

# Analisis Balik Kestabilan Lereng Pada Pit Eagle 1 PT. Bumi Karya Makmur Jobsite PT. IPC Bantuas, Samarinda, Kalimantan Timur

Deki Irawan<sup>1\*</sup>, Yoszi Mingsi Anaperta<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

\*[dekiirawan98@gmail.com](mailto:dekiirawan98@gmail.com)

\*\*[yoszima@ft.unp.ac.id](mailto:yoszima@ft.unp.ac.id)

**Abstract.** PT. Bumi Karya Makmur is one of the companies engaged in coal mining contractors. PT. Bumi Karya Makmur is a mining contractor trusted by PT. International Prima Coal as the holder of IUP OP (Production Operation Mining Business License) to carry out coal mining activities which located in Bantuas, Palaran District, Samarinda City, East Kalimantan Province. Mining activity is carried out using the Open Pit Mining method. In May 2021, a landslide occurred on the western slopes of Pit Eagle 1 which have made disrupted mining activities because the front work was buried by slope of landslide material. The landslide was caused by the actual geometry of the slopes in the field which is too steep around 80° for single slope and there were puddles of water on the slopes that makes the slope in the saturated state. The slope stability analysis of the western area at Pit Eagle 1 used the Probabilistic Monte Carlo method, where the initial soil data were: cohesion (c) = 93,272 kN/m<sup>2</sup> and internal shear angle (φ) = 20,122°; sandstone: (c) = 87,886 kN/m<sup>2</sup> and (φ) = 28,014; mudstone: c = 129.983 kN/m<sup>2</sup> and = 31,317°. Analysis the value of the factor of safety (FK), the probability of landslides (PK), and slope geometry recommendation using the Bishop Simplified method. The results of this research are, firstly, the slope safety factor value at Pit Eagle 1 in the saturated state before the landslide is 1.253 with a landslide probability value of 0%, in the semi-saturated state with FK value is 1.602 with a landslide probability value of 0% and the dry state with a FK value of 1.802 with a probability of avalanche 0%. Secondly, back analysis on the Pit Eagle 1 landslide area resulted in the value of the geotechnical parameter Soil (C) = 88.6 kN/m<sup>2</sup> (φ) = 20,122°; Sandstone: (c) = 87,886 kN/m<sup>2</sup> and (φ) = 28,014°; Mudstone (C) = 69.65 kN/m<sup>2</sup> (φ) = 23.316°. Third, the geometry recommendation of slope at Pit Eagle 1 with an overall slope height of 40 meters, that namely with an overall slope angle of 52° with a single slope height of 8 meters, a bench width of 5 meters, and a single slope angle for Soil and Sandstone materials, while for a single slope angle for Mudstone materials is 70°.

**Keywords:** Back Analysis, Bishop Simplified, Monte Carlo, Factor of Safety, Probability of Failure .

## 1. Pendahuluan

Salah satu perusahaan yang bergerak di bidang kontraktor pertambangan batubara adalah PT. Bumi Karya Makmur. PT. Bumi Karya Makmur sebagai pemegang IUP OP (Izin Usaha Pertambangan Operasi Produksi), telah dipercaya oleh PT. International Prima Coal untuk melaksanakan operasi penambangan batubara di Bantuas, Kecamatan Palaran, Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur.

Kecepatan pengupasan lapisan penutup memiliki pengaruh langsung pada efisiensi penambangan batubara, dan dengan demikian apakah PT Bumi Karya Makmur memenuhi tujuannya atau tidak. PT. Bumi Karya Makmur adalah subkontraktor PT. International Prima Coal bertanggung jawab atas pemindahan lapisan penutup dan penambangan batubara. Untuk memenuhi tujuan keluaran akhir perusahaan, tugas ini memerlukan penggunaan mesin khusus dan kesiapan untuk operasi manufaktur. Mendapatkan perkiraan yang akurat tentang efisiensi mesin penggali dan pemuatan sangat penting karena memiliki dampak langsung pada kemampuan perusahaan untuk memenuhi tujuan produksinya.

Ketika menilai kelayakan jangka panjang dari operasi penambangan terbuka, desain lereng tambang

merupakan aspek penting karena fakta bahwa tanah longsor, gangguan dalam produksi, dan bahkan kematian dapat terjadi ketika lereng tidak stabil atau terlalu stabil.

Penelitian ini di fokuskan pada lereng bagian barat lokasi penambangan Pit Eagle 1 PT. Bumi Karya Makmur koordinat 0039'26" LU dan 117o10'31 BT dengan elevasi lereng 58-18 MDPL pada tanggal 23 Mei 2021. Dipercaya bahwa longsor tersebut merupakan longsor busur dan geometri lereng sebelum longsor adalah kemiringan tunggal 800, lebar bangku 5 m, tinggi bangku 8 m, tinggi lereng keseluruhan 40 m, dan sudut kemiringan keseluruhan 560. kemiringan umum ke 50°. Adapun kondisi lereng bagian barat *Pit Eagle 1* sebelum terjadi longsor dan setelah terjadi longsor dapat dilihat pada gambar 1 dan 2 dibawah ini



Gambar 1. Situasi Lereng Sebelum Terjadi Longsoran



Gambar 2. Situasi Lereng Setelah Terjadi Longsoran

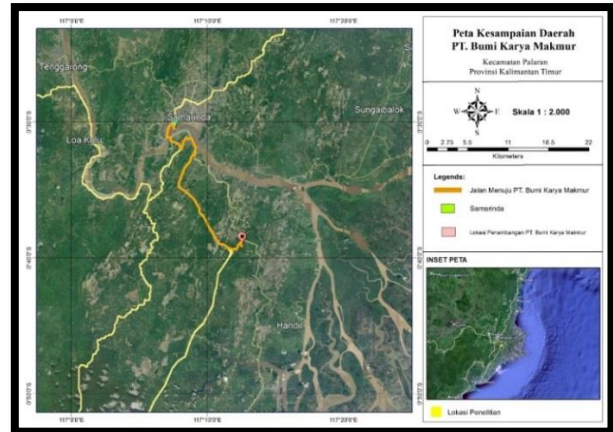
Terlihat pada gambar bahwa pada lereng *Pit Eagle 1* yang didominasi dengan tanah mengalami longsoran. Longsoran tersebut mengakibatkan terganggunya aktifitas produksi dan tentunya berpotensi membahayakan bagi pekerja tambang. Salah satu jenis bencana yang mungkin memiliki efek finansial yang serius pada bisnis adalah tanah longsor, yang dapat menghapus data, menghancurkan mesin, dan bahkan merenggut nyawa. Penilaian stabilitas lereng lokal dilakukan untuk memastikan operasi penambangan dapat berjalan dengan aman.

Untuk menjamin operasi penambangan yang aman, perlu dilakukan penelitian analisis kembali terhadap elemen-elemen yang berkontribusi terhadap tanah longsor untuk sampai pada desain lereng yang stabil. Karena pertimbangan sosial/keselamatan dan ekonomi sama-sama dipengaruhi oleh kestabilan lereng yang tidak terkendali.

## 2. Kajian Pustaka

### 2.1 Lokasi dan Kesempaian Daerah

PT. Bumi Karya Makmur site PT. IPC secara administratif terletak di Bantuas, Kecamatan Palaran, Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur. Berjarak + 32 Km sebelah Selatan dari Kota Samarinda. Secara geografis di batasi oleh garis koordinat 00° 38'20" – 00° 43'00" LS dan 117° 07'50" – 117° 11'30" BT.

