

# “Analisis Kestabilan Lereng Untuk Perencanaan Optimalisasi Penambangan Pada Lokasi Tambang Air Laya (TAL) Barat PT. Bukit Asam Tbk”.

Aprilian Susanto<sup>1\*</sup>, Drs. Bambang Heriyadi, M.T.<sup>\*\*</sup>

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

\*[apriliansusanto93@gmail.com](mailto:apriliansusanto93@gmail.com)

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

**Abstract** PT. Bukit Asam Tbk is one of the largest coal mining companies in Indonesia which has several mining locations, one of which is the Air Laya Barat Mine. Currently, the depth of the Air Laya Barat Mine is -57 m in section A-A'. In order for coal production to increase in the next quarter, the TAL Barat pit mining plan will optimize to a depth of -80 m because there is still coal that allows it to be mined. In the optimization plan, important things that need to be analyzed, one of which is the slope safety factor, the method used in this research is the bishop method. As a result of the research the conclusions are as follows. First, the weight of OB ( $\gamma$ ) = 20.07 kN / m<sup>3</sup>, cohesion ( $c'$ ) = 25.20 kPa and the inner angle of shear ( $\theta$ ) = 41,63°. Weight of Lower C ( $\gamma$ ) = 23.52 kN / m<sup>3</sup>, cohesion ( $c'$ ) = 22.55 kN / m<sup>2</sup> and inner shear angle ( $\phi'$ ) = 40,59°. Second, for modeling using the Geostudio Slope / W 2012 program with FK Overall Slope is 2,788. So that the stability of the slope against the optimization plan from a depth of -57 m to a depth of -80 m is still safe to continue

Keywords: Optimization, Bishop Method, Safety factor recommendation

## 1 Pendahuluan

PT. Bukit Asam Tbk merupakan salah satu perusahaan tambang batubara terbesar di Indonesia berlokasi di Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. PT. Bukit Asam Tbk memiliki tiga lokasi penambangan yaitu lokasi tambang Air Laya, tambang Banko Barat dan tambang Muara Tiga Besar. Lokasi Tambang Air Laya dibagi menjadi 3 pit penambangan yaitu pit TAL Barat, TAL Utara dan *Townsite Basecamp (TSBC)* [1].

Sistem penambangan yang digunakan PT. Bukit Asam Tbk pada lokasi Tambang Air Laya Barat dilakukan dengan sistem penambangan terbuka (*open pit*) dengan sistem jenjang, dimana kestabilan lereng (*slope stability*) merupakan salah satu faktor utama dalam penambangan *open pit* yang perlu mendapatkan perhatian serius. Oleh karena itu analisis kestabilan lereng merupakan suatu bagian yang penting untuk mencegah terjadinya gangguan-gangguan terhadap kecelakaan produksi maupun terjadinya bencana yang berakibat fatal.

Pada triwulan I (satu) produksi batubara yang direncanakan ditambang dari pit TAL Barat sejumlah 530.000 Ton. Dikarenakan untuk menambah jumlah volume batubara maka diperlukan optimasi di lokasi Pit

TAL Barat agar kebutuhan produksi batubara lebih besar dan juga dapat menghasilkan penambahan *profit* perusahaan dari hasil optimasi yang dilakukan. Hasil RKAP

Pada kondisi aktual lokasi penambangan pit TAL Barat saat ini telah mencapai kedalaman -57 m dengan FK 1,402 pada *section A-A'*. Supaya produksi batubara meningkat pada triwulan selanjutnya maka perencanaan penambangan pit TAL Barat akan melakukan rencana optimalisasi sampai kedalaman -80 m karena masih terdapat batubara yang memungkinkan untuk bisa ditambang, kegiatan optimalisasi ini akan menyebabkan perubahan geometri lereng dari bentuk yang semula landai menjadi terjal, sehingga mengakibatkan faktor keamanan menurun dan kondisi awal. Dengan adanya penurunan faktor keamanan lereng akan menyebabkan potensi longsor yang semakin meningkat [2].

## 2 Kajian Teori

### 2.1. Optimasi Desain Tambang Terbuka

Optimasi desain penambangan secara *Open-Pit* bisa dilakukan dengan cara menurunkan nilai

*Stripping Ratio* (SR) dari galian. *Stripping Ratio* merupakan perbandingan antara volume tanah yang dikupas dengan tonase Batubara atau bijih yang ditambang. Semakin kecil nilai SR nya maka semakin optimal kegiatan penambangan yang dilakukan, karena biaya yang diperlukan untuk pengupasan tanah untuk menghasilkan 1 ton batubara atau 1 m<sup>3</sup>bijih lebih rendah[2].

$$SR = \frac{VolumeOverburden (m^3)}{TonaseBatubara(Ton)atau vol. Bijih (m^3)}$$

Untuk menurunkan nilai SR dapat dilakukan dengan berbagai macam cara yaitu diantaranya dengan menambah volume Batubara tanpa mengupas tanah / *Overburden* (OB) atau disebut dengan cara mengoptimalkan jenjang / *bench* yang ada. Dimensi jenjang tambang dan *berm* yang dibentuk akan sangat mempengaruhi volume OB yang harus dikupas. Semakin lebar *berm* akan semakin banyak volume OB yang harus dikupas dan semakin kecil sudut jenjang yang dibentuk maka OB yang harus dikupas volumenya akan semakin tinggi. Optimasi yang bisa dilakukan adalah dengan cara memperpendek lebar *berm* dan memperbesar sudut *bench* tanpa mengabaikan factor keamanan jenjang dengan cara meperhitungkan factor keamanan lereng (FK) dari kajian geoteknik nya. Maka dengan melakukan kedua hal tersebut tanah yang harus dikupasa akan lebih menurun volume nya[3].

Kestabilan dari suatu lereng, baik lereng alami maupun lereng buatan manusia dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain gaya-gaya penahan, gayagaya penggerak, dan orientasi dari struktur geologi. Apabila gaya penahan lebih besar dari gaya penggeraknya, maka lereng tersebut berada dalam keadaan stabil, namun apabila gaya penahannya lebih kecil dari gaya penggerak maka lereng tersebut dalam keadaan tidak stabil dan longsoran akan terjadi. Orientasi dari struktur geologi yang terdapat pada suatu lereng juga sangat mempengaruhi kestabilan dari lereng tersebut. Pada umumnya, dengan adanya struktur geologi suatu lereng akan cenderung memiliki sifat yang tidak stabil. Maka dari itu perlu dilakukan analisis terhadap kestabilan lereng. Berikut adalah beberapa langkah yang dapat dilakukan untuk mengetahui kestabilan dari lereng[3].

2.1.1 Analisis Kinematika

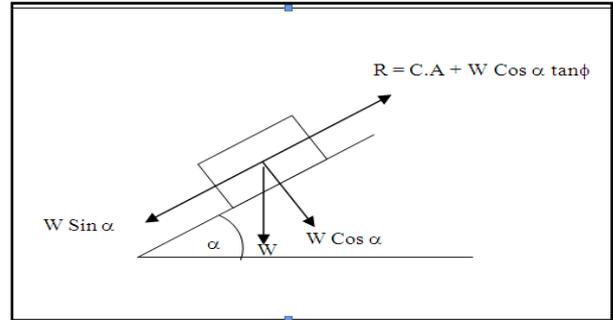
Berdasarkan analisis kinematika ini, maka tipe keruntuhan lereng dapat dibagi menjadi empat yaitu *Circular Failure*, *Plane failure*, *Wedge failure* dan *Toppling failure* (Wyllie & Mah, 2004).

