

# Analisis Balik Kestabilan Lereng Tambang Batubara Pit RTS-C Sisi Barat WUP Roto-Samurangau PT. Kideco Jaya Agung, Kecamatan Batu Sopang, Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur

Bagas Maulana Hasan<sup>1,\*</sup>, Bambang Heriyadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

\*bagasmaulana266@gmail.com

\*\*bambangh@ft.unp.ac.id

**Abstract.** PT Kideco Jaya Agung is a company engaged in coal mining business located in Paser Regency, East Kalimantan Province. The mining system is carried out using an open pit mining system. The RTS-C pit has a crack in the high wall area of the west side of section A at an elevation of 100 m /L, on the crest overall slope of section B there is a pond with a distance of 200 meters. Slope stability analysis is performed using the limit equilibrium method (bishop simplified method) and monte carlo probabilistic analysis. The results of the actual topographical analysis of Section A obtained values of SF 1.661 and PF 0.000%, the results of analysis in design of 2019 were SF 0.995 and PF 54.100%. The results of the actual topographical analysis of Section B obtained values of SF 1.351 and PF 0.000%, the results of analysis in design of 2019 were SF 0.926 and PF 92.100%. The values of material properties in the back analysis were  $c$  and  $\phi$  are at 60% of the original condition (peak), mudstone material values of  $c = 79.2$  kPa and  $\phi = 16.11^\circ$  for sandstone material values of  $c = 87.6$  kPa and  $\phi = 17.37^\circ$ .

**Keywords:** Back analysis, slope stability, crack, bishop, monte carlo

## 1 Pendahuluan

PT Kideco Jaya Agung adalah perusahaan yang bergerak di bidang usaha pertambangan batubara yang lokasi penambangannya terletak di Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur. Hingga saat ini PT. Kideco Jaya Agung memiliki 8 site area yang telah dilakukan eksploitasi yaitu Roto Utara, Roto selatan, Roto Tengah, Samurangau A, Samurangau B, Samurangau C, Samurangau D dan Susubang dengan cadangan yang dapat ditambang (*mineable reserve*) sebesar 651 juta ton dari total 1.4 miliar ton sumberdaya batubara. Sistem penambangan dilakukan dengan sistem *open pit mining*.

Langkah awal kegiatan penambangan yang dilakukan adalah pengupasan lapisan tanah penutup untuk mendapatkan batubara. Pengupasan lapisan penutup yang dilakukan akan mengakibatkan terbentuknya jenjang-jenjang dengan kemiringan dan ketinggian yang berbeda. Terbentuknya jenjang dengan kemiringan dan ketinggian yang berbeda pada suatu saat akan dapat mengganggu kelancaran produksi yaitu terjadinya longsor. Lereng yang didesain akan terus dievaluasi pada

periode tertentu karena apa yang didesain tidak selamanya sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Hal ini disebabkan karena faktor-faktor dari luar seperti adanya pelapukan pada dinding lereng yang setiap saat bisa menyebabkan terjadinya longsor.<sup>[1]</sup>

Faktor-faktor penyebab longsor dapat berupa faktor internal yang meliputi geometri lereng, struktur geologi, kondisi air tanah serta faktor eksternal berupa beban dinamik akibat alat-alat tambang, serta akibat adanya ketidakpastian parameter geoteknik yang digunakan dalam desain lereng. Longsor merupakan kondisi yang sangat tidak diinginkan oleh setiap perusahaan pertambangan. Maka untuk menghindari terjadinya kondisi yang tidak diinginkan tersebut, perlu dilakukan studi geoteknik sebelum kegiatan penambangan, untuk mendukung rencana penambangan yang aman (stabil).

Pit Roto Selatan area penambangan C pernah mengalami longsor pada area high wall sisi barat penampang A tepatnya bulan Juli 2018, serta saat melakukan penelitian pada lokasi ini peneliti menemukan *crack* pada elevasi +100 mdpl sehingga dapat mempengaruhi kestabilan lereng dan

meningkatkan potensi longsor pada area penambangan RTS-C. Untuk kondisi lereng pada penampang A ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Crack di Penampang A pada elv. +100 mdpl

Sedangkan penampang B belum pernah terjadi longsor, tetapi terdapat kolam dengan jarak 200 meter dibagian *crest* lereng *overall* yang dapat memberikan suatu pengaruh terhadap kestabilan lereng pada penampang B lokasi penelitian maka diperlukan sebuah analisa pada lokasi ini. Untuk kondisi lereng pada penampang B ini dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Kolam yang berada pada *crest overall slope* Penampang B

Dari pengamatan yang dilakukan pada penampang A dan penampang B, beberapa faktor yang menyebabkan ketidakstabilan lereng meliputi kondisi air pada lereng yang tergolong kondisi jenuh (*full saturated*) sehingga mengakibatkan penurunan pada nilai kuat geser pada salah satu perlapisan di penampang A dan penampang B ditandai dengan adanya genangan air dan basahnya dinding lereng dan berdasarkan data monitoring pergerakan lereng pada Pit RTS-C sisi barat menunjukkan kondisi lereng dalam keadaan *warning/critical*.

Aktifitas peledakan merupakan salah satu parameter yang juga mempengaruhi kestabilan lereng yang berada pada area RTS-C dimana kegiatan peledakan ini akan menghasilkan getaran seismik yang merupakan bagian dari gaya luar. Aktivitas produksi juga menjadi salah satu parameter pengaruh yang meliputi pengerukan material pada alat muat dan pengangkutan baik *overburden* dan batubara pada alat angkut.

Oleh karena itu diperlukan kajian untuk analisis kestabilan lereng pada penampang A dan penampang B berdasarkan topografi aktual dan desain tahun 2019 untuk menghindari potensi terjadinya longsor dari kedua penampang tersebut sehingga mengurangi resiko bahaya yang akan ditimbulkan.

## 2 Kajian teori

### 2.1 Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami maupun buatan manusia. Lereng yang terbentuk secara alami misalnya: lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain: galian dan timbunan, tanggul dan dinding tambang terbuka.<sup>[2]</sup>

#### 2.1.1 Lereng Alam

Lereng alam (*natural slope*) adalah lereng yang terbentuk karena fenomena alam yang terjadi akibat dari proses geologi.

#### 2.1.2 Lereng Buatan

Lereng buatan (*man made slope*) adalah lereng yang terjadi akibat terbentuknya daerah galian dan atau daerah timbunan pada proses perencanaan geometrik jalan.

