berdasarkan KEPMEN ESDM Nomor 1827 K Tahun 2018 yaitu FK dinamis minimal 1,1 dengan probabilitas longsor maksimal 5% dengan tingkat keparahan longsor tinggi.

Hasil analisis kestabilan lereng keseluruhan di area *highwall* dapat dilihat pada **Gambar 9**. Hasil rekomendasi geometri lereng keseluruhan dapat dilihat pada **Tabel 3**.



**Gambar 9.** Analisis permodelan lereng keseluruhan pada lereng *highwall section A-A'* PT BCD

**Tabel 3.** Hasil perhitungan faktor keamanan pada desain lereng keseluruhan pada lereng *highwall section A-A'* PT BCD

Tinggi <i>Overall Slope</i> (m)	Sudut <i>Overall Slope</i> (°)	Lebar <i>Bench</i> (m)	FK Deterministik	FK Mean	PF (%)
60	30	5	1,210	1,207	0,00

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng keseluruhan (*overall slope*) pada lereng *highwall section A-A'*, didapat rekomendasi geometri lereng keseluruhan yang optimal dengan ketinggian lereng 60 m, lebar *bench* 5 m, dan sudut kemiringan lereng sebesar 30°. Geometri lereng tersebut merupakan kategori lereng stabil berdasarkan kriteria KEPMEN ESDM Nomor 1827 K Tahun 2018, dimana FK lereng keseluruhan pada peraturan tersebut dalam keadaan dinamis minimal 1,1 dengan probabilitas kelongsoran maksimal 5%.

## KESIMPULAN

Hasil analisis kestabilan lereng tunggal (*single slope*) yang telah dilakukan pada 4 (empat) material yaitu *claystone*, *coal*, *sandstone* dan *siltstone*, diperoleh rekomendasi geometri lereng tunggal dengan dimensi yaitu tinggi lereng 10 m dan sudut lereng 65°. Hasil analisis kestabilan lereng keseluruhan (*overall slope*) pada lereng *highwall section A-A'*, diperoleh rekomendasi geometri lereng keseluruhan dengan dimensi yaitu tinggi lereng 60 m, lebar *bench* 5 m dan sudut lereng 30°. Rekomendasi geometri lereng yang diberikan berdasarkan hasil analisis lereng yaitu lereng dalam kondisi stabil dan telah sesuai dengan peraturan pemerintah yang berlaku yaitu KEPMEN ESDM Nomor 1827 K tahun 2018.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada Pusat Penelitian dan Penerbitan (PUSLITPEN) UIN Syarif Hidayatullah Jakarta atas hibah yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.

## PUSTAKA

- A. N. Rahman, U. Saismana, dan R. N. Hakim. 2019. Perencanaan Kegiatan Backfilling Tahun 2017 di Void M23 E-W, M23 E-C dan M1 E-W di PT Jorong Baratuma Greston Kalimantan Selatan. *Jurnal Himasapta*, 4 (2).
- Amrullah, M.H., Zakaria, Z., Sophian, R. I., Tunggal, J. 2019. Optimalisasi Kestabilan Lereng Overburden Rencana Tambang Mahayung dengan Pendekatan Probabilistik. *Padjajaran Geoscience Journal*. 3(6): 480-488.
- Arief, I. 2016. *Geoteknik Tambang: Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Bowles, J. 1991. *Sifat-sifat fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Geoslope. 2018. *Stability Modeling with SLOPE/W 2018 Version*. Calgary: GEO-SLOPE International Ltd.
- Hardiyatmo, H.C. 2018. *Mekanika Tanah 2*. Edisi Keenam. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) No 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik
- Labuz, J. 2012. Mohr-Coulomb Failure Criterion. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45 (6), 975-979.
- Manginte, B. T. 2019. *Kestabilan Lereng*. Private Publishing, 2-59.
- Nuryanto, Wulandari., S. 2017. Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Kesetimbangan Batas (Limit Equilibrium) dan Element Hingga (Finite Element). *Jurnal Desain Konstruksi*. 16(1): 55-66.
- Rahman, M. 2010. *Simulasi Ketersediaan Air Bulanan dengan Basis Data Spasial Faktor-faktor Sumber Daya Air: Kasus Sub-DAS Hulu Citarum*. LIPI, Bandung.
- Sirnipson, Lofty Rinaldi, Agus Triantoro, Sari Melati. 2020. Analisis Korelasi Stripping Ratio dan Overburden Ratio Berdasarkan Kemiringan Lereng Tunggal pada Perencanaan Tambang Batubara. *Jurnal Himasapta*, 5(2), 53-56.
- Shobari, A.I. 2019. Hubungan Nilai Koefisien Gempa Horizontal (Kh) dengan Nilai Safety Factor (FS) Daerah Cilengkrang. *Geoscience Journal*, 3 (4), 243-253.
- Willie, D. C. 2004. *Rock Slope Engineering Civil and Mining*. Oxon: Institute of Mining and Metallurgy.