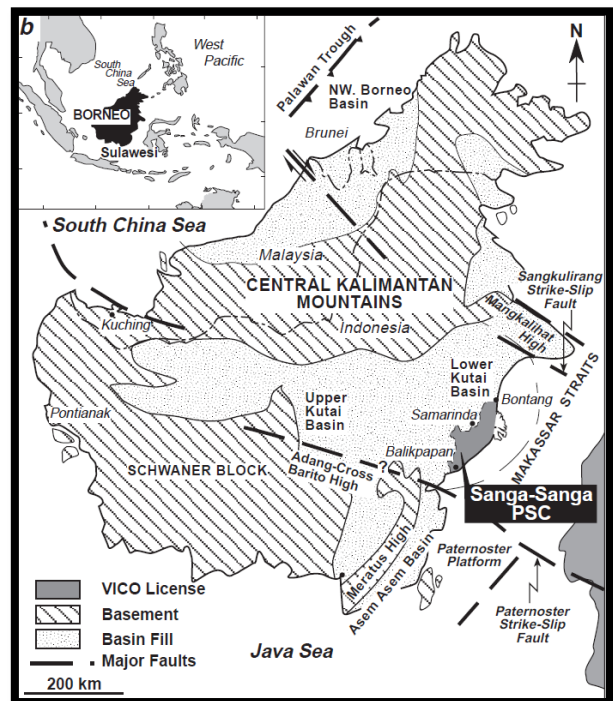


Gambar 3. Peta Lokasi Kesempaian Daerah PT. Bumi Karya Makmur

### 2.2 Geologi Dan Morfologi Daerah Penelitian

#### 2.2.1 Keadaan Geologi.

Kerangka tektonik Kalimantan Timur dipengaruhi tidak hanya oleh proses tektonik regional termasuk interaksi lempeng Pasifik, India-Australia, dan Eurasia, tetapi juga oleh wilayah tektonik regional di Asia Tenggara. Dengan luas total lebih dari 165.000 km<sup>2</sup> dan kedalaman hampir 14.000 m, Cekungan Kutai merupakan salah satu cekungan tersier terbesar di Indonesia. Gambar 4 menunjukkan bahwa Sesar Sangkulirang dan Sesar Bengalon membentuk batas utara Cekungan Kutai, sedangkan Sesar Adang membentuk batas selatan. [3]



Gambar 4. Batas Regional Cekungan Kutai

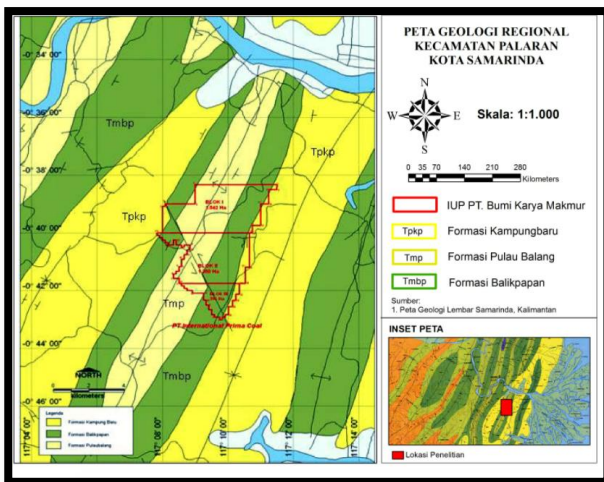
#### 2.2.2 Morfologi dan Stratigrafi

Cekungan Kutai, di mana wilayah studi merupakan bagiannya, dikenal sebagai wilayah yang kaya akan

sumber daya. Sedangkan Cekungan Kutai berukuran besar, proses sedimentasinya hanya terjadi dari Eosen hingga Miosen Tengah. Menurut teori tektonik lempeng, cekungan Kutai terbentuk ketika lempeng Mikro Sunda di bawah Kalimantan terentang. Di sebelah selatan dan timur, geologi daerah penelitian terdiri dari perbukitan yang landai (daerah penambangan Pit Elang 1 dan Elang 2). Berbukit-bukit berbukit-bukit di barat dan utara.

Seperti cekungan lainnya di Indonesia bagian barat, sedimen Tersier yang diendapkan di Cekungan Kutai di bagian timur cukup tebal, menampilkan siklus penggenangan air laut (transgresi - regresi) melalui berbagai fasies pengendapan. Strata klastik berbutir kasar dengan tanah liat laut dalam dan paparan karbonat ditemukan di seluruh tepi cekungan, mengungkapkan suksesi serbuan. Oligosen adalah waktu banjir maksimum dan pengendapan berkelanjutan di lingkungan laut.

Secara regional, Formasi Antan sebagian besar terdiri dari lapisan turbidit yang diselingi dengan serpih laut dalam dan batugamping terumbu. Di dalam Cekungan Kutai, kompleks endapan delta terbentuk dari lapisan klastik delta sekuens regresif ke lapisan paralik, yang meliputi beberapa lapisan batubara dan lignit. Satuan litostratigrafi daerah penelitian diklasifikasikan menurut umur menjadi enam formasi yang berbeda berdasarkan Lembar Peta Geologi Daerah Samarinda (Supriatna dan E. Rustandi 1995). Formasi tersebut adalah Formasi Pamaluan, Formasi Bebulu, Formasi Pulau Balang (Tmp), Formasi Balikpapan (Tmbp), Formasi Kampungbaru (Tpkp), dan Endapan Aluvial. [25]



Gambar 5. Peta Geologi PT.BKM IUP PT. IPC

UMUR	FORMASI	TEBAL (m)	LITOLOGI	DESKRIPSI	LINGKUNGAN PENGENDAPAN
KUARTER	Aluvial (Qa)	?		Material lekas berukuran lempung hingga pasir halus, dan material organik.	Fluvial Lacustrine
	Kampungbaru	900		Batupasir kuarsa yang bersifat lekas dengan sisipan batulempung, serpih, batulanau dan lignit.	Delta
TERSIER	Balikpapan	3000		Batulempung dan batupasir kuarsa dengan sisipan batulanau serpih, dan batubara	Delta
	Pulau Balang	2750		Batupasir (greywacke), batupasir kuarsa, batugamping, batulempung dengan sisipan batubara.	Darat - laut dangkal
	Bebulu	2000		Formasi Bebulu : batugamping dengan sisipan batugamping pasiriran dan serpih.	Laut Dangkal (Neritik)
MIOSEN BAWAH	Pamaluan	3000		Formasi Pamaluan : batupasir kuarsa dengan sisipan batulempung, serpih, batugamping dan batulanau.	

Gambar 6. Kolom stratigrafi regional daerah Samarinda dan sekitarnya

### 2.3 Kestabilan Lereng

Faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng meliputi geometrinya, sifat mekanik dan fisik material pembentuk lereng, keberadaan air (hidrologi dan hidrogeologi), struktur bidang lemah batuan (lokasi, orientasi, frekuensi, dan sifat mekaniknya), dan konsentrasi dan distribusi tekanan yang melekat pada batuan. iklim, tindakan penambang, hasil dari setiap ledakan, dan dampak termal apa pun (Mosh. Masalah ketidakstabilan lereng yang terjadi, seperti yang terlihat di lapangan, adalah akibatnya, kekhawatiran ini harus ditangani untuk memastikan stabilitas berkelanjutan dari lereng. Stabilitas lereng dapat dinyatakan sebagai "faktor keamanan." Faktor keamanan membandingkan gaya yang melawan gerakan dengan gaya yang menggerakkan tanah. [13], bila dirumuskan sebagai berikut

$$Faktor\ keamanan\ F = \frac{Gaya\ Penahan}{Gaya\ Penggerak} \tag{1}$$

Faktor keamanan yang dimaksud sebagai kondisi standar untuk mengetahui stabil atau tidaknya suatu lereng. Terdapat tiga kelompok rentang faktor keamanan (*safety factor*) ditinjau dari intensitas kelongsorannya [20]

- Dengan ketentuan:
- FK ≥ 1,3 : lereng dalam keadaan stabil
  - 1 < FK < 1,3 : lereng dalam keadaan kritis (akan longsor)
  - FK ≥ 1 : lereng dalam keadaan tidak stabil.