### 2.2 Kestabilan Lereng

Kestabilan lereng, baik lereng alami maupun lereng buatan (buatan manusia) serta lereng timbunan, dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat dinyatakan secara sederhana sebagai gaya-gaya penahan dan gaya-gaya penggerak yang berhubungan dengan kestabilan lereng tersebut.<sup>[2,7,13]</sup>

Faktor keamanan adalah perbandingan antara kekuatan geser yang diperlukan agar setimbang terhadap kekuatan geser yang tersedia. Secara prinsip, pada suatu lereng berlaku dua macam gaya, yaitu gaya penahan dan gaya penggerak. Gaya penahan yaitu gaya yang menahan massa dari pergerakan, sedangkan gaya penggerak adalah gaya yang menyebabkan massa bergerak. Lereng akan longsor jika gaya penggeraknya lebih besar dari gaya penahan. Secara matematis kestabilan suatu lereng dinyatakan dalam bentuk Faktor Keamanan (FK), klasifikasi faktor keamanan (FK) sebagai berikut:

$$\text{Faktor Keamanan (FK)} = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \quad (1)$$

Catatan :

- FK  $\geq$  1,25 = Lereng dianggap stabil
- 1,07  $\leq$  FK  $<$  1,25 = Lereng dianggap setimbang, dan siap untuk longsor jika ada sedikit gangguan
- FK  $<$  1,07 = Lereng dianggap tidak stabil

## 2.3 Faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Kestabilan lereng galian bervariasi sepanjang waktu. Hal ini disebabkan oleh adanya perubahan tekanan air pori, tegangan geser, dan pembebanan pada lereng yang mengakibatkan perubahan kekuatan geser material. Perubahan tersebut umumnya diakibatkan oleh adanya perubahan musim dan adanya proses pelapukan.

### 2.3.1 Geometri lereng

Geometri lereng pada tambang terbuka tersusun atas sekumpulan lereng yang terdiri dari lereng tunggal (*single slope*) dan lereng keseluruhan (*overall slope*) dengan dimensi tinggi dan sudut tertentu.<sup>[4]</sup>

### 2.3.2 Aktivitas manusia

Aktivitas seperti pengalihan, pembuatan jalan tambang, dan bendungan menyebabkan perubahan keseimbangan gaya-gaya dalam sehingga akan menyebabkan bertambahnya gaya geser dan mengurangi kestabilan lereng.<sup>[1]</sup>

### 2.3.3 Struktur geologi

Struktur yang dimaksud meliputi sesar (*fault*), kekar (*joint*), perlipatan (*fold*), bidang perlapisan (*bedding plane*), dan rekahan (*crack*). Struktur merupakan bidang-bidang lemah sekaligus sebagai tempat merembesnya air sehingga dapat menurunkan kestabilan lereng.<sup>[5]</sup>

### 2.3.4 Sifat fisik dan mekanik tanah dan batuan

Sifat fisik yang mempengaruhi kestabilan lereng antara lain bobot isi, kohesi, sudut geser dalam, porositas, dan kandungan air. Selain dipengaruhi oleh sifat fisik, kestabilan lereng juga dipengaruhi oleh sifat mekanik tanah dan batuan, seperti kuat tekan, kuat tarik, dan kuat geser. Semakin besar kekuatan tanah dan batuan, maka lereng akan semakin stabil dan tidak mudah longsor. Dalam mengetahui sifat fisik dan mekanik batuan dilakukan dengan pengujian di laboratorium untuk mendapatkan angka bobot isi, kohesi dan sudut geser dalam pada lokasi penelitian.<sup>[2]</sup>

#### 2.3.4.1 Sifat fisik

Sifat fisik yang mempengaruhi kestabilan lereng antara lain bobot isi, porositas dan kadar air

##### 2.3.4.1.1 Bobot Isi

Bobot isi mempengaruhi besarnya beban pada permukaan bidang longsor. Semakin besar bobot isi, semakin besar gaya penggerak yang menyebabkan lereng tidak stabil. Bobot isi terdiri dari Bobot isi asli ( $\gamma_{nat}$ ), Bobot isi kering ( $\gamma_{dry}$ ), Bobot isi jenuh ( $\gamma_{sat}$ ).

##### 2.3.4.1.2 Porositas

Porositas Material yang memiliki porositas besar memiliki kemampuan besar untuk menyerap air sehingga mengalami peningkatan bobot isi. Peningkatan bobot isi akan menurunkan kestabilan lereng.

##### 2.3.4.1.3 Kadar Air

Kadar air berpengaruh terhadap tekanan air pori. Semakin besar kandungan air, tekanan air pori akan semakin besar sehingga menurunkan kekuatan geser dan mengakibatkan lereng mudah longsor. Selain dipengaruhi oleh sifat fisik, kestabilan lereng juga dipengaruhi oleh sifat mekanik tanah dan batuan, seperti kuat tekan, kuat tarik, dan kuat geser. Semakin besar kekuatan tanah dan batuan, maka lereng akan semakin stabil dan tidak mudah longsor kadar air terdiri dari kadar air asli ( $W_{nat}$ ) dan kadar air jenuh (*absorption*,  $W_{sat}$ ).

##### 2.3.4.2 Sifat mekanik

Selain dipengaruhi oleh sifat fisik, kestabilan lereng juga dipengaruhi oleh sifat mekanik tanah dan batuan, seperti kuat tekan, kuat tarik, dan kuat geser. Semakin besar kekuatan tanah dan batuan, maka lereng akan semakin stabil dan tidak mudah longsor.

### 2.3.5 Pengaruh Tekanan Air

Tekanan air yang bekerja pada lereng, perlu diasumsikan dengan pola aliran air tanah yang mungkin sama dengan kondisi di lapangan yang bertepatan dengan permukaan tanah, ketinggian lereng dan kaki lereng (*toe*). Distribusi tekanan air didasari pada pendekatan kondisi lereng. Hal ini sesuai dengan sumber air dipermukaan atau menjadi titik dimana permukaan air dinilai memotong permukaan tanah.<sup>[6]</sup>

### 2.3.6 Faktor Eksternal

#### 2.3.6.1 Faktor Eksternal

Gaya luar ini berupa getaran-getaran yang berasal dari sumber yang berada didekat lereng tersebut. Getaran ini misalnya ditimbulkan oleh gempa bumi, peledakan, lalu-lintas kendaraan, dan sebagainya. Gaya luar ini sedikit banyak dapat mempengaruhi kestabilan suatu lereng.<sup>[7]</sup>

#### 2.3.6.2 Iklim

Iklim berpengaruh pada perubahan temperatur. Temperatur yang cepat sekali berubah akan mempercepat proses pelapukan dan mengakibatkan lereng mudah longsor.

