

# Lowwall Slope Stability Analysis Section A and Section B Pit Middle Using the Limit Equilibrium Method (Morgenstern-Price) at the PT. Banjarsari Pribumi, East Merapi District, Lahat Regency, South Sumatra

M.Iqbal Alfidqi Fauzi<sup>1\*</sup>, Raimon Kopa<sup>1\*\*</sup>

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

\*[fauziqbal385@gmail.com](mailto:fauziqbal385@gmail.com)

\*\*[raimon\\_unp@yahoo.co.id](mailto:raimon_unp@yahoo.co.id)

**Abstract.** This study focuses on the Lowwall Pit Middle Slope which is divided into 2 Sections, namely Slope Section A and Slope Section B. In the crest section of the slope there is a disposal area. From the results of field observations, water seepage was found at RL  $\pm$  40 mdpl and RL  $\pm$  70 mdpl. In addition, cracks were found at RL $\pm$ 90 mdpl and RL $\pm$ 100 mdpl in the disposal area. The impact of this finding is the landslide that occurred on the Lowwall Section A Slope. In addition, the high rainfall at PT. Banjarsari Pribumi causes the value of cohesion and shear angle in the material making up the slopes to decrease. The method used in analyzing the stability of the Lowwall Pit Middle Slope is the Limit Equilibrium (Morgenstern-Price) method which is applied in slide 6.0 software. The analysis was carried out based on the topography of December 2021. The results of the stability analysis of the Lowwall Pit Middle Slope for Section A obtained that the saturated FK was 1.072 and the saturated FK Section B was 1.192. From the analysis results obtained, it is explained that the Lowwall Pit Middle Slope is in a critical condition. For this reason, the authors carry out simulations of actual slope dewatering and simulation of resloping + dewatering of the Lowwall Pit Middle Slope. The results of the 5 m dewatering simulation for section A obtained the FK value of 1,352 and for section B of 1,306. The results of the resloping + dewatering simulation for section A obtained the FK value of 1.542 and for section B of 1.384.

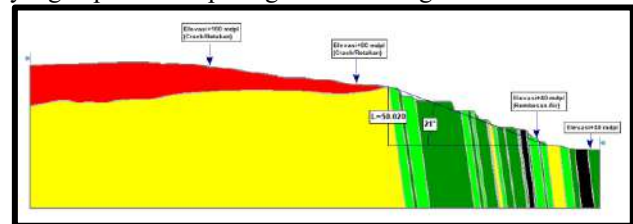
**Keywords :** Limit Equilibrium, Morgenstern-Price, Slide 6.0, Topography, Section

## 1. Pendahuluan

PT. Banjarsari Pribumi merupakan perusahaan industri yang bergerak disektor pertambangan batubara. PT. Banjarsari Pribumi melakukan kegiatan penambangan batubara yang terletak di Kecamatan Merapi Timur, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan. PT. Banjarsari Pribumi terletak di antara 103° 42' 391,4" BT sampai 130° 43' 4" BT dan 3° 40' 2" LS sampai 3° 40' 2" LS dengan dibatasi koordinat IUP seluas 519,7422 ha.

Hingga saat ini, PT. Banjarsari Pribumi memiliki 3 site yang telah dieksploitasi yaitu *Pit ABC* bagian utara, *Pit Middle* bagian tengah, dan *Pit South* dibagian selatan. Untuk saat ini, kegiatan eksploitasi batubara difokuskan pada *Pit Middle* dan *Pit South* saja. Penelitian ini berfokus pada Lereng *Lowwall Pit Middle* yang dibagi menjadi 2 *Section* yaitu Lereng *Section A* dan Lereng *Section B*. Pada bagian *crest* Lereng terdapat area *disposal*. Dari hasil observasi dilapangan, ditemukan rembesan air pada RL $\pm$ 40 mdpl dan RL $\pm$ 70 mdpl. Selain itu, ditemukan *crack* pada RL $\pm$ 90 mdpl dan RL $\pm$ 100 mdpl area *disposal*. Adapun dampak dari temuan ini yaitu adanya longsor yang terjadi pada Lereng *Lowwall Section A*. Selain itu, tingginya curah hujan di PT. Banjarsari Pribumi menyebabkan nilai kohesi dan sudut geser dalam material penyusun lereng menurun.

Adapun penampang lereng *lowwall Pit Middle Section A* yang akan penulis analisis kestabilan lerengnya yang dapat dilihat pada gambar 1 sebagai berikut.