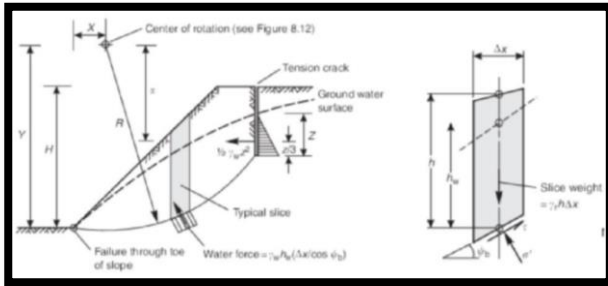
### 2.4 Klasifikasi Longoran

Ketika gaya dorong yang mengarah ke bawah lebih kuat dari gaya dorong yang berlawanan arah ke atas, terjadilah slippage. Longoran busur, luncuran bidang, luncuran baji, dan luncuran guling, atau kombinasi dari keempatnya, merupakan bentuk longsor yang paling sering terjadi pada lereng tambang (longsor kompleks) [13]

- Longoran Baji (Wedge Failure)
- Longoran Guling (Toppling Failure)
- Longoran Busur (Circular Failure)
- Longoran Bidang (Plane Failure)

**2.5 Metode Kesetimbangan Batas**

Satu irisan dan gaya-gaya yang bekerja padanya digambarkan menggunakan teknik kesetimbangan batas. Gaya gesek ( $X_r$  dan  $X_1$ ) dan gaya normal ( $E_r$  dan  $E_1$ ) yang bekerja pada bidang pengiris juga diperhitungkan. Gaya gesekan ( $S_i$ ) dan gaya normal ( $P_i$ ) juga diberikan pada bidang pengiris sebagai akibatnya. Baik bagian atas dan bawah irisan tunduk pada efek tekanan air pori ( $U_1$  dan  $U_r$ ), tetapi tekanan air pori ( $U_i$ ) terbatas pada bagian bawah. Gambar 7 mengilustrasikan pendekatan keseimbangan perbatasan yang dijelaskan di atas. [13].



**Gambar 7.** Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Slice

Berdasarkan metode kesetimbangan batas, metode irisan ini dibagi menjadi dua kelompok yaitu sebagai berikut:

- a. Metode yang memenuhi kesetimbangan gaya dan kesetimbangan momen yang diantaranya yaitu metode spencer dan metode morgenstern-price.
- b. Metode yang tidak memenuhi kesetimbangan gaya dan kesetimbangan momen diantaranya yaitu metode bishop yang disederhanakan dan metode janbu yang disederhanakan.

**2.6 Metode Bishop**

Secara khusus, pendekatan Bishop yang disederhanakan untuk menghitung keseimbangan batas digunakan. Pendekatan Bishop yang disederhanakan adalah metode yang paling sering digunakan untuk analisis stabilitas lereng di antara beberapa metode pengiris. Agar teknik ini berhasil, kita asumsikan bahwa bidang runtuh adalah busur halus dan besarnya gaya geser antar-iris adalah nol, atau  $X=0$ . Teknik ini dapat digunakan untuk mencapai keseimbangan dalam kasus ketika gaya diseimbangkan sepanjang sumbu vertikal untuk setiap irisan dan momen seimbang di pusat lingkaran runtuh untuk semua irisan. Sementara itu, gaya-gaya dalam arah horizontal tidak seimbang. Persamaan berikut dapat digunakan untuk mendapatkan faktor keamanan [13].

$$F_k = (\sum X / (1+Y/FS)) / (EZ+Q) \tag{2}$$

Keterangan :

$$X = (c' + (\gamma \cdot h - \gamma_w h_w) \tan \phi) \Delta x \cos \alpha \tag{3}$$

$$Y = \tan \alpha \tan \phi \tag{4}$$

$$Z = \gamma \cdot h \cdot \Delta x \tag{5}$$

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot Z^2 \cdot (\alpha R) \tag{6}$$

FK = Faktor Keamanan

$\gamma$  = Bobot Isi material (ton/m<sup>3</sup>)

$\gamma_w$  = Bobot Isi Air (ton/m<sup>3</sup>)

$\alpha$  = Kemiringan Bidang Luncur (°)

$\phi$  = Sudut Geser Dalam (°)

$h$  = Tinggi Lereng (m)

$h_w$  = Tinggi Leren Jenuh (m)

$c'$  = Kohesi (Mpa)

$Z$  = Kedalaman tegangan tarik (m)

**2.7 Probabilitas Kelongsoran**

Ada beberapa hal yang tidak diketahui yang harus dipertimbangkan saat menganalisis stabilitas lereng. Isu variabilitas geografis dan kesalahan pengukuran merupakan kontributor utama ambiguitas [26]. Masalah pertama adalah bahwa bebatuan di alam liar tidak seragam; sebaliknya, mereka heterogen, anisotropik, dan terputus-putus, dengan berbagai nilai dan kualitas di berbagai lokasi. Masalah kedua muncul dari ukuran sampel yang kecil, yang memperkenalkan kemungkinan kesalahan statistik dan bias karena ketidakakuratan pengujian di tingkat laboratorium. Ketidakpastian juga dapat muncul dari proses pemodelan itu sendiri, sebagai konsekuensi dari asumsi yang mendasari studi atau pendekatan metodologis terhadap mekanisme longsor.

**3. Metodologi Penelitian**

**3.1 Jenis Penelitian**

Di dalam melakukan penelitian ini, penulis menggabungkan antara teori dengan data-data yang ada dilapangan, sehingga dari keduanya didapat pendekatan penyelesaian masalah. Dalam penelitian ini, kami menggunakan strategi penelitian kuantitatif dengan penekanan pada implikasi praktis. Studi semacam ini dilakukan untuk melihat seberapa baik suatu teori bekerja ketika diterapkan dalam praktik, oleh karena itu dapat dianggap sebagai penelitian yang bertujuan untuk memecahkan kesulitan teknis dengan menguji teori tersebut. Fokus di sini sebagian besar pada penelitian terapan, yang merupakan semacam studi akademis yang berusaha memberikan jawaban dunia nyata untuk pertanyaan-pertanyaan mendesak.

Tugas Akhir ini adalah hasil dari upaya kolaboratif antara penulis, yang memanfaatkan pengetahuan teoretis dan pengalaman praktis dalam mengumpulkan informasi dari sumber primer (seperti observasi lapangan) dan sumber sekunder (seperti laporan perusahaan) untuk sampai pada solusi yang paling efektif mungkin

**3.2 Teknik Pengumpulan data**

Pengumpulan data lapangan digunakan untuk mengidentifikasi masalah sehingga dapat diselidiki secara menyeluruh dan solusi yang optimal dapat dikembangkan. Sumber primer dan sekunder digunakan untuk mengumpulkan data.

**3.2.1 Data Primer**

Data primer adalah data yang diambil langsung dari pengamatan di lapangan yaitu:

- Geometri lereng aktual

Data yang diambil yaitu pengukuran ketinggian lereng, kemiringan lereng, lebar jenjang

- Koordinat lokasi lereng

### 3.2.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang didapat berdasarkan dari literature, berbagai referensi, serta arsip-arsip laporan perusahaan, seperti:

- Sifat fisik dan mekanik batuan (berat jenis batuan, kohesi dan sudut geser)
- Peta kesampaian lokasi dan daerah penelitian
- Peta wilayah iup perusahaan
- Peta geologi regional
- Data curah hujan

## 3.3 Teknik Pengolahan Data

### 3.3.1 Pembuatan model lereng

Pemodelan lereng 2 dimensi menggunakan alat pengolah batuan. Model layering dibangun dengan asumsi bahwa hanya ada satu jenis material yang ada di material lereng.

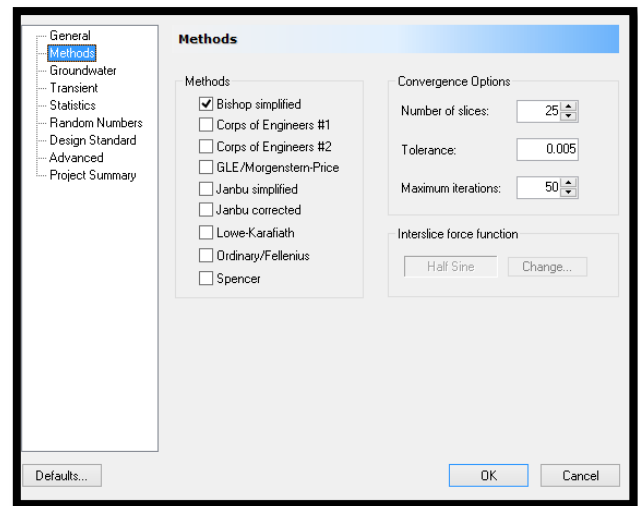
### 3.3.2 Analisis statistik deskriptif data sifat fisik dan mekanik batuan

Setelah mengumpulkan data karakteristik fisik dan mekanik batuan di laboratorium, informasi tersebut dianalisis dalam Microsoft Excel untuk memberikan gambaran tentang nilai rata-rata, dispersi, dan distribusinya.