## 2.4 Klasifikasi Longsoran yang Terjadi terhadap Lereng Tambang

Berdasarkan proses longsornya, longsoran batuan yang umum terjadi pada tambang terbuka dapat dibedakan atas longsoran bidang, longsoran baji, longsoran guling, dan longsoran busur.<sup>[7,12]</sup>

### 2.4.1 Longsoran Bidang (Plane failure)

Longsoran bidang relatif jarang terjadi, namun jika kondisi yang menunjang terjadinya longsoran bidang, longsoran yang terjadi mungkin akan lebih besar (secara volume) daripada longsoran lain. Longsoran ini disebabkan oleh adanya struktur geologi yang berkembang, seperti kekar (*joint*) ataupun patahan yang dapat menjadi bidang lurur.

### 2.4.2 Longsoran Baji (Wedge failure)

Longsoran baji dapat terjadi pada suatu batuan jika terdapat lebih dari satu bidang lemah yang saling berpotongan. Sudut perpotongan antara bidang lemah tersebut harus lebih besar dari sudut geser dalam batuannya tetapi lebih kecil dari kemiringan lereng.

### 2.4.3 Longsoran guling (Toppling failure)

Longsoran guling umumnya terjadi pada lereng terjal dan batuan keras dimana struktur bidang lemahnya berbentuk kolom. Longsoran guling terjadi apabila bidang-bidang lemah yang ada berlawanan dengan kemiringan bidang lereng.

### 2.4.4 Longsoran busur (Circular failure)

Longsoran busur banyak terjadi pada lereng tanah dan batuan lapuk atau sangat terkekarkan dan di lereng-lereng timbunan. Bentuk penampakan pada longsoran busur, sesuai dengan namanya, akan menyerupai busur bila digambarkan pada penampang melintang.

## 2.5 Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Kesetimbangan Batas

### 2.5.1 Metode Bishop yang disederhanakan (Bishop simplified Method)

Diantara metode irisan lainnya, metode Bishop yang disederhanakan merupakan metode yang paling populer dalam analisis kestabilan lereng. Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu besarnya gaya geser antar-irisan sama dengan nol ( $X=0$ ) dan bidang runtuh berbentuk sebuah busur lingkaran. Kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi oleh metode ini adalah kesetimbangan gaya dalam arah vertical untuk setiap irisan dan kesetimbangan momen pada pusat lingkaran runtuh

untuk semua irisan, sedangkan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal tidak dapat dipenuhi.<sup>[3,8,10]</sup>

$$FK = \frac{\sum [cb + (W - ub) \tan \phi] \frac{1}{\cos \alpha + \tan \phi \tan \alpha / F}}{\sum W \sin \alpha} \quad (2)$$

Pada persamaan diatas variabel faktor keamanan terdapat pada kedua sisi persamaan sehingga perhitungan nilai F tidak dapat dilakukan secara langsung dan harus dihitung dengan menggunakan aproksimasi berulang (literasi). Aproksimasi berulang dilakukan beberapa kali sampai nilai perbedaan dari F pada kedua sisi persamaan lebih kecil dari nilai toleransi yang diberikan. Toleransi yang digunakan umumnya 0,005.

### 2.5.2 Analisis Probabilistik Monte Carlo dalam Metode Kesetimbangan Batas

Dalam metode kesetimbangan batas dapat menunjukkan beberapa nilai yaitu SF (*Safety Factor*), PF (*Probability Failure*), dan RI (*Reliability Index*). Simulasi Monte Carlo dikategorikan sebagai metode sampling karena parameter masukan acak dihasilkan dari distribusi probabilitas untuk mensimulasikan proses pengambilan sampel dari populasi yang sebenarnya.<sup>[2,11,12]</sup>

#### 2.5.2.1 PF (Probability Failure)

Probabilitas Kelongsoran (PK) didefinisikan sebagai rasio antara jumlah lereng longsor hasil analisis ( $FK < 1$ ) dengan jumlah total analisis (sampel atau simulasi) yang dinyatakan dalam persen.

$$PK = \frac{\text{numfailed (FK < 1)}}{\text{numtotal}} \times 100\% \text{ atau } PK = P [FK < 1] \times 100\% \quad (3)$$

#### 2.5.2.2 RI (Reliability Index)

Cara lain menilai keamanan lereng dalam analisis probabilitas adalah dengan menghitung nilai indeks reliabilitasnya. RI merupakan ukuran seberapa jauh nilai FK hasil hitung terhadap nilai kritisnya ( $FK=1$ ). Dari persamaan di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Untuk tingkat keyakinan yang baik RI harus lebih besar atau sama dengan tiga ( $RI = 3$ ).
- $RI = 0$  menunjukkan nilai rata-rata faktor keamanan sama dengan satu ( $FK_{mean} = 1$ ).
- RI negatif menunjukkan rata-rata nilai FK kurang dari satu ( $FK_{mean} < 1$ ).

## 2.6 Dasar Hukum Geoteknik Tambang

Dasar hukum dalam kestabilan lereng berpedoman terhadap Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018.

## 3 Metode Penelitian

Pelaksanaan penelitian mengenai analisis pada lereng Pit RTS-C Sisi Barat WUP Roto-Samurangau di PT. Kideco Jaya Agung, Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan

Timur. Penelitian dilaksanakan pada 14 Maret 2019 hingga 14 Mei 2019.

### 3.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini lebih terarah ke penelitian terapan (*Applied Research*), yaitu salah satu jenis penelitian yang bertujuan untuk mengaplikasikan teori yang didapat dibangku perkuliahan terhadap kondisi aktual lapangan. Dalam melaksanakan penelitian permasalahan ini, penulis menggabungkan antara teori dengan data-data lapangan, sehingga dari keduanya diperoleh pendekatan penyelesaian masalah.<sup>[9]</sup>

### 3.2 Teknik Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dimulai dengan studi literatur yaitu pencarian bahan pustaka terhadap masalah yang akan dibahas meliputi studi tentang analisis mengenai produksi penambangan melalui berbagai percobaan, buku-buku, jurnal atau laporan studi yang sudah ada.

Selanjutnya yaitu observasi lapangan yang dilakukan selama satu minggu guna melihat kondisi lapangan secara langsung dan permasalahan aktual yang ada di lapangan.

Selanjutnya yaitu tahapan pengambilan data meliputi data primer dan data sekunder. Data primer yang diambil yaitu pengambilan data geometri lereng aktual beserta lokasi *cross section* aktual dalam inspeksi geoteknik, kondisi lereng aktual pada saat penelitian, nilai getaran peledakan (*seismic load*). Data sekunder berupa Peta lokasi dan kesampaian daerah, peta topografi lokasi penelitian, peta geologi regional dan stratigrafi, *drillsheet* litologi batuan, data hasil uji laboratorium (*material properties*), geometri lereng rencana tahunan, *monitoring* pergerakan lereng, data curah hujan.