2.1.2 Mekanisme Dasar Terjadinya Longsor

Lereng merupakan bagian dari permukaan bumi yang berbentuk miring. Sedangkan kestabilan lereng didefinisikan sebagai suatu keadaan yang stabil terhadap suatu bentuk dan dimensi dari lereng. Dalam keadaan alamiah, masa tanah dan batuan di permukaan bumi baik yang berbentuk lereng atau bukan umumnya

berada dalam keadaan seimbang terhadap gaya yang timbul dari dalam. Akan tetapi apabila terjadi gangguan tertentu sampai menyebabkan lereng mengalami perubahan kesetimbangan misalnya akibat pengangkatan, penurunan, pengalihan, penimbunan, erosi atau aktifitas lainnya maka masa batuan tersebut akan bergerak sampai mendapatkan kesetimbangan yang baru.

Berikut contoh dari gaya yang bekerja pada bidang miring :



Gambar 1. Gaya-gaya yang bekerja pada bidang miring

Gambar di atas memperlihatkan gaya-gaya yang bekerja pada suatu massa yang berada pada bidang miring. Dari gambar di atas diketahui bahwa:

- a) Benda akan meluncur bila  $W \sin \alpha > R$
- b) Benda dalam keadaan kritis jika  $W \sin \alpha = R$
- c) Benda akan mantap bila  $W \sin \alpha < R$

Dari konsep persamaan *Mohr-Coulumb* diketahui :

$$\tau = c + \sigma n \tan \phi \dots\dots\dots(1)$$

$$\sigma n = W \cos \alpha / A \dots\dots\dots(2)$$

Maka diperoleh

$$\tau = c + \frac{W \cos \alpha}{A} \tan \theta \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- $\tau$  = kuat gesar (kN/m<sup>3</sup>)
- $\phi$  = sudut geser dalam ( $^{\circ}$ )
- C = kohesi (kN/m<sup>2</sup>)
- W = berat blok (kN)
- A = luas permukaan bidang lincir (m<sup>2</sup>)
- R = gaya penahan (kN)

Pada prinsipnya ada dua gaya yang mempengaruhi kestabilan suatu lereng, yaitu gaya penahan dan gaya penggerak. Apabila gaya penggerak lebih besar dari gaya penahannya, maka lereng itu akan longsor. Untuk menyatakan kestabilan suatu lereng dikenal istilah faktor keamanan (FK), yaitu perbandingan antara gaya penahan dengan gaya penggerak. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dan studi-studi yang menyeluruh tentang kelongsoran, maka dibagi tiga kelompok rentang Faktor Keamanan (FK) ditinjau dari intensitas kelongsorannya (Bowles Joseph, 1989) sebagai berikut[5].:

- FK ≤ 1,0 longsor sering terjadi
- 1,07 < FK < 1,25 longsor pernah terjadi
- FK ≥ 1,25 longsor jarang terjadi

1.1.3 Faktor Keamanan

Salah satu cara untuk menyatakan tingkat kestabilan suatu lereng adalah dengan menghitung Faktor Keamanan Lereng. Faktor ini merupakan perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng tetap stabil, dengan gaya penggerak yang menyebabkan terjadinya longsor. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dan studi tentang kestabilan lereng diperoleh tiga kelompok rentang Faktor Keamanan (FK) yang ditinjau dari intensitas kelongsorannya menurut Bowles pada tahun 1989. Berikut merupakan tabel factor keamanan lereng menurut Bowles (1989)[7].:

Tabel 1. Faktor Kemanan Lereng menurut Bowles (1989)

NILAI FAKTOR KEAMANAN	KEJADIAN / INTENSITAS LONGSOR
FK kurang dari 1,07	Longsor biasa/sering terjadi (Lereng Labil)
FK antara 1,07 sampai 1,25	Longsor pernah terjadi (Lereng Kritis)
FK diatas 1,25	Longsor jarang terjadi ( Lereng Relatif Stabil)

Menurut Keputusan Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM 2018 pengolahan data hasil penyelidikan geoteknik dan pengujian contoh geoteknik yang menggambarkan model dengan parameter yang ditetapkan dari hasil butir a) dan b) probabilitas longsor sebagaimana tabel berikut:

Tabel 2. Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang

Jenis Longsor	Keparahan Longsor (Consequences of Failure/Cof)	Kriteria dapat diterima (Acceptance Criteria)		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (Min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (Min)	Probabilitas Longsor (maks) poF (FK ≤ 1)
Lereng Tunggal	Rendah s.d. Tinggi	1,1	Tidak ada	25-50%
	Rendah	1,15-1,2	1,0	25%
Inter-ramp	Menengah	1,2-1,3	1,0	20%
	Tinggi	1,2-1,3	1,1	10%
Lereng Keseluruhan	Rendah	1,2-1,3	1,0	15-20%
	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3-1,5	1,1	5%

1.1.4 Faktor Yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Menurut Karyono dalam modul Diklat Perencanaan Tambang Terbuka (2004:1-2), faktor yang mempengaruhi kemantapan lereng batuan, antara lain:

- a) Geometri lereng
- b) Struktur batuan
- c) Kandungan air tanah
- d) Berat yang ditanggung oleh lereng
- e) Sifat fisik dan Mekanik batuan
- f) Gaya dari luar

3 Metodologi Penelitian

Pelaksanaan penelitian mengenai analisis kestabilan lereng untuk perencanaan optimalisasi penambangan pada lokasi tambang air laya barat PT. Bukit Asam, Tbk.

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang penulis lakukan yaitu penelitian terapan. Jenis penelitian ini disebut juga *Applied Research*. Penelitian terapan merupakan jenis penelitian menekankan akan penerapan ilmu-ilmu teoritis dalam penyelesaian masalah di lapangan. Menurut Yusuf (2005), penelitian terapan adalah penelitian yang lebih menekankan pada penerapan ilmu, aplikasi ilmu, ataupun penggunaan ilmu dalam masyarakat, ataupun untuk keperluan tertentu (Industri, usaha dll). Penelitian ini merupakan suatu kegiatan yang sistematis dan logis dalam angka menemukan sesuatu yang baru atau aplikasi baru dari penelitian-penelitian yang telah pernah dilakukan selama ini.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Data primer merupakan data yang diamati dan diambil seperti Kadar air Cara melakukan pengujian kadar air adalah pertama-tama kita siapkan timbangan elektronik, beberapa cawan kosong yang sudah kita bersihkan, dan oven. Timbang berapa berat cawan kosong selanjutnya timbang berat cawan kosong + tanah sampel lalu kita masukan cawan + sampel kedalam oven. Lalu kita keringkan tunggu sampai 5 jam selanjutnya kita timbang berat cawan + sampel, lalu kita keringkan lagi sampai 2 jam lalu kita timbang berat cawan + sampel, masukkan lagi cawan + sampel tunggu 2 jam lagi lalu kita timbang berapa berat cawan + sampel, selanjutnya kita keringkan lagi cawan + sampel selama 2 jam timbang lagi. Setelah kita merasa yakin kalau sampel benar-benar kering berdasarkan 3 kali pengeringan ulang dan hasilnya sama maka sampel sudah dinyatakan kering. Lakukan pengujian kadar air untuk masing-masing sampel tanah yang kita bawa dari lapangan. Adapun rumus perhitungan untuk memperoleh kadar air adalah sebagai berikut :

$$\omega = \frac{Ww - Dw}{Dw - Tw} \times 100\%$$

Dimana:

- Ww = berat tanah basah + cawan
- Dw = berat tanah kering + cawan
- Tw = berat cawan
- ω = kadar air dinyatakan dalam persen

Bobot isi tanah dan bobot isi kering, cara pengujian bobot isi tanah dan bobot isi kering. Siapkan timbangan elektronik, cincin untuk sampel uji, selanjutnya timbang berat cincin kosong, hitung berapa volume cincin sampel. Langkah selanjutnya sampel yang sudah kita bawa dari lapangan selanjutnya kita cetak kedalam cincin uji timbang berat cincin + sampel. Semua data yang kita dapatkan kita masukkan kedalam

tabel yang telah kita siapkan sebelumnya, lakukan pengujian bobot isi sebanyak 3 kali untuk masing-masing sampel, agar bisa didapatkan perbandingan sehingga bisa diketahui angka bobot isi rata-rata nantinya. Data hasil pengujian bobot ini kemudian kita lakukan perhitungan untuk mendapatkan bobot isi kering masing-masing sampel dengan rumus:

$$\text{Berat isi } (\gamma) = \frac{W_2 - W_1}{V} \text{ gram/cm}^3$$

Keterangan:

- W2 = timbang cincin + tanah
- W1 = cincin dalam keadaan bersih
- V = volume

Uji Geser Langsung, cara pengujiannya siapkan alat pengujian kuat geser, lalu cetak sampel tanah kedalam cincin kuat geser lalu padatkan, selanjutnya masukkan cincin + sampel kedalam alat kuat geser, kunci lah alat kuat geser tersebut. Selanjutnya masukan air secara perlahan pada wadah alat kuat geser hingga penuh, kasih pemberat berupa piringan baja seberat 3 kg. Lalu putar alat kuat geser dan lihat jarum pada pembaca alat kuat geser sampai berapa dia berhenti. Selanjutnya catat pada angka berapa jarumnya berhenti. Lakukan pengujian tersebut sebanyak 3 kali dengan penambahan beban sebanyak 3 kg, 6 kg dan 9 kg lalu catat lah hasil pengujian tersebut. Uji geser langsung ini menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Luas} = \frac{1}{4} \Pi d^2$$

Dimana :

- $\frac{1}{4}$  = Ketentuan rumus
- $\Pi$  = Jari-jarilingkaran
- d2 = Diameter dalam cincin

$$\text{Tegangan geser } (\tau) = \frac{S}{A}$$

Dimana :

- $\tau$  = Tegangan geser
- S = Gaya geser
- A = Luas cincin

$$\text{Tegangan normal } (\sigma) = \frac{N}{A}$$

Dimana :

- $\sigma$  = Tegangan normal
- N = Berat normal
- A = Luas cincin

Data sekunder merupakan data-data yang diperoleh dari PT. Bukit Asam untuk mendukung data-data penelitian, seperti:

- a. Data curah hujan
- b. Stratigrafi dan lithologi
- c. Peta lokasi kesampaian daerah
- d. Desain rencana *pit* penambangan
- e. Peta Penampang (*Cross section*)

### 3.3. Teknik Analisis Data

Setelah data didapatkan maka selanjutnya adalah pengelompokan dan pengolahan data, dikarenakan penelitian terdiri dari beberapa variabel, maka data

harus dikelompokkan sesuai dengan tahapan pengerjaannya. Adapun yang dilakukan pada tahapan ini adalah :

1. Pengujian penentuan bobot isi kering dan bobot isi jenuh.
2. Pengujian kohesi dan sudut geser dalam.
3. Desain rancangan lereng *Pit*.

Setelah semua data yang ada diolah selanjutnya dilakukan pemodelan. Pemodelan meliputi:

1. Memasukan model lereng kedalam Program *Geostudio Slope/W 2012*.
2. Menghitung faktor keamanan lereng dengan Program *Geostudio Slope/W 2012* dari elevasi 57 hingga elevasi -57 dan melakukan analisis optimalisasi dari elevasi -57 hingga elevasi -80.

## 4 Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Data Analisis

#### 4.1.1. Data Kadar Air

Tabel 3. Data Uji Kadar Air OB

No	Berat cawan (gram)	Berat cawan + tanah basah (gram)	Berat cawan + tanah setelah dikeringkan (gram)
1	8,63	29,30	26,32
2	8,76	31,33	27,56
3	8,72	28,60	25,43

Tabel 4. Data Uji Kadar Air Lower C

No	Berat cawan (gram)	Berat cawan + tanah basah (gram)	Berat cawan + tanah setelah dikeringkan (gram)
1	8,75	25,72	20,84
2	8,80	25,09	20,44
3	8,52	27,81	22,35

#### a. Pengujian Kadar Air Sampel Tanah OB

Berdasarkan data kadar air OB yang terdapat pada tabel 6, dilakukan perhitungan menggunakan rumus seperti di tinjauan pustaka :

$$\omega = \frac{Ww - Dw}{Dw - Tw} \times 100\%$$

Dimana:

- Ww = berat tanah basah + cawan
- Dw = berat tanah kering + cawan
- Tw = berat cawan
- $\omega$  = kadar air dinyatakan dalam persen

Tabel 5. Data Hasil Uji Kadar Air OB

Contoh Uji	I	II	III
Nomor Cawan	1	2	3
Berat cawan (Tw) (gram)	8,63	8,73	8,72
Berat cawan + tanah basah (Ww) (gram)	29,30	31,33	27,39
Berat cawan + tanah setelah dikeringkan (Dw) (gram)	26,32	27,56	25,43
Berat Air (Ww-Dw) (gram)	2,98	3,77	3,17
Berat tanah kering (Dw-Tw) (gram)	17,69	18,8	16,71
Kadar air $\omega = \frac{Ww - Dw}{Dw - Tw} \times 100\%$	16,8	20	18,9
Kadar air rata-rata ( $\omega$ ), %	18,56		

b. Berikut ini data hasil pengujian dan perhitungan kadar air Sampel Tanah Lower C dapat dilihat pada tabel 4 dan tabel 7 dibawah ini :

Analisa Perhitungan

$$\omega = \frac{Ww - Dw}{Dw - Tw} \times 100\%$$

Dimana:

- Ww = berat tanah basah + cawan
- Dw = berat tanah kering + cawan
- Tw = berat cawan
- $\omega$  = kadar air dinyatakan dalam persen