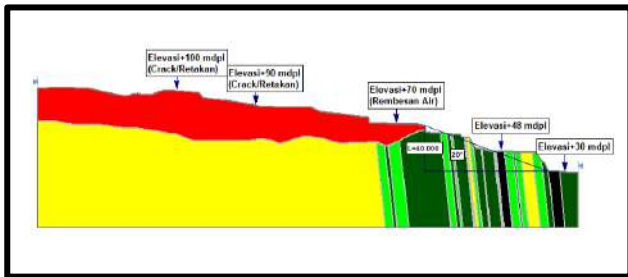
**Gambar 1.** Section A Lereng *Lowwall Pit Middle*

*Pit Middle* area penambangan bagian tengah dari PT. Banjarsari Pribumi pernah mengalami longsor pada *section A* lereng *lowwall*nya. Pada saat melakukan penelitian pada lokasi ini, penulis menemukan beberapa rembesan-rembesan yang diakibatkan oleh adanya air tanah yang ada pada lereng *lowwall Pit Middle* dan juga curah hujan. Pada *section A*, rembesan-rembesan yang penulis temukan itu berada pada RL+40 seperti pada gambar 2 dibawah ini.



**Gambar 2.** Rembesan Air RL+40 mdpl Lereng Section A

Pada lereng *lowwall pit middle section B* belum pernah terjadi longsor. Akan tetapi, dikarenakan adanya temuan rembesan pada RL+70 mdpl yang dapat memberikan suatu pengaruh terhadap kestabilan lereng *lowwall pit middle section B*, maka diperlukan adanya analisa terhadap lereng ini. Adapun penampang lereng *lowwall Pit Middle section B* yang akan penulis analisis kestabilan lerengnya yang dapat dilihat pada gambar 3 sebagai berikut.



**Gambar 3.** Section B Lereng Lowwall Pit Middle

Selain rembesan air pada RL+40 mdpl, penulis juga menemukan rembesan air pada RL+70 mdpl yang mana rembesan ini mengakibatkan kondisi lereng pada *section B* menjadi jenuh yang dapat dilihat pada gambar 4 sebagai berikut.



**Gambar 4.** Rembesan Air RL+70 mdpl Section B

Selain penulis menemukan beberapa rembesan air tanah pada lereng *lowwall Pit Middle* seperti yang penulis uraikan diatas, penulis juga menemukan beberapa *crack* atau retakan pada area *disposal* yang mana *disposal* tersebut terletak di *crest* lereng *lowwall Pit Middle*. Adapun situasi

dari *disposal* tersebut dapat dilihat pada gambar 5 dibawah ini.



**Gambar 5.** Situasi *Disposal* pada *Crest* Lereng Section A dan Section B

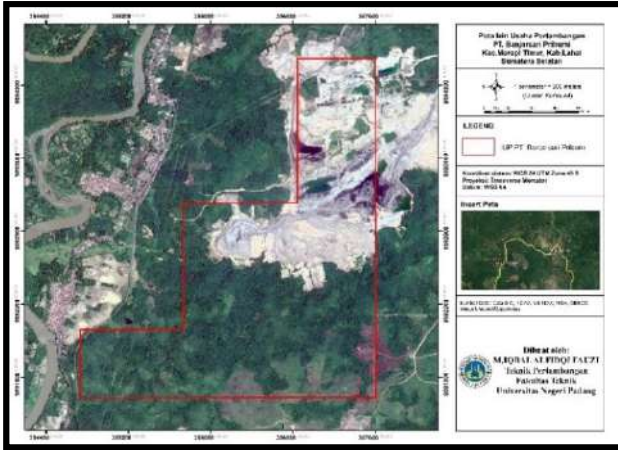
Beberapa temuan *crack*/retakan pada area *disposal* yang terletak di *crest* lereng *lowwall Pit Middle* tentunya sangat berpotensi menyebabkan bahaya kelongsoran pada lereng *lowwall* di *Pit Middle* yang mengakibatkan material insitu terdorong akibat *crack* tersebut. Selain itu, *crack*/retakan secara luas mengidentifikasi bahwa adanya kemiringan dalam tanah dan dapat menimbulkan kestabilan tanah tersebut berkurang. Hal ini disebabkan karena *crack*/retakan akan menjadi jalan masuknya air hujan yang mana dapat mempengaruhi permeabilitas tanah dan mengurangi kekuatan tanah. Selain itu, *crack* yang terisi oleh air akan menyebabkan penambahan tekanan yang bergerak pada bidang miring tanah tersebut. (Wang dan Li, 2011) didalam (Siti Safinatun dkk, 2020).