Tahapan selanjutnya yaitu tahapan pengolahan data. Pada tahapan ini dilakukan perhitungan dan penggambaran, yang selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel, grafik atau rangkaian perhitungan dalam menyelesaikan suatu proses tertentu. Adapun kegiatan pengolahan data berupa pembuatan model lapisan penyusun lereng, dan analisis statistik deskriptif data sifat fisik dan mekanik batuan.

Model perlapisan dibuat dalam dua dimensi mengacu pada *cross section*. Dalam pembuatan model perlapisan digunakan asumsi bahwa kemiringan lapisan untuk setiap jenis material adalah sama.

Data sifat fisik dan sifat mekanik batuan yang diperoleh dari hasil uji laboratorium kemudian diolah dengan menggunakan bantuan Microsoft Excel untuk mengetahui nilai rata-rata, ukuran dispersi, dan distribusi data hasil uji.

### 3.3 Teknik Analisis Data

Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan metode kesetimbangan batas yaitu metode bishop yang disederhanakan (*Bishop Simplified Method*). Penyelesaian perhitungan dibantu dengan perangkat lunak *software Roscience Slide 6.0*, dengan batasan nilai

faktor keamanan (FK) dan probabilitas kelongsoran (PK) mengacu pada *standart operating procedure* PT. Kideco Jaya Agung.

### 3.4 Kesimpulan

Kesimpulan diperoleh setelah dilakukan korelasi antara hasil pengamatan di lapangan, pengolahan data dan analisis permasalahan yang diteliti untuk memberikan alternatif pada lereng yang kritis.

## 4 Hasil dan Pembahasan

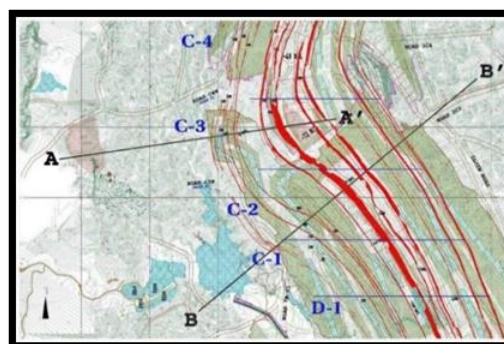
### 4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di area pit RTS-C pada koordinat antara -2227 N, -2657 E sampai -1943 N, -639 E pada penampang A dan -3306 N, -1642 E sampai -1659 N, 392 E pada penampang B. Secara umum penyebaran bentuk lapisan batuan penyusun lereng relatif mengikuti perlapisan batubara. Koordinat penampang melintang dapat dilihat pada **Tabel 1**. dibawah ini.

**Tabel 1.** Koordinat Penampang Lokasi Penelitian

No	Penampang	Koordinat	
		X	Y
1	Penampang A	- 2657	- 2227
2	Penampang A'	- 639	- 1943
3	Penampang B	- 1642	- 3306
4	Penampang B'	392	-1659

Dalam analisis kestabilan lereng dilakukan terhadap dua (2) buah penampang yang terletak tidak berbeda jauh, diperkirakan  $\pm 400$  meter jarak antar kedua penampang. Posisi garis penampang terlihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Penampang Area Penelitian

Berdasarkan hasil pemboran eksplorasi yang dilakukan oleh PT. Mintec Abadi, litologi batuan bawah tanah terdiri dari batu lempung (*mudstone*), batu pasir (*sandstone*), lempung pasir (*muddy sandstone*), dan pasir lempungan (*sandy mudstone*). Namun dikarenakan jumlah kedalaman lapisan lempung pasir (*muddy sandstone*), dan pasir lempungan (*sandy mudstone*) yang tidak terlalu dominan dan tidak diseluruh log bor



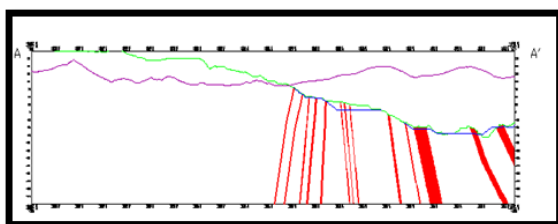
ditemukannya material tersebut sehingga untuk mempermudah analisis geoteknik peneliti mengkategorikan material penyusun lereng sebagai 3 jenis perlapisan yang terdiri dari batu lempung (*mudstone*), batu pasir (*sandstone*), dan batubara (*coal*). Kondisi lereng pada lokasi penelitian terlihat pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Kondisi Lereng Lokasi Penelitian

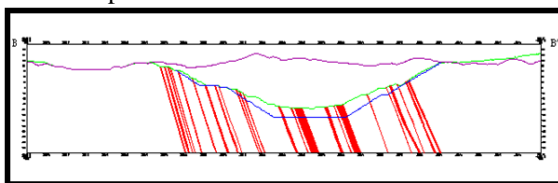
## 4.2 Permodelan Lereng

Permodelan Lereng yang dilakukan berdasarkan korelasi penampang dan pengamatan dilokasi, pada penampang A memiliki kemiringan perlapisan mulai dari elevasi +100 mdpl sampai +50 mdpl berada pada  $74^\circ$  arah barat, dari elevasi +50 mdpl sampai berada pada  $84^\circ$  arah barat dan dari elevasi +40 mdpl berada pada  $67^\circ$  arah timur. Kondisi korelasi penampang A terlihat pada **Gambar 5**.



**Gambar 5.** Korelasi Penampang A

Sedangkan berdasarkan korelasi penampang dan pengamatan dilokasi, pada penampang B kemiringan perlapisan berada pada  $68^\circ$ . Kondisi korelasi penampang B terlihat pada **Gambar 6**.



**Gambar 6.** Korelasi Penampang B

### 4.2.1 Sifat Fisik Dan Mekanik Batuan

Pengujian sifat fisik dan mekanik batuan pada laboratorium dilakukan oleh PT. Solusi Tambang Indonesia yang merupakan salah satu mitra PT. Kideco Jaya Agung yang bergerak pada bidang analisis laboratorium untuk uji sifat fisik dan mekanik batuan.

Analisis statistik deskriptif kemudian dilakukan terhadap hasil uji sifat fisik dan mekanik batuan tersebut sebagai parameter yang akan digunakan dalam analisis kestabilan lereng, seperti nilai bobot isi asli, kohesi dan sudut geser dalam.