**Tabel 6. Data Hasil Uji Kadar Air**

Contoh Uji	I	II	III
Nomor Cawan	7	8	9
Berat cawan (Tw) (gram)	8,75	8,80	8,52
Berat cawan + tanah basah (Ww) (gram)	25,71	25,19	27,79
Berat cawan + tanah setelah dikeringkan (Dw) (gram)	20,84	20,44	22,35
Berat Air (Ww-Dw) (gram)	4,88	4,6	5,46
Berat tanah kering (Dw-Tw) (gram)	12,09	11,64	13,83
Kadar air $\omega = \frac{Ww-Dw}{Dw-Tw} \times 100\%$	40,3	39,5	39,4
Kadar air rata-rata ( $\omega$ ), %	39,73		

4.1.2. Data Uji Berat Isi Tanah

**Tabel 7. Data Uji Berat Isi OB**

NO	Diameter cincin (cm)	Tebal cincin (cm)	Berat cincin kosong (W <sub>1</sub> ) (gram)	Berat cincin + tanah (W <sub>2</sub> ) (gram)	Volumecincin (cm <sup>3</sup> )
1	5,36	4,80	106,58	326,76	108,25
2	5,36	4,80	106,58	327,57	108,25
3	5,36	4,80	106,58	330,97	108,25

**Tabel 8. Data Uji Berat Isi Lower C**

NO	Diameter cincin (cm)	Tebal cincin (cm)	Berat cincin kosong (W <sub>1</sub> ) (gram)	Berat cincin + tanah (W <sub>2</sub> ) (gram)	Volumecincin (cm <sup>3</sup> )
1	5,36	4,80	106,58	365,11	108,25
2	5,36	4,80	106,58	392,01	108,25
3	5,36	4,80	106,58	342,32	108,25

a. Pengujian Bobot Isi Sampel Tanah OB  
Berdasarkan data bobot isi sampel OB yang terdapat pada tabel 7, dilakukan perhitungan menggunakan rumus seperti di tinjauan pustaka :

$$\text{Berat isi } (\gamma) = \frac{W_2 - W_1}{V} \text{ gram/cm}^3$$

Keterangan:

- W<sub>2</sub> = timbang cincin + tanah
- W<sub>1</sub> = cincin dalam keadaan bersih
- V = volume

**Tabel 9. Data Hasil Uji Berat Isi OB**

Contoh Uji	I	II	III
Nomor Cincin	1	1	1
Tebal Cincin ,t, (cm)	4,80	4,80	4,80
Diameter Cincin ,d, (cm)	5,36	5,36	5,36
Berat cincin kosong, W <sub>1</sub> (gram)	106,58	106,58	106,58
Berat cincin + tanah W <sub>2</sub> (gram)	326,76	327,57	330,97
Volume Cincin t x 0,25 π d <sup>2</sup> , (cm <sup>3</sup> )	108,25	108,25	108,25
Berat isi $(\gamma) = \frac{W_2 - W_1}{V}$ gram/cm <sup>3</sup>	2,033	2,041	2,072
Berat isi rata-rata $(\gamma)$ , (gram/cm <sup>3</sup> )	2,048		
Berat Isi Kering, $\gamma_d = \frac{\gamma}{(1+\omega)}$ (gram/cm <sup>3</sup> )	1,727		

b. Pengujian Berat Isi Sampel Lower C  
Analisa Perhitungan:

$$\text{Berat isi } (\gamma) = \frac{W_2 - W_1}{V} \text{ gram/cm}^3$$

Keterangan:

- W<sub>2</sub> = timbang cincin + tanah
- W<sub>1</sub> = cincin dalam keadaan bersih
- V = volume

**Tabel 10. Berat Isi Lower C**

Contoh Uji	I	II	III
Nomor Cincin	1	1	1
Tebal Cincin ,t, (cm)	4,80	4,80	4,80
Diameter Cincin ,d, (cm)	5,36	5,36	5,36
Berat cincin kosong, W <sub>1</sub> (gram)	106,58	106,58	106,58
Berat cincin + tanah W <sub>2</sub> (gram)	365,11	392,01	342,32
Volume Cincin t x 0,25 π d <sup>2</sup> , (cm <sup>3</sup> )	108,25	108,25	108,25
Berat isi $(\gamma) = \frac{W_2 - W_1}{V}$ gram/cm <sup>3</sup>	2,288	2,636	2,177
Berat isi rata-rata $(\gamma)$ , (gram/cm <sup>3</sup> )	2,400		
Berat Isi Kering, $\gamma_d = \frac{\gamma}{(1+\omega)}$ (gram/cm <sup>3</sup> )	1,652		

4.1.3 Data Uji Kuat Geser Langsung

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan parameter kekuatan tanah, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ). Berikut hasil pengujian geser langsung. Diameter : 6,37 cm, Luas : 31.85 cm<sup>2</sup>. Pengujian uji geser langsung dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini :



**Gambar 2. Uji Geser Langsung**

a. Pengujian Kuat Geser Langsung Material Tanah OB  
Analisa data:

Diameter cetakan = 6,37 cm (diameter dalam cincin "d")

$$\text{Luas} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

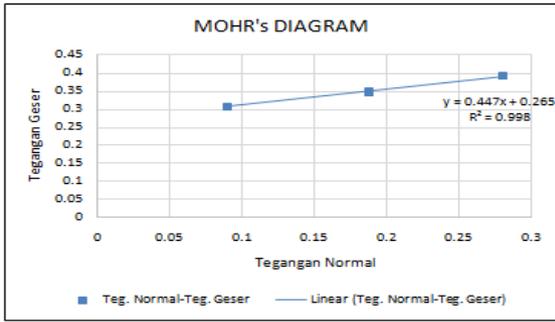
$$\text{Luas} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 6,37^2 = 31,85 \text{ cm}^2$$

S = gaya geser

$$\text{Tegangan geser } (\tau) = \frac{S}{A}$$

**Tabel 11. Data Hasil Kuat Geser Langsung OB**

Tegangan Normal (σN)	Tegangan Geser (τ)
Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
0,09	0,307
0,188	0,348
0,28	0,392



Gambar 3. Grafik Kuat Geser Langsung OB

Kohesi:  $0,265 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow 25,98 \text{ kPa}$

Sudut geser dalam ( $\phi$ ) =  $\tan^{-1} 0,889 \text{ kg/cm}^2 = 41,63^\circ$

b. Pengujian Kuat Geser Langsung Material Lower C Analisa data:

Diameter cetakan = 6,35 cm (diameter dalam cincin "d")

$$\text{Luas} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

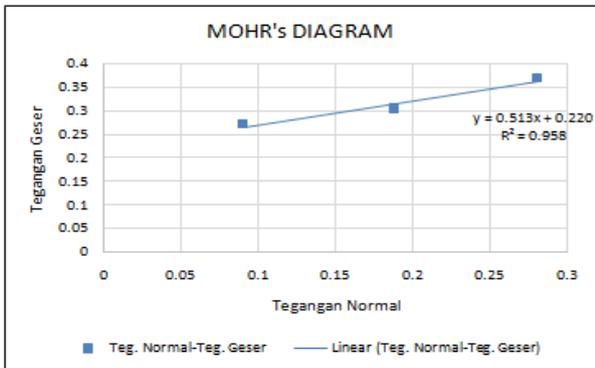
$$\text{Luas} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 6,37^2 = 31,85 \text{ cm}^2$$