## 3.4 Teknk Analisa Data

Pendekatan kesetimbangan batas, lebih khusus metode Bishop Simplified, digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng. Roscience Slide 6.0 digunakan untuk membantu menyelesaikan perhitungan, dengan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 1827 Tahun 2018 menjadi acuan nilai maksimum yang diijinkan dari faktor keamanan (FK) dan kemungkinan longsor ( PK). Untuk keseluruhan tipe lereng yang diteliti dalam penelitian ini, dianggap bahwa tingkat keparahan longsor (Consequence of Failure) minimal (kerusakan sarana dan prasarana pertambangan 25%).

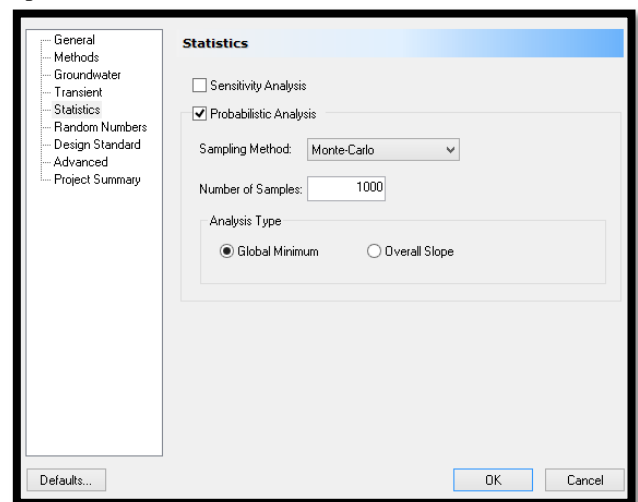
Data berat jenis (satuan berat), kohesi (kohesi), dan sudut gesekan internal diperlukan untuk pengujian karakteristik mekanik tanah menurut kriteria kekuatan Mohr-Coulumb.



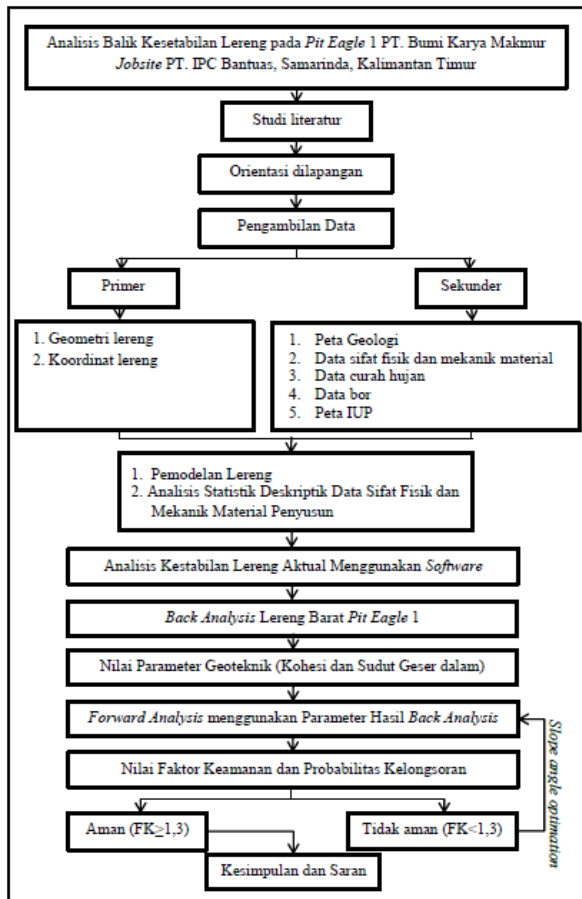
Gambar 8. Pemilihan Metode Analisis

Analisis probabilitas stabilitas lereng adalah penggunaan populer dari teknik pengambilan sampel Monte Carlo, yang digunakan di sini untuk analisis probabilitas, dengan ukuran sampel total seribu unit.

Metode Minimum Global digunakan untuk studi semacam ini. Nilai yang dihitung dari mean dan FK deterministik seringkali tidak jauh berbeda ketika menggunakan pendekatan ini karena analisis probabilitas dilakukan pada bidang slip penting yang berasal dari analisis deterministik. Jika dibandingkan dengan pendekatan lereng secara keseluruhan, Metode Minimum Global secara signifikan mengurangi waktu yang diperlukan untuk analisis.



Gambar 9. Pemilihan Probabilistic Analysis



Gambar 10. Diagram Alir Penelitian

## 4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

### 4.1 Hasil Penelitian

#### 4.1.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak pada *Pit Eagle 1* PT. Bumi Karya Makmur pada koordinat  $00^{\circ} 39'26''$  LU dan  $117^{\circ}10'31$  BT dengan elevasi lereng 58-18 MDPL dilakukan pada titik koordinat seperti pada tabel 4, yang merupakan titik lokasi penelitian, sedangkan lokasi penelitian terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Koordinat Lokasi Penelitian

No	Titik	Koordinat	
		x	y
1	A	519442.930	9928286.100

#### 4.1.2 Kondisi Lereng

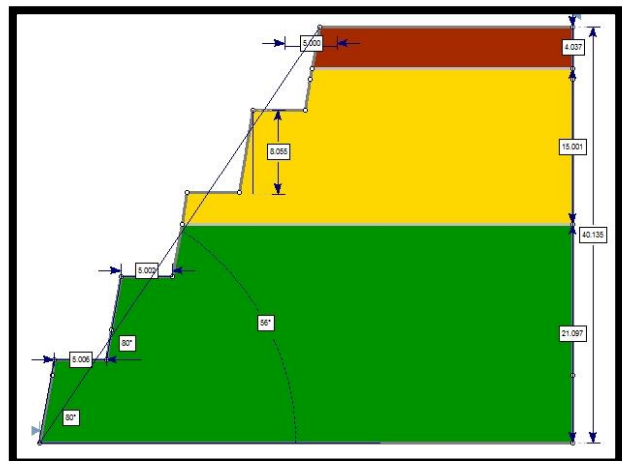
Pada area lereng *Pit Eagle 1* PT. Bumi Karya Makmur telah terjadi longsor pada bulan mei dengan elevasi lereng 58-18 MDPL Jenis material pembentukan lereng adalah *sandstone*, *soil* dan *mudstone* Longsor tersebut diasumsikan berupa longsor busur dengan geometri lereng awal sebelum terjadinya longsor adalah kemiringan lereng tunggal  $80^{\circ}$ , lebar jenjang (*bench*) 5 m, tinggi *bench* 8 m, tinggi lereng *overall slope* 40 m, dan

sudut lereng *overall slope*  $56^{\circ}$  setelah terjadinya longsor sudut lereng *overall slope* menjadi  $50^{\circ}$ .

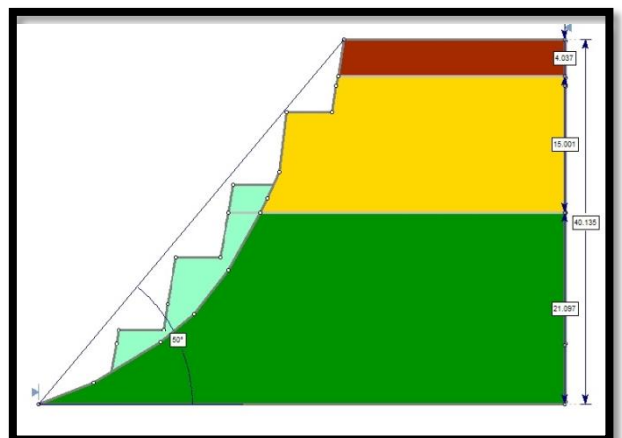
Analisis stabilitas lereng digunakan untuk menilai geometri lereng saat ini dan memberikan rekomendasi untuk mencegah longsor di masa depan. Geometri lereng sebelum dan sesudah longsor dapat dilihat pada Gambar 11, 12, dan 13 di bawah ini, dan bentuknya memberikan gambaran wilayah studi.