#### 4.2.1.1 Pengujian Sifat Fisik Batuan

Bobot isi merupakan salah satu parameter dari hasil uji sifat fisik yang penting dalam analisis kestabilan lereng. Nilai bobot isi dapat dibagi atas nilai bobot isi asli, bobot isi kering (*dry density*) dan bobot isi jenuh (*saturated density*). Analisis statistik deskriptif hasil uji bobot isi asli batuan (*unit weight*) dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Statistik Deskriptif Hasil Uji Sifat Fisik (*Unit Weight*)

Statistik	Parameter Statistik	<i>Mudstone</i>	<i>Sandstone</i>
	N		6
Mean		2,075	2,3
Standard Deviation		0,051283526	4,86475E-16
Minimum		2,01	2,3
Maximum		2,15	2,3

#### 4.2.1.2 Pengujian Sifat Mekanik Batuan

Pengujian kuat geser langsung ditujukan untuk mendapatkan nilai kohesi (*c*) dan sudut geser dalam ( $\Phi$ ) dalam bentuk nilai puncak (*peak*) dan residual. Analisis statistik deskriptif nilai kohesi dan sudut geser dalam puncak (*peak*) dapat dilihat pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Statistik Deskriptif Nilai Kohesi dan Sudut Gesek Dalam Puncak (*Peak*)

Statistik	Parameter Statistik	<i>Material</i>	
	C (Mpa)	<i>Mudstone</i>	<i>Sandstone</i>
Statistik	N	6	5
	Mean	0,132	0,146
	Standard Deviation	0,13	0,012
	Minimum	0,117	0,133
	Maximum	0,157	0,164
Statistik	Parameter Statistik	<i>Material</i>	
	$\Phi$	<i>Mudstone</i>	<i>Sandstone</i>
Statistik	N	6	5
	Mean	26,867	28,958
	Standard Deviation	1,620	2,317
	Minimum	24,950	25,470
	Maximum	28,390	31,700

Analisis statistik deskriptif nilai kohesi dan sudut geser dalam residual dapat dilihat pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Statistik Deskriptif Nilai Kohesi dan Sudut Gesek Dalam Residual

	Parameter Statistik	Jenis Material	
	C (MPa)	Mudstone	Sandstone
Statistik	N	6	5
	Mean	0,80	0,87
	Standard Deviation	0,0127	0,0042
	Minimum	0,059	0,081
	Maximum	0,097	0,91
	Parameter Statistik	Jenis Material	
	$\phi$	Mudstone	Sandstone
Statistik	N	6	5
	Mean	16,72	18,36
	Standard Deviation	1,5598	1,6126
	Minimum	14,99	16,33
	Maximum	18,62	20,12

#### 4.2.1.3 Material Properties

Material properties meliputi bobot isi asli, kohesi (c), dan sudut geser dalam ( $\Phi$ ). Nilai yang dipakai sebagai data awal material properties adalah nilai rata-rata yang didapatkan dari hasil pengujian laboratorium. Parameter *Material properties* dapat dilihat pada **Tabel 5**.

**Tabel 5.** Parameter Material Properties

Material	Density	Kohesi		Sudut Gesek Dalam	
	$\gamma$	C		$\phi$	
	Kn/m <sup>3</sup>	kPa		Deg (°)	
		Peak	Residu	Peak	Residu
Mudstone	20,75	132	80	26,86	16,72
Sandstone	23	146	87	28,95	18,36
Coal	13,9	106	57	40,20	21,4
Top Soil	17,6	62,2	-	6	-
Disposal	19	94,92	-	11,48	-

#### 4.2.2 Muka Air Tanah

Dikarenakan kondisi pengambilan pengukuran muka air tanah pada area pit RTS-C tidak ada, sehingga dalam melakukan analisa peneliti mengasumsikan kondisi lereng dalam keadaan jenuh, hal ini didasari karena kemungkinan terburuk dari kondisi lereng yang akan terjadi, dimana asumsi ini juga didukung oleh **Gambar 7**, dimana terdapatnya kolam (*pond*) yang berjarak 200 meter dari *crest* lereng *overall*.



**Gambar 7.** Kolam (*pond*) pada *crest overall slope*

#### 4.2.3 Getaran Seismik (*Seismic Load*)

Untuk mengetahui pengaruh parameter peledakan terhadap kestabilan lereng, dilakukan dengan menentukan hubungan antara PPA dan amaks. Namun kesalahan yang sering dilakukan dalam analisis adalah nilai PPA dari hasil pengukuran dijadikan sebagai nilai amaks. Hasil rangkuman pengolahan data dan pengukuran getaran tanah untuk mendapatkan nilai amaks aktual terlihat pada **Tabel 6**, dengan pendekatan Matsuo dengan asumsi nilai amaks berada pada 0,65 dari PPA.

**Tabel 6.** Rekapitulasi Data Peledakan

Summary					
No	Lokasi	PPA (mm/s)	PPA (g)	amaks (mm/s)	amaks (g)
1	Pit Roto Selatan	196	0.020	127.4	0.013
2	Pit Roto Selatan	196	0.020	127.4	0.013
3	Pit Roto Selatan	78	0.008	51.0	0.005
4	Pit Roto Selatan	98	0.010	63.7	0.007
5	Pit Roto Selatan	98	0.010	63.7	0.007
6	Pit Roto Selatan	118	0.012	76.4	0.008
7	Pit Roto Selatan	78	0.008	51.0	0.005
8	Pit Roto Selatan	470	0.048	305.5	0.031
9	Pit Roto Selatan	470	0.048	305.5	0.031

Analisis statistik deskriptif nilai PPA dapat dilihat pada **Tabel 7**.

**Tabel 7.** Statistik Deskriptif Nilai PPA

Statistik PPA	
Mean	0,020
Standard Deviation	0,01623402
Minimum	0,008
Maximum	0,047910296
N	9

Analisis statistik deskriptif nilai amaks dapat dilihat pada **Tabel 8**.

**Tabel 8.** Statistik Deskriptif Nilai amaks

Statistik amaks	
Mean	0,013
Standard Deviation	0,010552113
Minimum	0,0052
Maximum	0,031141692
N	9

### 4.3 ANALISIS KESTABILAN LERENG

Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan metode kesetimbangan batas yaitu metode Bishop Simplified. Serta penyelesaian perhitungan dibantu dengan menggunakan perangkat lunak (*software Roscience Slide*).<sup>[14]</sup> Nilai faktor keamanan Statis minimum berdasarkan pada *standart operating procedure* PT. Kideco Jaya Agung untuk menilai kestabilan model lereng keseluruhan (*overall slope*) yang dapat diterima ialah (FK)  $\geq 1,3$ . Selain faktor keamanan stabilitas model lereng juga diperhitungkan dari probabilitas kelongsorannya, berdasarkan pada *standart operating procedure* PT. Kideco Jaya Agung probabilitas kelongsoran maksimum yang dapat diterima untuk lereng keseluruhan (*overall slope*) adalah  $\leq 5\%$ .