S = gaya geser

$$\text{Tegangan geser } (\tau) = \frac{S}{A}$$

Tabel 11. Data Hasil Kuat Geser Langsung Lower C

Tegangan Normal ( $\sigma_N$ )	Tegangan Geser ( $\tau$ )
$\text{Kg/cm}^2$	$\text{Kg/cm}^2$
0.09	0.272
0.188	0.305
0.28	0.370



Gambar 4. Grafik Kuat Geser Langsung Lower C

Kohesi:  $0,230 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow 22,55 \text{ kPa}$

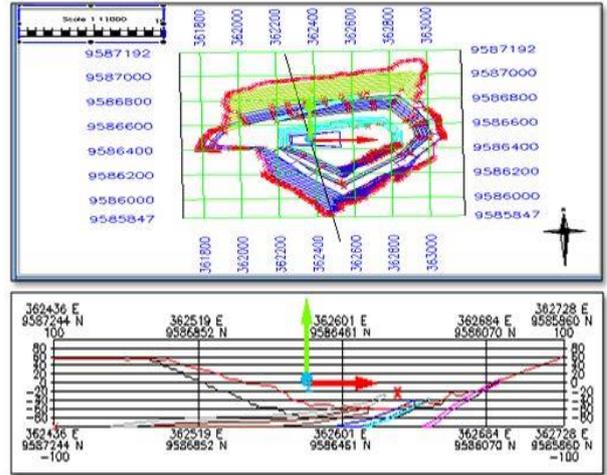
Sudut geser dalam ( $\phi$ ):  $\tan^{-1} 0,857 \text{ kg/cm}^2 = 40,59^\circ$

Tabel 12. Nilai parameter Sifat fisik dan Mekanik Material Tanah OB dan Lower C

Boring Point & Rock Layer	Slope Stability Parameter		
	Density	Rock Lab (General)	
	$\gamma W$	C	$\phi$
	$\text{kN/cm}^3$	kPa	Deg
OB	20,07	25,20	$41,63^\circ$
Lower C	23,52	22,55	$40,59^\circ$

## 4.2 Analisa FK Penampang

Pada analisis lereng dari desain optimalisasi penambangan dilakukan terhadap satu penampang menggunakan software Geoslope dengan analisis Seep/W dimana parameter yang digunakan pada analisis ini dengan menganalisis lapisan OB dan Lower C Analisis ini akan menghasilkan FK pada penampang hasil dari desain optimalisasi. Cross section dan koordinat dari setiap lapisan penampang A-A' dapat dilihat pada gambar, dan tabel dibawah ini :



Gambar 5. Gambar Sayatan Penampang A-A'

Tabel 13. Koordinat Penampang A-A'

Sayatan penampang	Lokasi lereng	X	Y
A-A'	Low wall	362728	9585960
	High wall	362436	9587244

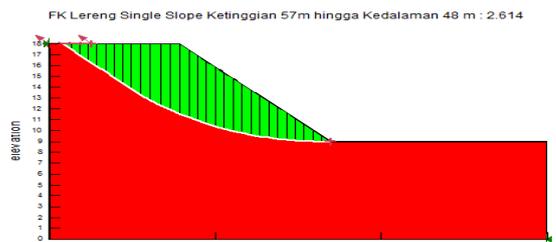
## 4.3 Geometri Lereng Rencana Optimasi

Penampang A-A' memiliki 15 lereng single slope pada high wall dan 4 lereng single slope pada low wall. Adapun analisisnya adalah sebagai berikut :

### 4.3.1. Analisis Geometri Lereng high wall

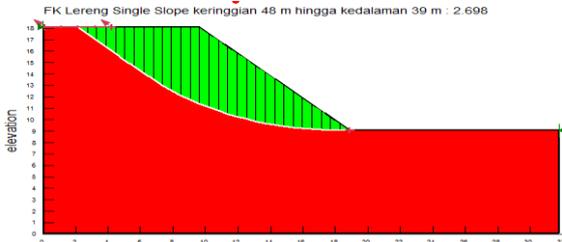
Penampang A-A' memiliki 13 lereng single slope pada high wall dan 2 lereng single slope pada low wall. Adapun analisisnya adalah sebagai berikut:

- Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis single slope optimalisasi pada penampang A-A' pada ketinggian 57 m hingga kedalaman 48 m yang memiliki nilai factor keamanan 2.614.



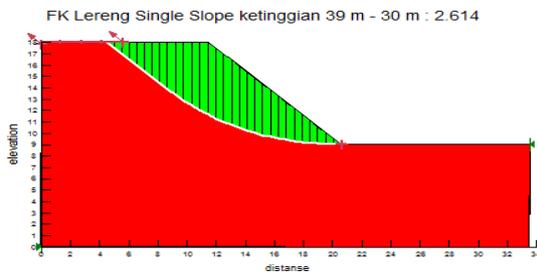
Gambar 6: Nilai FK Singleslope high wall 57 m hingga kedalaman 48 m

b. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *single slope* optimalisasi pada penampang A-A' pada ketinggian 48 m hingga kedalaman 39 m yang memiliki nilai factor keamanan 2.698.



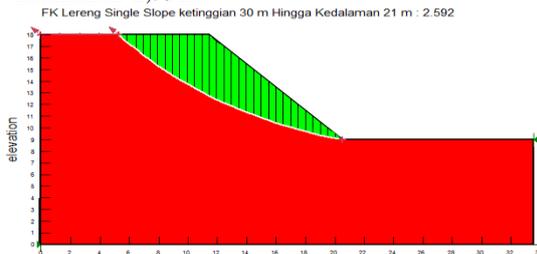
**Gambar 7:** Nilai FK *Single slope high wall* 48 m hingga kedalaman 39 m

c. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *single slope* optimalisasi pada penampang A-A' pada ketinggian 39 m hingga kedalaman 30 m yang memiliki nilai factor keamanan 2.614



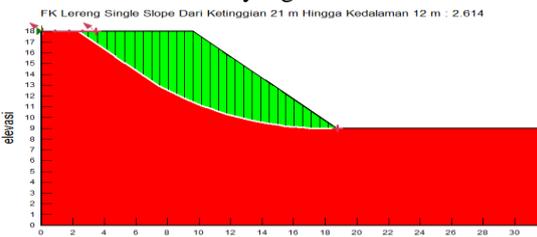
**Gambar 8:** Nilai FK *Singleslope high wall* 39 m hingga kedalaman 30 m

d. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *single slope* optimalisasi pada penampang A-A' pada ketinggian 30 m hingga kedalaman 21 m yang memiliki nilai factor keamanan 2,592.