## 2. Kajian Pustaka

### 2.1. Lokasi dan Kondisi Daerah Penelitian

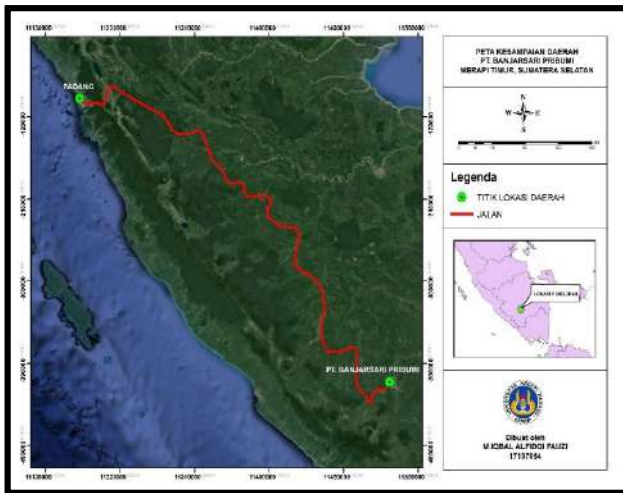
PT. Banjarsari Pribumi merupakan perusahaan industri yang bergerak disektor pertambangan batubara. PT. Banjarsari Pribumi melakukan kegiatan penambangan batubara yang terletak di Kecamatan Merapi Timur, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan. PT. Banjarsari Pribumi terletak di antara 103° 42' 391,4" BT sampai 130° 43' 4" BT dan 3° 40' 2" LS sampai 3° 40' 2" LS dengan dibatasi koordinat IUP seluas 519,7422 Ha. PT. Banjarsari Pribumi melakukan kegiatan eksplorasi dan studi kelayakan pada tahun 2008 hingga 2009. Setelah sekian lama dan panjang dalam tahapan eksplorasi dan studi kelayakan, akhirnya pada tahun 2016 PT. Banjarsari Pribumi melakukan kegiatan produksi batubara.

Untuk lebih jelas mengenai IUP PT. Banjarsari Pribumi yang terletak di Kecamatan Merapi Timur, Kabupaten Lahat dengan luas IUP sekitar 519,7422 Ha dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Peta IUP PT. Banjarsari Pribumi

Site PT. Banjarsari Pribumi yang berada di Desa Banjarsari, Kecamatan Merapi Timur, Kabupaten Lahat dapat ditempuh menggunakan mobil dari Padang dengan jarak ± 759 km selama ± 17 jam. Sedangkan rute dari mess karyawan yang berlokasi di Muara Enim menuju site PT. Banjarsari Pribumi dengan jarak ± 10 km menghabiskan waktu selama ± 20-30 menit. Untuk lokasi kesampaian PT. Banjarsari Pribumi dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini.



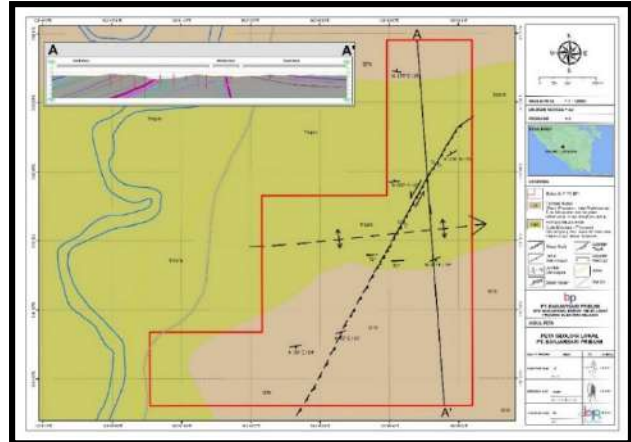
Gambar 7. Peta Kesampaian Daerah PT. Banjarsari Pribumi

2.2. Keadaan Struktur Geologi

a. Keadaan Geologi Daerah Penelitian

PT. Banjarsari Pribumi memiliki keadaan geologi yang memperlihatkan adanya struktur-struktur geologi sekunder seperti adanya sesar naik, sesar mendatar, dan lipatan berupa antiklin menunjam. Adapun dalam pemetaan geologi yang dilakukan terhadap kedudukan sinkapan menunjukkan *strike/dip* yang terdapat abnormal, dimana lapisan tersebut memiliki geometri yang tegak, salah satunya berada di angka N 90° E/85°. Hal tersebut menunjukkan bahwa kondisi geologi di PT. Banjarsari Pribumi ini cukup kompleks. Pada formasi batuan terdapat 2 (dua) formasi, yaitu Formasi Kasai dan Formasi Muara Enim (Peta Geologi Regional