Gambar 11. Kondisi Lereng Lokasi Penelitian.



Gambar 12. Geometri lereng sebelum longsor



Gambar 13. Geometri lereng sebelum longsor

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisis Faktor Keamanan Lereng Aktual

Untuk melakukan analisis faktor keamanan pada lereng yang rawan longsor, terlebih dahulu ditentukan nilai FK pada kondisi ideal, atau sebelum terjadi longsor.

Karena sifat melingkar dari bidang keruntuhan, penelitian dilakukan dengan menggunakan versi pengurangan dari pendekatan keseimbangan batas Bishop, yang menghasilkan temuan yang sangat andal. *Cross section* diambil pada saat sebelum lereng longsor dari lithologi log bor *Pit Eagle 1* kemudian diaplikasikan ke suatu program untuk dianalisis faktor keamanannya. Lereng keseluruhan terdiri dari 5 *slope*.

4.2.1.1 Data hasil Uji Laboratorium

Data hasil uji laboratorium yang dilakukan perusahaan sebelumnya digunakan untuk melakukan analisis. Parameter geoteknik yang digunakan adalah berikut: = Bobot isi alami,  $\phi$  = Sudut geser dalam, dan C = Kohesi

Tabel 2. Data parameter hasil uji laboratorium

Id sample	Material	Unit		
		Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesi (kN/m <sup>2</sup> )	Phi
PE1/SO/01	Soil	18,78	96	18,7
PE1/SO/02	Soil	19,22	89,9	18,9
PE1/SO/03	Soil	20,18	97,6	20
PE1/SO/04	Soil	17,65	95,88	22,8
PE1/SO/05	Soil	18,32	88,56	19,87
PE1/SO/06	Soil	19,64	91,69	20,46
PE1/SS/1	Sandstone	22,5	90,3	29,7
PE1/SS/2	Sandstone	22,36	87,2	28,1
PE1/SS/3	Sandstone	23,55	91,7	27,7
PE1/SS/4	Sandstone	21,57	82,9	28,6
PE1/SS/5	Sandstone	22,7	86	27,3
PE1/SS/6	Sandstone	23,78	84,7	26
PE1/SS/7	Sandstone	24,6	92,4	28,7
E1/MS/1	Mudstone	24,7	130,6	30
E1/MS/2	Mudstone	25,9	128	31,7
E1/MS/3	Mudstone	24,9	137	32
E1/MS/4	Mudstone	23,76	125	29,7
E1/MS/5	Mudstone	23,17	131,4	30,6
E1/MS/6	Mudstone	24,21	127,9	33,9
S1/CO/1	Coal	13,6	117	27,7
S1/CO/2	Coal	13,7	118	26,9
S1/CO/3	Coal	14	116,9	29,8
S1/CO/4	Coal	13,1	119	27
S1/CO/5	Coal	14,7	115,8	26,2
S1/CO/6	Coal	15,2	114	28,4

Dari tabel hasil pengujian laboratorium diatas daapat dicari analisis statistik deskriptif berikut.

Tabel 3. Statistik Deskriptif Bobot isi, Kohesi dan Sudut Geser Dalam

Parameter Statistik	Material				
	Soil	Sandstone	Mudstone	Batubara	
Unit weight (Kn/m <sup>3</sup> )	Mean	18,965	23,009	24,44	14,05
	Standard Deviation	0,914	1,022	0,953	0,771
	Kurtosis	-0,676	-0,525	0,045	-0,718
	Skewness	-0,169	0,271	0,296	0,526
	Range	2,53	3,03	2,73	2,1
	Minimum	17,65	21,57	23,17	13,1
Maximum	20,18	24,6	25,9	15,2	
Count	6	7	6	6	
Cohesi (Kpa)	Mean	93,272	87,886	129,983	116,783
	Standard Deviation	3,716	3,647	4,117	1,742
	Kurtosis	-2,282	-1,720	1,256	0,389
	Skewness	-0,162	-0,008	0,894	-0,557
	Range	9,04	9,5	12	5
	Minimum	88,56	82,9	125	114
Maximum	97,6	92,4	137	119	
Count	6	7	6	6	
Phi (Degre)	Mean	20,122	28,014	31,317	27,667
	Standard Deviation	1,475	1,178	1,559	1,286
	Kurtosis	2,294	0,690	0,257	0,441
	Skewness	1,359	-0,464	0,851	0,874
	Range	4,1	3,7	4,2	3,6
	Minimum	18,7	26	29,7	26,2
Maximum	22,8	29,7	33,9	29,8	
Count	6	7	6	6	

Tabel 3 menunjukkan bahwa *Mudstone* memiliki rata-rata bobot isi yang lebih tinggi (24,44 Kn/m<sup>3</sup>). sedangkan *Coal* paling rendah (14,05 Kn/m<sup>3</sup>) sedangkan *mudstone* memiliki rata-rata kohesi paling tinggi (116,783 kN/m<sup>2</sup>) sedangkan *sandstone* yang paling rendah (87,886 kN/m<sup>2</sup>). Untuk nilai sudut geser dalam, *mudstone* menjadi yang tertinggi (31,317°) sedangkan *soil* menjadi yang terendah (20,122°).

4.2.1.2 Muka Air Tanah

Peneliti berasumsi kondisi lereng jenuh untuk analisis mereka karena mereka memiliki akses ke data ketinggian air tanah untuk lokasi Pit Eagle 1. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa kami membandingkan nilai stabilitas lereng dengan asumsi lereng kering dan setengah jenuh sesuai dengan metode Hoek and Bray, dan mempertimbangkan kemungkinan kondisi lereng terburuk yang dapat terjadi; Dugaan ini didukung oleh Gambar 14 yang menunjukkan adanya genangan air di bagian atas lereng tempat objek penelitian berada.

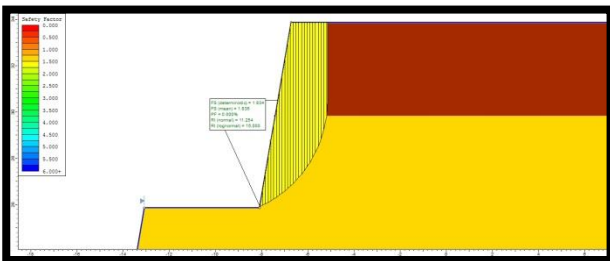


Gambar 14. Kondisi Muka Air Tanah lokasi penelitian

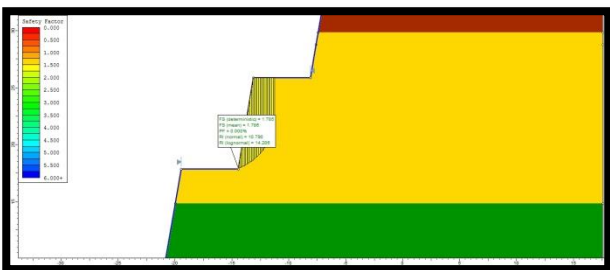
4.2.1.3 Beban Dinamis

Tidak ada beban statis eksternal atau masukan beban dinamis dalam penyelidikan pemodelan ini. Tidak ada gaya luar yang terjadi pada atau di dekat lereng, seperti gempa bumi, ledakan, atau penggunaan peralatan mekanis berat.