#### 4.3.1 Analisis Kestabilan Lereng High Wall Sisi Barat Penampang A

##### 4.3.1.1 Analisis Topografi Aktual Maret 2019

Analisis dilakukan terhadap topografi aktual bulan maret 2019 dengan tujuan untuk mencari nilai faktor keamanan (FK) dan probabilitas kelongsoran (PK). Analisis dilakukan pada penampang A serta berdasarkan parameter *material properties* yang diperoleh dari data uji laboratorium pada **Tabel 5**. Hasil analisis Analisis Topografi Aktual Maret 2019 diketahui bahwa tinggi *overall slope* yaitu 135 meter, kemiringan *overall slope*  $14^\circ$ , dengan nilai faktor keamanan 1,661 dan probabilitas kelongsoran 0% (**Gambar 8**).



**Gambar 8.** Analisis Topografi Aktual Penampang A Area High Wall

##### 4.3.1.2 Analisis Balik Topografi Aktual Maret 2019

Analisis balik dilakukan terhadap topografi aktual bulan maret 2019 dengan tujuan untuk mendapatkan parameter

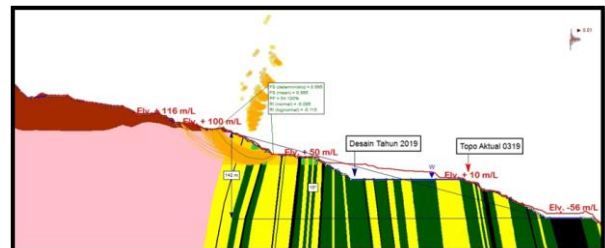
yang mendekati kondisi aktual. Untuk material properties yang digunakan pada analisis balik ini yaitu nilai  $c$  dan  $\phi$  berada pada 60% dari nilai kondisi aslinya (*peak*), untuk material mudstone nilai dari  $c$  sebesar 79,2 kPa dan  $\phi$  sebesar  $16,11^\circ$  untuk material sandstone nilai dari  $c$  sebesar 87,6 kPa dan  $\phi$  sebesar  $17,37^\circ$  sehingga didapatkan nilai faktor keamanan yang dapat mendekati kondisi aktual, nilai FK yang didapatkan sebesar 1,016 dan nilai PK yang didapatkan sebesar 39,90%. Untuk parameter analisis balik dapat dilihat pada **Tabel 9**.

**Tabel 9.** Parameter Back Analysis Material

Material Properties	%	c (kPa)	$\phi$ ( $^\circ$ )
Mudstone	60%	74,25	14,33
Sandstone	60%	78,60	18,07

##### 4.3.1.3 Analisis Desain Tahun 2019

Analisis dilakukan terhadap desain tahunan 2019 dengan tujuan untuk mencari nilai faktor keamanan (FK) dan probabilitas kelongsoran (PK). Dalam analisis desain tahunan ini mengikuti geometri yang diberikan oleh *development departement*. Analisis dilakukan pada penampang A serta berdasarkan parameter *material properties* yang diperoleh dari data uji laboratorium pada **Tabel 5**. Hasil analisis Analisis Desain Tahun 2019 diketahui bahwa tinggi *overall slope* yaitu 142 meter, kemiringan *overall slope*  $15^\circ$ , dengan nilai faktor keamanan 0,995 dan probabilitas kelongsoran 54,100% (**Gambar 9**).



**Gambar 9.** Analisis Desain Tahunan 2019 Penampang A Area High Wall

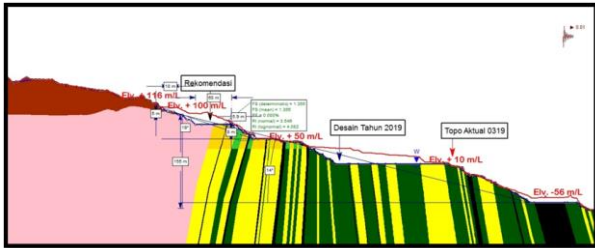
##### 4.3.1.4 Rekomendasi Geometri Lereng High Wall Sisi Barat Penampang A

Rekomendasi geometri lereng baru yang berpedoman pada geometri desain tahun 2019 berdasarkan *standard operating procedure* perusahaan yaitu tinggi vertikal (*bench height*) slope maksimal 8 meter, lebar jenjang (*bench width*) minimal 5,9 meter dan sudut individual (*single slope*)  $45^\circ$ . Penentuan lebar jenjang tetap mempertimbangkan laju produksi yang diinginkan, dimensi serta jumlah alat angkut dan alat muat, aktivitas pengeboran-peledakan dan kondisi geologi sekitar pit berdasarkan ketentuan perusahaan yaitu minimal 3,5 kali dari lebar alat angkut.

Pada area penampang A diberikan rekomendasi dimana *overall slope* sebesar  $14^\circ$  dan per *interramp* sebesar  $19^\circ$



sedangkan untuk *single slope* pada setiap *bench* sebesar  $45^\circ$  dan *single slope* pada setiap *bench disposal area* sebesar  $30^\circ$  diharuskan untuk membuat *bench* lebar sebesar 60 meter pada *bench* ketiga pada elevasi 74 mdpl. Berikut ini rekapitulasi rekomendasi geometri lereng penampang A pada **Tabel 10**. dan hasil analisis desain geometri rekomendasi pada **Gambar 10**.



**Gambar 10.** Rekomendasi Geometri Lereng Penampang A Area High Wall

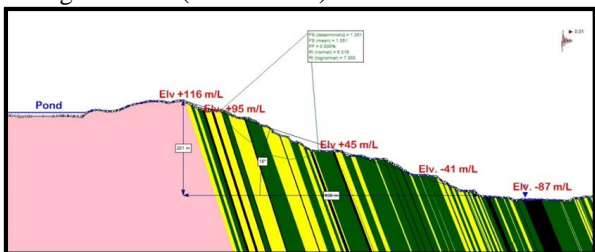
**Tabel 10.** Rekomendasi Geometri Lereng Penampang A

Rekomendasi Geometri Lereng Desain 2019								
Elevasi	Tinggi (h)	Lebar (b)	Sudut ( $^\circ$ )	Interramp Slope ( $^\circ$ )	Overall Slope ( $^\circ$ )	Keterangan	FK	PK (%)
100	-	95	5	10	30	Bench	1.35	0.00%
95	-	90	5	10	30	Bench		
90	-	82	8	5.9	45	Bench		
82	-	74	8	5.9	45	Bench		
74	-	66	8	60	45	Bench Lebar		
66	-	58	8	5.9	45	Bench		
58	-	50	8	5.9	45	Bench		

#### 4.3.2 Analisis Kestabilan Lereng High Wall Sisi Barat Penampang B

##### 4.3.2.1 Analisis Topografi Aktual Maret 2019

Analisis dilakukan terhadap topografi aktual bulan maret 2019 dengan tujuan untuk mencari nilai faktor keamanan (FK) dan probabilitas kelongsoran (PK). Analisis dilakukan pada penampang B serta berdasarkan parameter *material properties* yang diperoleh dari data uji laboratorium pada **Tabel 5**. Hasil analisis Analisis Topografi Aktual Maret 2019 diketahui bahwa tinggi *overall slope* yaitu 201 meter, kemiringan *overall slope*  $18^\circ$ , dengan nilai faktor keamanan 1,351 dan probabilitas kelongsoran 0% (**Gambar 11**).