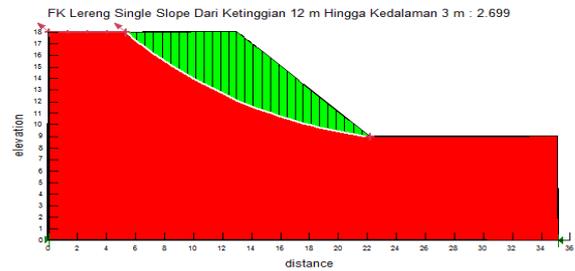
**Gambar 9:** Nilai FK *Single slope high wall* 30 m hingga kedalaman 21 m

e. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *single slope* optimalisasi pada penampang A-A' pada ketinggian 21 m hingga kedalaman 12 m yang memiliki nilai factor



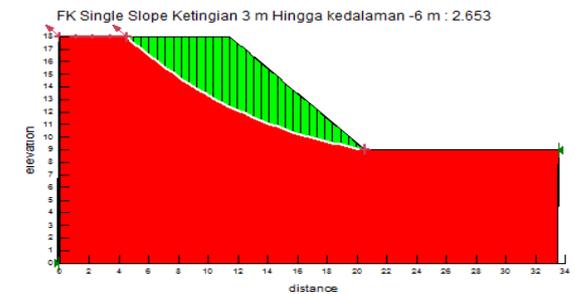
**Gambar 10:** Nilai FK *Single slope high wall* 21 m hingga kedalaman 12 m

f. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *single slope* optimalisasi pada penampang A-A' pada ketinggian 12 m hingga kedalaman 3 m yang memiliki nilai factor keamanan 2,699.



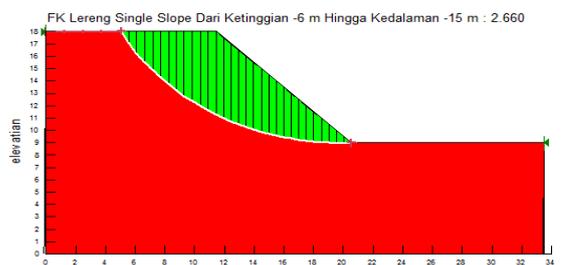
**Gambar 11:** Nilai FK *Single slope high wall* 12 m hingga kedalaman 3 m

g. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *single slope* optimalisasi pada penampang A-A' pada ketinggian 3 m hingga kedalaman -6 m yang memiliki nilai factor keamanan 2,653.



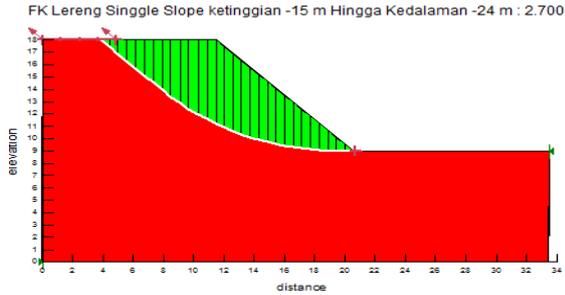
**Gambar 12:** Nilai FK *Single slope high wall* 3 m hingga kedalaman -6 m

h. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *single slope* optimalisasi pada penampang A-A' pada ketinggian -6 m hingga kedalaman -15 m yang memiliki nilai factor keamanan 2.660.



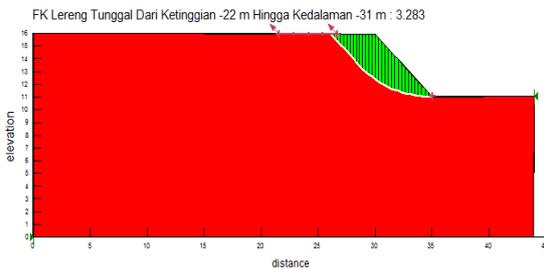
**Gambar 13:** Nilai FK *Single slope high wall* -6 m hingga kedalaman -15 m

i. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *single slope* optimalisasi pada penampang A-A' pada ketinggian -15 m hingga kedalaman -22 m dengan lebar *berm* 31 m, tinggi lereng 9 m, dan kemiringan lereng 45<sup>0</sup> yang memiliki nilai factor keamanan 2,700.



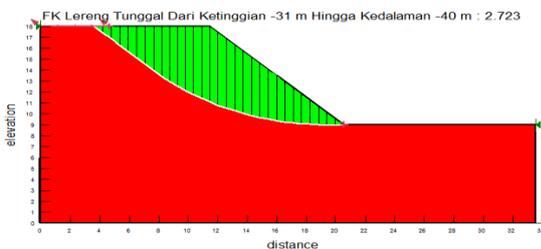
**Gambar 14:** Nilai FK *Singleslope high wall* -15 m hingga kedalaman-22 m

j. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *single slope* optimalisasi pada penampang A-A' pada ketinggian -22 m hingga kedalaman -31 m yang memiliki nilai factor keamanan 2,792



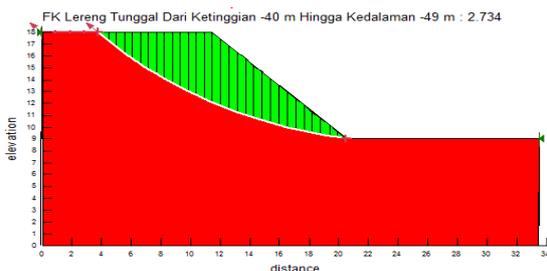
**Gambar 15:** Nilai FK *Singleslope high wall*-22 m hingga kedalaman-31 m

k. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *single slope* optimalisasi pada penampang A-A' pada ketinggian -31 m hingga kedalaman -40 m yang memiliki nilai factor keamanan 2,723.



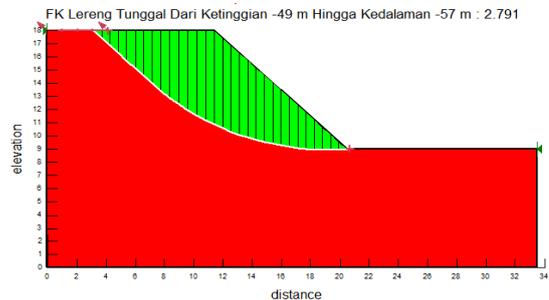
**Gambar 16:** Nilai FK *Single slope high wall* -31 m hingga kedalaman-40 m

l. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *single slope* optimalisasi pada penampang A-A' pada ketinggian -40 m hingga kedalaman -49 m yang memiliki nilai factor keamanan 2.734.



**Gambar 17:** Nilai FK *Singleslope high wall* - 40 m hingga kedalaman-49 m

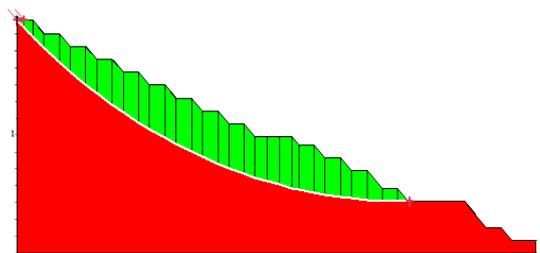
m. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *single slope* optimalisasi pada penampang A-A' pada ketinggian -49 m hingga kedalaman -57 m yang memiliki nilai factor keamanan 2.791.



**Gambar 18:** Nilai FK *Single slope high wall* - 49 m hingga kedalaman - 57 m

n. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *overall slope* pada penampang A-A' sebelum dilakukan optimalisasi pada ketinggian 57 m hingga kedalaman - 57 m yang memiliki nilai factor keamanan 2,732.