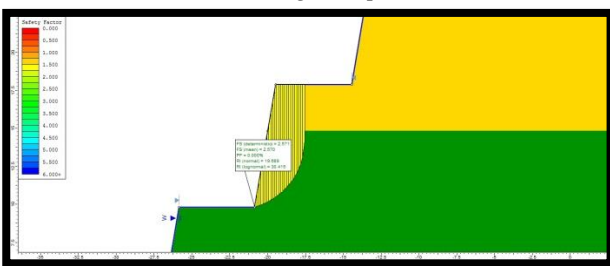
Kajian faktor keamanan lereng yang sebenarnya sebelum terjadi longsor pada kondisi jenuh, setengah jenuh, dan kering dapat dilihat pada gambar di bawah ini dengan menggunakan input data dari tabel 3 sebagai data probabilistik awal.



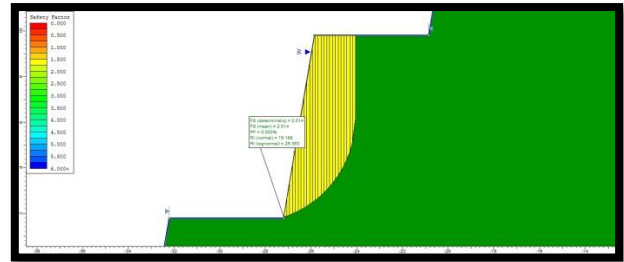
Gambar 15. Nilai FK Single Slope 1 Muka Air Jenuh



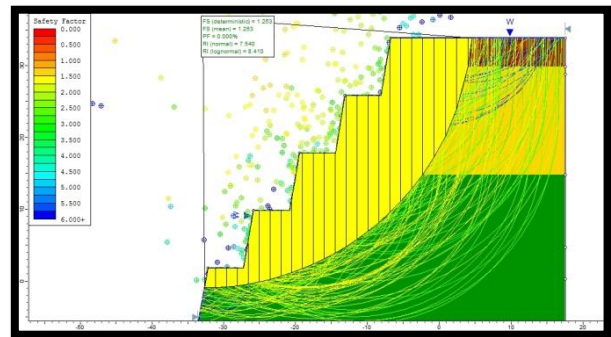
Gambar 16. Nilai FK Single Slope 2 Muka Air Jenuh



Gambar 17. Nilai FK Single Slope 3 Muka Air Jenuh



Gambar 18. Nilai FK Single Slope 4 & 5 Muka Air Jenuh



Gambar 19. Nilai FK Overall Slope Muka Air Jenuh

Tabel 4. Hasil analisis faktor keamanan lereng aktual pada rancangan awal

Lereng	Material	Unit Weight	Cohesi	Phi	Tinggi Sudut Tanah Jenuh	FK Air
Single Slope 1	Soil	18,965	93,272	20,122	8 80	1,834
Single Slope 2	Sandstone	23,009	87,886	28,014	8 80	1,785
Single Slope 3	Sandstone	23,009	87,886	28,014	8 80	2,751
Single Slope 4, 5	Mudstone	24,44	129,983	31,317	8 80	2,514
Overall Slope	Soil	18,965	93,272	20,122	40 56	1,253
	Sandstone	23,009	87,886	28,014		
	Mudstone	24,44	129,983	31,317		

4.2.2 Analisis Balik (Back Analysis)

Dalam penelitian ini, keadaan pada bulan April 2021 digunakan untuk Analisis Kembali kondisi riil pertama sebelum terjadi longsor. Parameter geoteknik pertama kali ditentukan dengan menggunakan informasi yang dikumpulkan dari pengujian batuan laboratorium.

Tabel 5. Material Properties

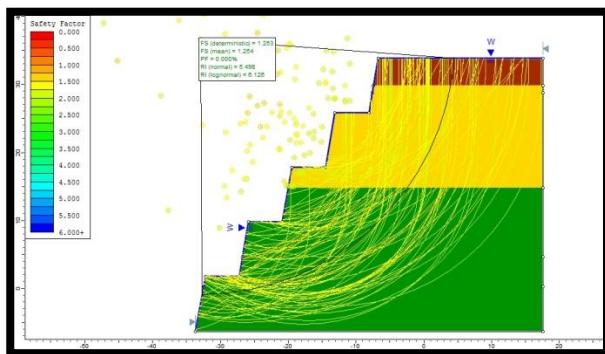
Material	Unit weight (Kn/m <sup>3</sup> )	Cohesi (Kpa)	Phi (Degre)
Soil	18,965	93,272	20,122
Sandstone	23,009	87,886	28,014
Mudstone	24,44	129,983	31,317
Batubara	14,05	116,783	27,667



Dalam studi belakang, sifat geoteknik batuan dinilai pada saat longsor menggunakan metode probabilistik Monte Carlo. Dengan menggunakan skenario longsor yang terjadi di daerah lereng Pit Eagle 1, pemodelan dan analisis balik ini mencoba untuk mendefinisikan dan memvalidasi input karakteristik geoteknik yang merupakan indikasi dari lereng bukaan tambang. Setiap parameter geoteknik (kohesi, berat timbunan, dan sudut geser dalam) dilakukan analisis probabilistik dengan menggunakan 1000 sampel data, dan hasilnya dianalisis menggunakan statistik deskriptif dari pengujian itu sendiri (tabel 6).

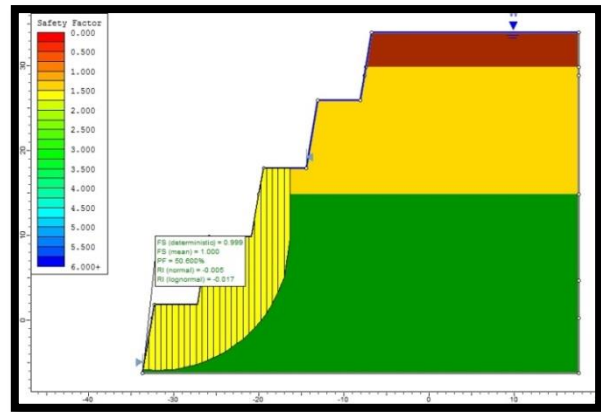
Tabel 6. Statistik Deskriptif Data Uji

#	Material Name	Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
1	soil	Cohesion	Normal	93.2717	3.39242	88.56	97.6
2	soil	Phi	Normal	20.1217	1.4751	18.7	22.8
3	sandstone	Phi	Normal	28.014	0.445	26	29.7
4	sandstone	Cohesion	Normal	87.88	3.646	82.9	92.4
5	mudstone	Phi	Normal	31.316	0.636	29.7	33.9
6	mudstone	Cohesion	Normal	129.983	8.367	125	137



Gambar 20. Hasil Analisis Lereng Pit Eagle 1 Sebelum Longsor (Muka Air Tanah Jenuh)

Berdasarkan geometri April 2021, geometri lereng Pit Eagle 1 sebelum longsor memiliki kemiringan keseluruhan 40 meter dengan kemiringan keseluruhan 56. Nilai Faktor Keamanan (FK) sebesar 1,253 dan nilai Probabilitas Longsor (PK) sebesar 0% diperoleh dari pemeriksaan kestabilan lereng yang sebenarnya sebelum terjadinya longsor. Kemiringan ini dalam keadaan berbahaya, seperti yang ditunjukkan oleh faktor keamanan. longsor telah terjadi di lereng pada awal Mei 2021. Kondisi lereng yang sebenarnya tidak sesuai dengan penelitian geometri lereng yang disarankan yang disediakan oleh perusahaan, yang menyebabkan longsor yang terjadi karena keadaan lereng yang sebelumnya tidak stabil mendorong lereng untuk berburu stabil. kondisi dengan keseimbangan baru. Jadi, parameter geoteknik (kohesi dan sudut geser internal) pada saat longsor yaitu di FK 1, ditentukan dengan melakukan analisis balik.