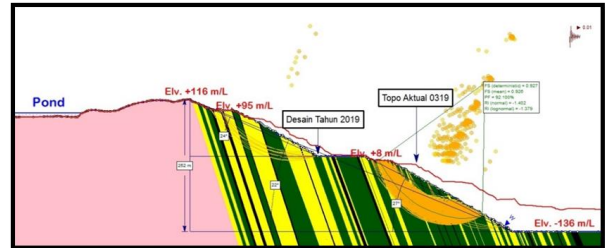


**Gambar 11.** Analisis Topografi Aktual Penampang B Area Low Wall

##### 4.3.2.2 Analisis Desain Tahun 2019

Analisis dilakukan terhadap desain tahunan 2019 dengan tujuan untuk mencari nilai faktor keamanan (FK) dan probabilitas kelongsoran (PK). Dalam analisis desain tahunan ini mengikuti geometri yang berikan oleh

*development departement*. Analisis dilakukan pada penampang B serta berdasarkan parameter *material properties* yang diperoleh dari data uji laboratorium pada **Tabel 5**. Hasil analisis Analisis Desain Tahun 2019 diketahui bahwa tinggi *overall slope* yaitu 252 meter, kemiringan *overall slope*  $22^\circ$ , dengan nilai faktor keamanan 0,926 dan probabilitas kelongsoran 92,100% (**Gambar 12**).

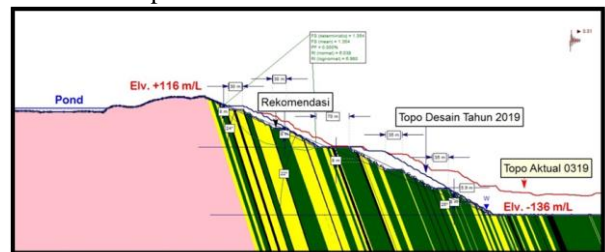


**Gambar 12.** Analisis Desain Tahunan 2019 Penampang B Area Low Wall

#### 4.3.2.3 Rekomendasi Geometri Lereng High Wall Sisi Barat Penampang B

Rekomendasi geometri lereng baru yang berpedoman pada geometri desain tahun 2019 berdasarkan *standard operating procedure* perusahaan yaitu tinggi vertikal (*bench height*) slope maksimal 8 meter, lebar jenjang (*bench width*) minimal 5,9 meter dan sudut individual (*single slope*)  $45^\circ$ . Penentuan lebar jenjang tetap mempertimbangkan laju produksi yang diinginkan, dimensi serta jumlah alat angkut dan alat muat, aktivitas pengeboran-peledakan dan kondisi geologi sekitar pit berdasarkan ketentuan perusahaan yaitu minimal 3,5 kali dari lebar alat angkut.

Pada area penampang B diberikan rekomendasi dimana *overall slope* sebesar  $22^\circ$  dan per *interramp* sebesar  $24^\circ$  dan  $25^\circ$  sedangkan untuk *single slope* pada setiap *bench* sebesar  $45^\circ$ , diharuskan untuk membuat *bench* lebar sebesar 30 meter pada setiap *bench* kelima pada *interramp* pertama dan 35 meter pada setiap *bench* kelima dan ketujuh pada *interramp* kedua. Berikut ini rekapitulasi rekomendasi geometri lereng penampang A pada **Tabel 11**. dan hasil analisis desain geometri rekomendasi pada **Gambar 13**.



**Gambar 13.** Rekomendasi Geometri Lereng Penampang B Area Low Wall

**Tabel 11. Rekomendasi Geometri Lereng Penampang B**

Rekomendasi Geometri Lereng Desain 2019							FK	PK (%)
Elevasi	Tinggi (h)	Lebar (b)	Sudut (°)	Interramp Slope (°)	Overall Slope (°)	Keterangan		
96	- 88	8	5,9	24	24	Bench	1,35	0%
88	- 80	8	30			Bench Lebar		
80	- 72	8	5,9			Bench		
72	- 64	8	5,9			Bench		
64	- 56	8	5,9			Bench		
56	- 48	8	5,9			Bench		
48	- 40	8	30			Bench Lebar		
40	- 32	8	5,9			Bench		
32	- 24	8	5,9			Bench		
24	- 16	8	5,9			Bench		
16	- 8	8	5,9			Bench		
8	- 0	8	5,9			Bench		
0	- -8	8	70			Bench Lebar		
-8	- -16	8	5,9			Bench		
-16	- -24	8	5,9	Bench				
-24	- -32	8	5,9	Bench				
-32	- -40	8	5,9	Bench				
-40	- -48	8	35	Bench Lebar				
-48	- -56	8	5,9	Bench				
-56	- -64	8	5,9	Bench				
-64	- -72	8	5,9	Bench				
-72	- -80	8	5,9	Bench				
-80	- -88	8	35	Bench Lebar				
-88	- -96	8	5,9	Bench				
-96	- -104	8	5,9	Bench				
-104	- -112	8	5,9	Bench				
-112	- -120	8	5,9	Bench				
-120	- -128	8	5,9	Bench				
-128	- -136	8	5,9	Bench				

## 5 Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

1. Hasil analisis kondisi lereng aktual dan desain tahun 2019

Penampang A berada pada keadaan *warning*, hal ini ditandai dengan analisis topografi aktual menggunakan material *peak* uji laboratorium, dimana diperoleh nilai FK 1,661 dengan PK 0,000%, dikarenakan hasil analisis tidak sesuai dengan kondisi aktual, maka diperlukan analisis balik. Ketinggian lereng *high wall* aktual yaitu 135 meter dengan kemiringan yaitu 14°.

Analisis desain tahun 2019 dilakukan untuk mengetahui kestabilan lereng pada penampang A, dimana hasil dari analisis yang dilakukan berada pada zona *failure* (FK < 1.0) yaitu nilai FK 0,995 dan nilai PK 54,100 %.