FK Lereng Keseluruhan Dari Ketinggian 57 m Hingga Kedalaman -57 m : 2.732



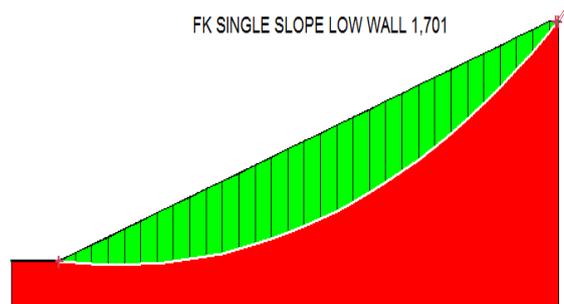
**Gambar 19:** Nilai FK *Overall slope high wall* 57 m hingga kedalaman - 57 m

4.3.2 Analisis Geometri Lereng *low wall*

Penampang A-A' memiliki 2 lereng *single slope* pada *low wall*. Adapun analisisnya adalah sebagai berikut:

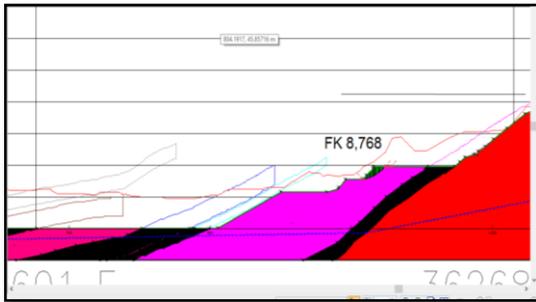
a. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *single slope low wall* pada penampang A-A' pada ketinggian 60 m hingga kedalaman -40 m yang memiliki nilai factor keamanan 1,701.

FK SINGLE SLOPE LOW WALL 1,701



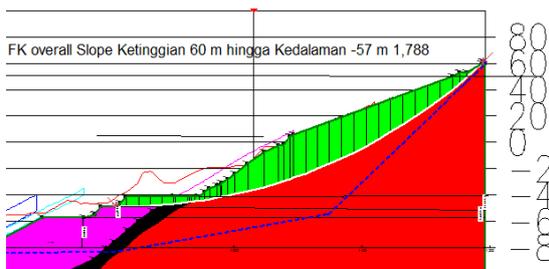
**Gambar 20:** Nilai FK *Single slope low wall* 60 m hingga kedalaman -40 m

- b. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *single slope optimalisasi low wall* pada penampang A-A' pada ketinggian -40 m hingga kedalaman -57 m yang memiliki nilai factor keamanan 8,768



**Gambar 21:** Nilai FK *Single slope low wall* -40 m hingga kedalaman -57 m

- c. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *overall slope optimalisasi low wall* pada penampang A-A' pada ketinggian 60 m hingga kedalaman -57 m yang memiliki nilai factor keamanan 1,788.

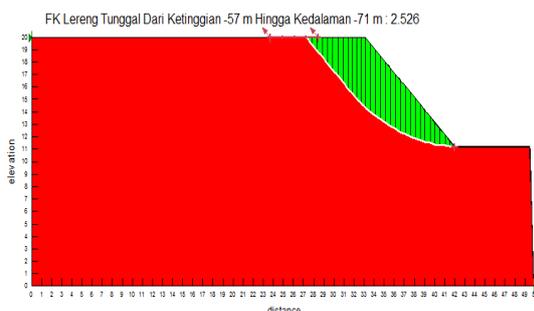


**Gambar 22:** Nilai FK *Single slope low wall* 60 m hingga kedalaman -57 m

4.3.3. Analisis Geometri Lereng *high wall* Optimalisasi

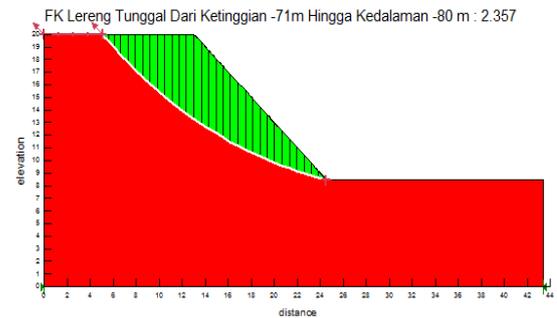
Rencana optimalisasi Tambang Air Laya Barat dari ketinggian -57 m hingga kedalaman -80 m memiliki dua lereng *single slope* pada *high wall*. Adapun analisisnya adalah sebagai berikut:

- a. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *single slope high wall* rencana optimalisasi pada penampang A-A' pada ketinggian -57 m hingga kedalaman -71 m yang memiliki nilai factor keamanan 2,526.



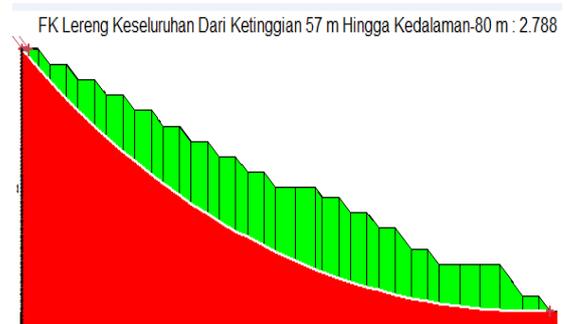
**Gambar 23:** Nilai FK *Single slope high wall* -57 m hingga kedalaman -71 m

- b. . Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *single slope optimalisasi* pada penampang A-A' pada ketinggian -69 m hingga kedalaman -80 m yang memiliki nilai factor keamanan 2,357



**Gambar 24:** Nilai FK *Single slope high wall* -71m hingga kedalaman -80 m

- c. Analisis *Overall Slope High Wall* dari Penampang A-A'. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *overall slope optimalisasi* pada penampang A-A' pada ketinggian 57 m hingga kedalaman -80 m yang memiliki nilai factor keamanan 2,788.

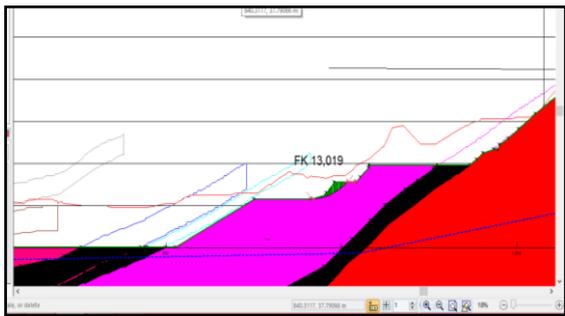


**Gambar 25:** Nilai FK *Overall slope high wall* 57 m hingga kedalaman -80 m

4.3.4. Analisis Geometri Lereng *Low wall* Optimalisasi

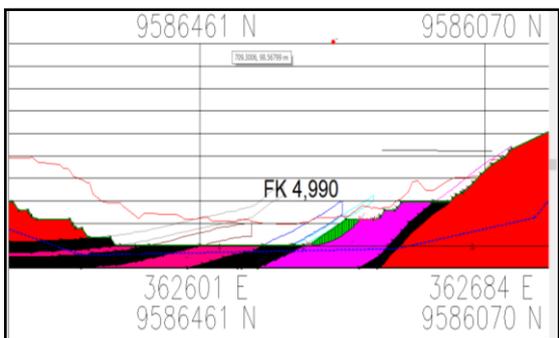
Rencana optimalisasi Tambang Air Laya Barat dari ketinggian -57 m hingga kedalaman -80 m memiliki dua lereng *single slope* pada *low wall*. Adapun analisisnya adalah sebagai berikut:

- a. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *single slope optimalisasi low wall* pada penampang A-A' pada ketinggian -57 m hingga kedalaman -60 m yang memiliki nilai factor keamanan 13,019.