Gambar 21. Back Analysis Longsoran area longsor Pit Eagle 1

Setelah dilakukan beberapa kali simulasi back analysis didapatkan nilai faktor keamanan (FK) area longsor yaitu 0,999 dengan probabilitas kelongsoran 50,6% dan nilai Cohesi yang didapatkan yaitu 69,65 Kpa sedangkan untuk nilai sudut geser dalam (Phi) yang didapatkan yaitu 23,316°. dari hasil back analysis pada lereng area longsor bidang gelincir yang berpotensi longsor terdapat pada material Mudstone

Tabel 7. Hasil Simulasi Back Analysis

Simulasi	Lebar bench (m)	Tinggi bench (m)	Tinggi lereng (m)	Sudut single slope (o)	Sudut overall slope (o)	Mudstone		FK
						Cohesi (Kpa)	Phi (Degree)	
1	5	8	24	80	56	113,65	28,316	1,509
2	5	8	24	80	56	97,65	26,316	1,320
3	5	8	24	80	56	86,65	25,316	1,196
4	5	8	24	80	56	75,65	24,316	1,073
5	5	8	24	80	56	69,65	23,316	0,999
6	5	8	24	80	56	62,65	22,316	0,910
7	5	8	24	80	56	57,65	21,316	0,841

Parameter geoteknik yang didapatkan setelah dilakukannya back analysis (kohesi dan sudut geser dalam) dapat dilihat pada Tabel 8

Tabel 8. Parameter Geoteknik Hasil Back Analysis

Material	Unit weigt (Kn/m3)	Cohesi (Kpa)	Phi (Degre)
Soil	18,965	93,272	20,122
Sandstone	23,009	87,886	28,014
Mudstone	24,44	69,65	23,316
Batubara	14,05	116,783	27,667

#### 4.2.3 Forward analysis

Hasil back analysis digunakan sebagai bahan parameter untuk analisis forward. Dari hasil back analysis dilakukan forward analysis untuk melakukan penyesuaian geometri lereng guna meningkatkan kestabilan lereng.

Dengan mengubah bentuk lereng atau mengelola air permukaan, kita dapat mengurangi tekanan hidrostatik yang bekerja pada zona tidak stabil, dua dari metode yang paling umum dan efektif untuk mencegah keruntuhan lereng tambang. Sehubungan dengan hal ini, penulis akan menyesuaikan geometri bidang miring. Karakteristik material penyusun lereng mempengaruhi sudut

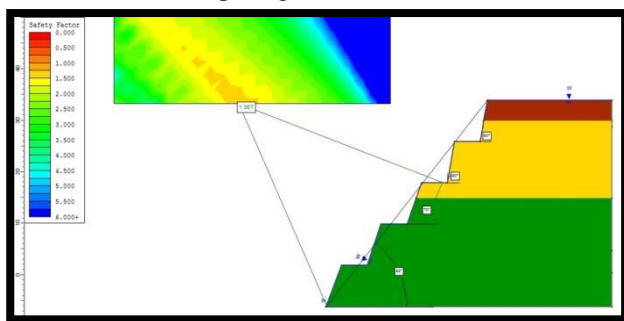
kemiringan lereng yang aman untuk ketinggian lereng tertentu [20].

Saran untuk geometri lereng longsor yang stabil diperoleh dengan trial and error. Analisis perubahan yang disarankan model awal berfungsi sebagai standar yang digunakan untuk mengukur iterasi model selanjutnya. Jika lereng tidak stabil melebihi ketinggian tertentu, sudut seluruh lereng disesuaikan dengan memperlebar bangku (lebar bangku) sampai nilai faktor keamanan tercapai, pada titik mana lereng stabil. Pedoman geometri lereng pada kondisi basah ditunjukkan pada tabel 9.

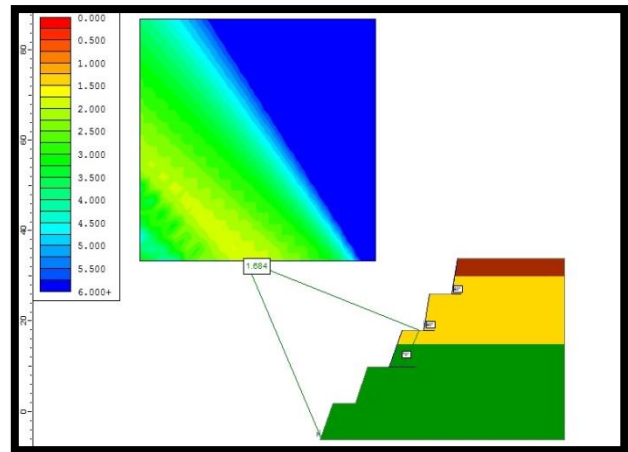
**Tabel 9.** Rekomendasi Geometri *Overall slope* Pada Kondisi Jenuh

Lereng	Material	Unit Weight	Cohesi	Phi	Tinggi	Sudut Tanah Jenuh	FK Air
Single Slope 1	Soil	18,965	93,272	20,122	8	80	1,834
Single Slope 2	Sandstone	23,009	87,886	28,014	8	80	1,791
Single Slope 3	Sandstone	23,009	87,886	28,014	8	70	1,776
Single Slope 4, 5	Mudstone	24,44	69,65	23,316	8	70	1,732
Overall Slope	Soil	18,965	93,272	20,122	40	52	1,307
	Sandstone	23,009	87,886	28,014			
	Mudstone	24,44	69,65	23,316			

Pada penampang lereng penelitian dilakukan analisis lereng keseluruhan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan paling optimal. Dari hasil analisa lereng keseluruhan diperoleh faktor keamanan sebesar 1,307 pada kondisi air tanah jenuh dan 1,684 pada kondisi kering dengan geometri lereng sudut *single slope* 80° untuk material *Soil* dan *Sandstone* 70° untuk material *Mudstone*, tinggi *bench* 8m dan lebar *bench* 5m dengan tinggi *overall slope* 40 m dan sudut *overall slope* 52°. Berikut penampang lereng keseluruhan ditampilkan setelah dimodifikasi pada gambar 22 dan 23.:



**Gambar 22.** Hasil Analisis Geometri Rekomendasi Pada Lereng Jenuh



**Gambar 23.** Hasil Analisis Geometri Rekomendasi Pada Lereng kering

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukannya pengamatan dilapangan pada lereng bagian barat *Pit Eagle 1* PT. Bumi Karya Makmur dan dilanjutkan dengan melakukan perhitungan serta pengolahan data, serta analisis yang dilakukan, maka dapat disimpulkan

#### 5.1.1 Hasil Analisis Kestabilan Lereng Aktual

Nilai faktor keamanan lereng pada *Pit Eagle 1* pada keadaan jenuh sebelum longsor yaitu 1,253 dengan nilai probabilitas kelongsoran 0%, pada keadaan setengah jenuh FK 1,602 dengan nilai probabilitas kelongsoran 0% dan pada keadaan kering dengan nilai FK 1,802 dengan nilai probabilitas kelongsoran 0%

#### 5.1.2 Hasil Analisis Balik

Analisis balik pada area longsor *Pit Eagle 1* menghasilkan nilai parameter geoteknik *Soil* (C) = 93,272 kN/m<sup>2</sup> (φ) = 20,122°; *Sandstone*: (c) = 87,886 kN/m<sup>2</sup> dan (φ) = 28,014; *Mudstone* (C) = 69.65 kN/m<sup>2</sup> (φ) = 23.316°.

#### 5.1.3 Rekomendasi Geometri Lereng.

Rekomendasi geometri lereng *Pit Eagle 1* dengan ketinggian *overall slope* 40 meter yaitu dengan tinggi *single slope* 8 meter lebar *bench* 5 meter *single slope angle Soil* dan *Sandstone* 80°, *single slope angle Mudstone* 70° dan *overall slope angle* 52°.

### 5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang dilakukan di PT. Bumi Karya Makmur, pengolahan data dan analisis, maka penulis menyarankan bahwa:

1. Melakukan perbaikan geometri lereng aktual agar sesuai dengan kajian rekomendasi yang telah ada guna menjaga stabilitas lereng.

2. Perlu dilakukannya pengendalian air permukaan (*surface drainase*), guna mencegah terjadinya erosi dengan cara membuat aliran air berupa paritan pada toe lereng
3. Dilakukannya pengamatan terhadap air bawah tanah untuk mengetahui elevasi muka air tanah dengan cara memasang piezometer
4. Pengamatan lereng secara berkala perlu dilakukan, untuk mengetahui adanya pergerakan badan lereng, dengan alat pemantau lereng (extensionmeter).