Penampang B *low wall* diidentifikasi terdapat kolam pada bagian *crest* lereng *low wall* penampang B yang dapat mempengaruhi kestabilan lereng. Analisis diawali dengan analisis topografi aktual menggunakan material *peak* uji laboratorium didapatkan nilai FK yaitu 1,351 dengan PK yaitu 0,000%. Ketinggian lereng *low wall* aktual dengan ketinggian lereng *low wall* aktual yaitu 201 meter dengan kemiringan yaitu 18°.

Analisis dari desain tahun 2019 dilakukan untuk mengetahui kestabilan lereng pada penampang B, dimana hasil dari analisis yang dilakukan berada pada zona *failure* yaitu nilai FK 0,926 dan nilai PK 92,100%.

2. Parameter analisis balik

Untuk material properties yang yang digunakan pada analisis balik ini yaitu nilai c dan Ø berada pada 60% dari nilai kondisi asli nya (*peak*), untuk material *mudstone* nilai dari c sebesar 79,2 kPa dan Ø sebesar 16,11° untuk material *sandstone* nilai dari c sebesar 87,6 kPa dan Ø sebesar 17,37° sehingga didapatkan

nilai faktor keamanan yang dapat mendekati kondisi aktual, nilai FK yang didapatkan sebesar 1,016 dan nilai PK yang didapatkan sebesar 39,90%.

3. Rekomendasi geometri lereng

Rekomendasi geometri lereng baru pada penampang A yang berpedoman kepada desain tahun 2019 dan *standard operating procedure* perusahaan yaitu untuk *single slope* setiap *bench* sebesar 45°, *single slope waste dump* sebesar 30°, diharuskan membuat *bench* lebar sebesar 50 meter untuk menahan beban yang diterima pada kaki lereng pada elevasi ke 74 mdpl sebesar 60 meter, untuk *overall slope* pada lokasi ini sebesar 14° dan nilai FK yang didapatkan sebesar 1,356 dan nilai PK yang didapatkan sebesar 0,000%.

Rekomendasi geometri lereng baru pada penampang B yang berpedoman kepada desain tahun 2019 dan *standard operating procedure* perusahaan yaitu untuk *single slope* setiap *bench* sebesar 45°, diharuskan membuat *bench* lebar sebesar 35 meter pada elevasi -80 mdpl, 35 meter pada elevasi -40 mdpl, 70 meter pada elevasi 0 mdpl, 30 meter pada elevasi 48 mdpl, 30 meter pada elevasi 88 mdpl untuk menahan beban yang diterima pada kaki lereng, untuk *overall slope* pada lokasi ini sebesar 22° dan nilai FK yang didapatkan sebesar 1,354 dan nilai PK yang didapatkan sebesar 0,000%.

### 5.2 Saran

1. Perubahan geometri lereng yang sesuai rekomendasi, dilakukan dengan merubah geometri lereng yang ada dengan mengikuti rekomendasi desain yang telah dibuat untuk menjaga kestabilan lereng.
2. Pengukuran muka air tanah menggunakan piezometer diperlukan untuk mengetahui elevasi muka air tanah pada lokasi ini.
3. Pengendalian air permukaan maupun air tanah dilakukan untuk mengurangi terjadinya erosi dengan membuat parit untuk mengarahkan aliran air pada lereng, air tanah sangat berpengaruh terhadap penurunan kekuatan material lereng, sehingga perlu dilakukan kontrol air tanah dengan cara memasang drain hole untuk mengurangi elevasi air tanah.
4. Pengamatan lereng secara intensif perlu dilakukan untuk mengetahui adanya pergerakan badan lereng secara intensif dengan alat pemantau lereng.

### Daftar Pustaka

- [1] Rahim, A., Heriyadi, B., & Anaperta, Y. M. (2015) Analisis Kestabilan Lereng untuk Menentukan Geometri Lereng pada Area Penambangan Pit Muara Tiga Besar Sealatan PT. Bukit Asam (Persero) Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Bina Tambang, 2(1), 271-284.
- [2] Putra, S., & Heriyadi, B. (2019). 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. *Bina Tambang*, 4(1), 59-70.
- [3] Pane, R. A., & Anaperta, Y. M. (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. *Bina Tambang*, 4(3), 218-232.
- [4] Saptono, Singgih. Pengembangan Metode Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Karakterisasi Batuan di Tambang Terbuka Batubara. Disertasi tidak diterbitkan. Bandung: ITB (2012).
- [5] Karyono. Kemantapan Lereng Batuan. Hand out. Diklat Perencanaan Tambang Terbuka UNISBA (2004).
- [6] Wyllie, Duncan C., & Christopher W. Mah. *Rock Slope Engineering: Civil and Mining*. 4rd. (ed). New York: Spoon Press (2004).
- [7] Arif, I. I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Gramedia Jakarta : Pustaka Utama.
- [8] Bishop, A w. 1955. The Use the slip circle in the Stability Analysis of Slopes. *Geotechnique*, vol. 5, No. 1.
- [9] Yusuf, A. Muri. *Metodologi Penelitian Teliti & Hati-hati*. Jakarta: Prenamedia Group (2005).
- [10] Helky Sandra & Yoszi Mingsi Anaperta. "Analisis Kestabilan Lereng Studi Kasus Area Tambang Rakyat Bukit TUI S 0°28'43.15" E100°24'16.24"-S0°28'43.15" E100°24'15.28" Kecamatan Padang Panjang Barat Kabupaten Padang Panjang". *Jurnal. Bina Tambang* 3(4).
- [11] Masagus A., dkk. Analisis Risiko Kestabilan Lereng Tambang Terbuka (Studi Kasus Tambang Mineral X. Paper. Prosiding Simposium dan Seminar Geomekanika Ke-1 Vol.4 No.1 (2012).
- [12] Marini, A. E., & Anaperta, Y. M. (2019). Analisis Kestabilan Lereng Area Highwall Section B Tambang Batubara PT. Manggala Usaha Manunggal Jobsite Pt. Banjarsari Pribumi, Kecamatan Merapi Timur, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan. *Bina Tambang*, 4(4), 80-89.
- [13] Fikri, M Adli dan Bambang Heriyadi. Analisis Stabilitas Lereng Pada Pit Tambang Air Laya Barat Section C-C' PT. Bukit Asam Tbk. Sumatera Selatan. *Jurnal Bina Tambang* 3(2), (2018)
- [14] Wardana, Novandri Kusuma, dkk. Aplikasi Pendekatan Probabilistik Dalam Analisis Kestabilan Lereng Pada Daerah Dinding Lowwall PT. Amman Mineral Nusa Tenggara. *Proceeding Seminar Nasional Geomekanika-IV*, Padang (2017).