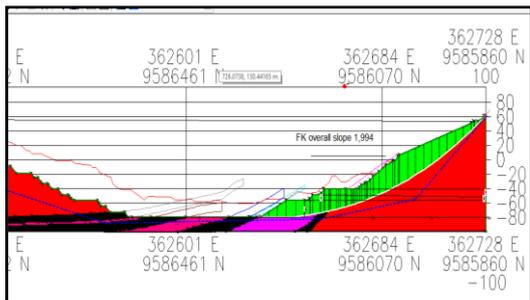
**Gambar 26:** Nilai FK Overall slope low wall -57 m hingga kedalaman -60 m

b. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *single slope* optimalisasi low wall pada penampang A-A' pada ketinggian -59 m hingga kedalaman -80 m yang memiliki nilai factor keamanan 4,990.



**Gambar 27:** Nilai FK Overall slope low wall -60 m hingga kedalaman-80 m

c. Gambar dibawah ini merupakan gambaran dari hasil analisis *overall slope* optimalisasi low wall pada penampang A-A' pada ketinggian 60 m hingga kedalaman -80 m yang memiliki nilai factor keamanan 1,994.



**Gambar 28:** Nilai FK Overall slope low wall 60 m hingga kedalaman-80 m

Nilai FK setiap *single slope low wall* memiliki nilai diatas 1,25. Pada bagian *high wall* untuk lereng 1 nilai FK yang dihasilkan memiliki saran nilai sekitar 2,526 diketinggian -57 m hingga kedalaman -71 m, pada lereng 2 memiliki nilai FK 2,357 diketinggian -71m hingga kedalaman -80, Pada lereng keseluruhan memiliki nilai FK sebesar 2,788 pada ketinggian 57 m sampai kedalaman 80 m, pada lereng *low wall* nilai FK yang dimilikinya sebesar 13,019 pada ketinggian -57 m hingga kedalaman -60, pada lereng *low wall* nilai

FK yang dimilikinya sebesar 4,990 diketinggian -60 hingga kedalaman -80 m, dan nilai FK *overall slope low wall* adalah 1,994.

**4.4 Nilai FK Optimasi**

Berikut adalah nilai Faktor Keamanan lereng optimalisasi pada penampang A-A' *pit* Tambang Air Laya Barat PT. Bukit Asam Tbk.

**Tabel 14.** Nilai Faktor Keamanan Optimalisasi penampang A-A'

Jenis Jenjang		Dimensi Geometri Lereng			FK	
		Elevasi		Tinggi Lereng (m)		Sudut (°)
		Top (m)	Base (m)			
Single Slope	High wall	57	48	9	45	2,614
		48	39	9	45	2,698
		39	30	9	45	2,614
		30	21	9	45	2,695
		21	12	9	45	2,614
		12	3	9	45	2,699
		3	-6	9	45	2,653
		-6	-15	9	45	2,660
		-15	-22	7	45	2,700
		-22	-31	9	45	3,284
		-31	-40	9	45	2,723
		-40	-49	9	45	2,734
		-49	-57	8	45	2,791
Overall Slope	High Wall	57	-57	100	45	2,792
Single Slope Optimalisasi	High Wall	-57	-71	12	45	2,526
		-71	-80	9	45	2,357
Overall Slope Optimalisasi	High Wall	57	-80	137	45	2,788
Single Slope	Low Wall	60	-40	100	45	1,701
		-40	-57	17	45	3,768
Overall Slope	Low Wall	60	-57	117	45	1,788
Single Slope Optimalisasi	Low Wall	-57	-60	3	45	13,019
		-60	-80	20	45	4,990
Overall slope Optimalisasi	Low Wall	60	-80	140	45	1,994

**5 Penutup**

**5.1 Kesimpulan**

Sebagai hasil dari penelitian ini, dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

- Dari hasil pengujian sampel di laboratorium diperoleh data sifat fisik dan mekanik masing-masing material.
  - Pengujian sifat fisik dan mekanik sampel OB, kadar air = 18,56% ,berat isi = 20,07 kN/cm<sup>3</sup> kohesi = 25,20 kPa dan sudut geser dalam 41,63°.
  - Pengujian sifat fisik dan mekanik sampel Lower C, kadar air = 39,73% ,berat isi = 23,52 kN/cm<sup>3</sup> , kohesi = 22,55 kPa dan sudut geser dalam 40,59°.
- Nilai faktor keamananlereng pada desain awal dengan kedalaman -57 m penampang A-A' *pit* Tambang Air Laya Barat adalah 2,723. Setelah dilakukan optimalisasi hingga kedalaman -80 m nilai factor keamanan lereng adalah 2,788.
- Rencana optimalisasi pada penampang A-A' Tambang Air Laya Barat PT. Bukit Asam Tbk dari

kedalaman 57 m hingga kedalaman -80 m melalui analisis kesetabilan lereng aman untuk dilanjutkan.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis permasalahan yang ditemui, maka saran yang dapat penulis berikan sebagai berikut:

1. Dalam penerapannya, diperlukan evaluasi secara berkala terhadap sifat fisik dan mekanik tanah pada *pit* Tambang Air Laya Barat.
2. Pemantauan lereng yang terjadwal secara periodik perlu dilakukan untuk mengetahui besar perpindahan massa batuan akibat penggalian. Data hasil pemantauan merupakan data yang paling mewakili kondisi kekuatan massa batuan.

## Daftar Pustaka

- [1.] Satuan Kerja Rencana Operasi Penambangan PT. Bukit Asam Tbk
- [2.] Satuan Kerja Rencana Harian PT. Bukit Asam Tbk.
- [3.] Wahyu Sasongko dan Berlian Dwinegara. Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, UPN "Optimalisasi Cadangan Batubara Peringkat Rendah Dengan Aktivitas Rantai Tambang Melakukan Pencucian Batubara".
- [4.] Kiki Gusmaningsih dari Teknik Pertambangan, Universitas Negeri Padang "Desain *PIT* Tambang Air Laya Barat Untuk Memenuhi Target Produksi Tahun 2018 PT. Bukit Asam (Persero) TBK Sumatera Selatan".
- [5.] Arif, Irwandi. 2012. "*Manajemen Tambang*". Bandung: ITB
- [6.] Keputusan Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM 2018.
- [7.] Azhary Rahim. Tugas Akhir. "Analisis Kestabilan Lereng Untuk Menentukan Geometri Lereng Pada Area Penambangan Pit Muara Tiga Besar Selatan Pt. Bukit Asam (Persero) Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan". Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
- [8.] Muhamad Irwan. 2018. Tugas Akhir. "Kajian Kestabilan Lereng RKAP 2018 Lokasi Penambangan Muara Tiga Besar Utara PT. Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan". Teknik Pertambangan Universitas Negeri Padang.
- [9.] L.D. Wesley. 2017. MEKANIKA TANAH. EDISI BARU. PENERBIT ANDI YOKYAKARTA.
- [10.] Aprilia Jesica. 2018. Tugas Akhir. "Evaluasi Kestabilan Lereng Tambang Batubara Pit 'Xy' Menggunakan Metode Kestimbangan Batas PT. Bukit Asam Tbk". Universitas Padjadjaran.