## Daftar Pustaka

- [1] Arief, Saifuddin. 2007. "Konsep Dasar & Metode-metode dalam Analisis Kestabilan Lereng". Buku kompilasi tidak diterbitkan.
- [2] Alejano, L.R, A.M. Ferrero, P. Ramirrez-Oyanguren, M.I. A´lvarez Fern´andez. (2011). "Comparison Of Limit-Equilibrium, Numerical And Physical Models Of Wall Slope Stability". *Jurnal*. University of Uviedo, Spanyol
- [3] Biantoro E., Muritno B.P., Mamuya J.M.B. (1992). "Inversion Faults as The Major Structural Control in the Northern Part of The Kutai Basin, East Kalimantan". *Proceedings Indonesian Petroleum Association*, 21st Annual Convention and Exhibition.
- [4] Chand Gopi, Sharma, Kumar P. Et al. (2012). "Design of Spur Gear and its Tooth Profile. Narsapur". Department of Mechanical Engineering, Swarnandhra college of engineering and technology. *Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*
- [5] Chen, Xiangyu, Lulu Zhang, Lihong Chen. et al. (2018). "Slope Stability Analysis Based On The Coupled Eulerian-Lagrangian Finite Element Method". *Jurnal*. Jerman
- [6] Cheng, Y.M & C.K Lau. (2019). "Slope Stability Analysis and Stabilization New Methods and Insight". *Jurnal*. Hongkong
- [7] Fikri, M. A., Heriyadi, B., & Prabowo, H. (2018). Analisis stabilitas lereng pada pit tambang air laya barat section c-c'pt bukit asam (persero) tbk., Sumatera selatan. *Jurnal Bina Tambang*, 3(2), 835-849.
- [8] Fitra Ramadhanti. (2017). "Analisis Balik Kestabilan Lereng Blok III-S Pit Warute Area Lowwall Panel 10 Dan Panel 15 Site IDA Manggala PT. Antang Gunung Meratus Kecamatan Sungai Raya Kabupaten Hulu Sungai Selatan Provinsi Kalimantan Selatan". *Skripsi tidak diterbitkan*. Padang : UNP
- [9] Fransiskus Saragih (2006). "Kajian Teknis Kemantapan Lereng Pada Rancangan Penambangan Banko Barat Pit-1 Utara Tahun 2009 Di PT Tambang Batubara Bukit Asam (Persero) Tbk". *Jurnal*. Indralaya: Universitas Sriwaja
- [10] Haryati, O. S., Kopa, R., & Prabowo, H. (2018). Pemetaan Kestabilan Lereng Pada Lokasi Penambangan Emas Pit Durian Pt J Resources Bolaang Mongondow Site Bakan Kecamatan Lolayan Kabupaten Bolaang Mongondow Sulawesi Utara. *Bina Tambang*, 3(1), 481-482
- [11] Irwandy Arif (2000). "TA 427-Tambang Terbuka". *Buku Ajar*. Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, Bandung:ITB.
- [12] Irwandy Arif (2016). *Geoteknik Tambang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- [13] Irwandy Arif (2021). *Geoteknik Tambang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- [14] Kosim G.G, Maryanto & Dono Guntoro. "Analisis Balik Longsoran Lowwall Pit B3 di Tambang Batubara PT. BJA menggunakan Metode Probabilistik Monte Carlo". *Jurnal*. Prosiding Penelitian Sivitas Akademika Unisba. ISSN:2460-6499. Hlm. 42-50.
- [15] Lalitya, Timur Jati, I Gde Budi Indrawan, Adhe Bassmantra. (2017). "Analisis Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara dengan Metode Probabilitas pada Highwall dan Lowwall Pit Tania "
- [16] Liu, S.Y, L.T Shao, H.J Li. (2014). "Slope Stability Analysis Using The Limit Equilibrium Method And Two Finite Element Methods". *Jurnal*. China
- [17] Mafi, Ramin, Sina Javankhoshdel, Brigid Cami, Reza Jamshidi Chenari, Amir H. Gandomi. (2020). "Surface Altering Optimisation In Slope Stability Analysis With Non-Circular Failure For Random Limit Equilibrium Method". *Jurnal*. University of Technology Sydney, Australia
- [18] Marini, A. Elsa & Yoszi M. Anaperta. (2019). "Analisis Balik Kestabilan Lereng Area Highwall Pit Abc Tambang Batubara PT. Manggala Usaha Manunggal Jobsite PT. Banjarsari Pribumi, Kecamatan Merapi Timur, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan". *Jurnal. Bina Tambang* Vol 4, No.4.
- [19] McClay, Ken. et al. (2000). "Tectonic Evolution of the Sanga Sanga Block, Mahakam Delta, Kalimantan, Indonesia". *Jurnal AAPG Bulletin*, V. 84, No. 6 (June 2000), P. 765-786.
- [20] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2018). Kepmen ESDM RI Nomor 1827 K/30/MEM/2018: Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Lampiran II.
- [21] Milia Putri dan Dedi Yulhendra,. (2018). "Optimasi Geometri Peledakan untuk Mencapai Target Fragmentasi dan Diggability dalam Pemenuhan Target Produktivitas Ore di Pit Durian Barat dan Pit South Osela Site Bakan Pt. J Resources Bolaang Mongondow Sulawesi Utara". *Jurnal Bina Tambang*. Padang: Universitas Negeri Padang.
- [22] Pane Adelina Riski & Yoszi M. Anaperta. (2019). "Karakterisasi Massa Batuan dan Analisis Kestabilan Lereng Untuk Evaluasi Geometri Lereng di Pit Barat Tambang Terbuka PT. AICJ (Allied Indo Coal Jaya) Kota Sawahlunto Provinsi

- Sumatera Barat”. *Jurnal. Bina Tambang* Vol 4 No 3.
- [23] Read, John & Peter Stacey.(2009). *Guidelines For Open Pit Slope Design*. Australia: CSIRO Publishing.
- [24] Rocscience Slide. “Webhelp Rocscience Slide”. [www.rocscience.com/help/slide](http://www.rocscience.com/help/slide), diakses pada 20 Agustus 2022.
- [25] S.Supriatna, Sukardi, E. Rustandi, (1995), Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimantan, Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi, Bandung
- [26] Santoso Eko, Irwandy Arif & Ridho Kresna Wattimena (2013). “Aplikasi Pendekatan Probabilistik Dalam Analisis Kestabilan Lereng Pada Daerah Ketidakstabilan Dinding Utara Di Pt. Newmont Nusa Tenggara”. *Paper. Prosiding TPT XXII Perhapi*
- [27] Septian, R., Heriyadi, B., & Prabowo, H. (2018). Analisis kestabilan lereng jalan tambang di pt. Sumbang calcium pratama jorong atas halaban, nagari halaban, kecamatan lareh sago halaban, kabupaten lima puluh kota, provinsi sumatera barat. *Bina Tambang*, 3(2), 893-903
- [28] Sharma, Sunil. (2012). *Slope Stability Concepts (Chap. 6)*. New York: John Wiley & Sons. Wittwer, J.W. 2004. “*Monte Carlo Simulation Basic*”. <http://www.vertex42.com/ExcelArticles/mc/MonteCarloSimulation.html>, diakses pada 20 Agustus 2022.
- [30] Suharta, Gde., *et al.* (2013). “Geotechnical Study For Supportring The Development of Open Pit Coal Mine Design at Blok 3 Warukin, Sungai Raya, Tapin Residence South Kalimantan”. *Paper. Banjarmasin: PT. AGM.*
- [31] Suryadi Putra & Bambang Heriyadi. (2018). “Analisis Balik Kestabilan Lereng Penampang A Dan Penampang B Area Lowwall Tambang Batubara Pada Pit X PT. Kideco Jaya Agung Kecamatan Batu Sopang Kabupaten Paser Provinsi Kalimantan Timur”. *Jurnal.Bina Tambang* Vol 4 No 1.