Lembar Lahat). Formasi kasai yang dicirikan oleh tufa, tufa pasir, dan batu pasir tufaan yang mengandung batu apung, sedangkan formasi muara enim yang merupakan indikasi dari terdapatnya batubara dengan ciri banyak terdapat batu lempung dan batu pasir. Untuk lebih detail dapat melihat peta geologi regional PT. Banjarsari Pribumi pada gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Peta Geologi Regional PT. Banjarsari Pribumi

Berdasarkan keadaan geologi PT. Banjarsari Pribumi, adapun stratigrafi material penyusun lereng *lowwall Pit Middle* dapat dilihat pada gambar 9 berikut.

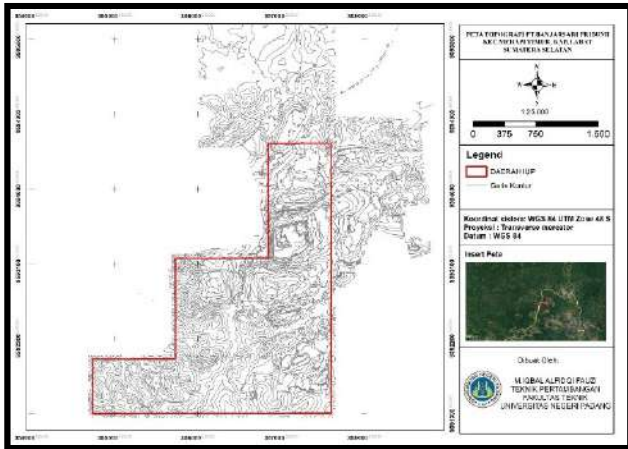
LITOLOGI LERENG LOWWALL PIT MIDDLE		
LITOLOGI	SIMBOL	TEBAL (M)
Batu Lempung		3,5
Batubara Seam B		12
Batu Lempung		5,1
Batu Lempu		7
Batu Pasir		10,6
Batu Lempu		4,85
Batu Lempu		2
Batu Lempu		7,1
Batubara Seam C		4,8
Batu Lempung		0,8
Batubara Seam D		0,8
Batu Lempung		10,2
Batu Pasir		0,6
Batu Lempung Perselingan Pasiran		6,3
Batu Lempu		2
Batu Pasir		3
Batu Lempu		1
Batu Lempung		10
Batu Lempu		2
Batu Lempung		5,1
Batu Lempu		6
Batu Lempung		37,1
Batu Lempu		10,2
Batu Lempung		5,1
Batu Lempu		7
Batu Pasir		37

Gambar 9. Stratigrafi Lereng Lowwall Pit Middle

b. Keadaan Topografi PT. Banjarsari Pribumi

Untuk keadaan topografi lokal yang berada di dalam luasan IUP PT. Banjarsari Pribumi menunjukkan kondisi kontur yang renggang pada sisi utara dan tenggara peta, dan pada bagian barat daya peta hingga sisi tengah peta menunjukkan kondisi kontur yang lebih rapat dari sisi-sisi

lain pada peta topografi tersebut. Secara detail peta topografi daerah penelitian dapat dilihat pada gambar 10 dibawah ini.



Gambar 10. Peta Topografi PT. Banjarsari Pribumi

**2.3. Kestabilan Lereng**

Kestabilan lereng dipengaruhi oleh factor geometri lereng, sifat fisik dan sifat mekanik dari material pembentuk lereng, air, bidang lemah tanah atau batuan, aktivitas penambangan seperti getaran peledakan (*blasting*), dan *loading hauling* kendaraan tambang (Mos-hab, 1997) didalam (Irwandy Arif, 2016). Untuk menyatakan tingkat kestabilan lereng dikenal istilah faktor keamanan (*safety factor*). Faktor Keamanan (*Safety Factor*) merupakan perbandingan antara gaya-gaya penahan gerakan terhadap gaya-gaya penggerak tanah tersebut dianggap stabil (Irwandy Arif, 2016.), bila dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Faktor keamanan (F)} = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \quad (1)$$

**2.4. Klasifikasi Longoran**

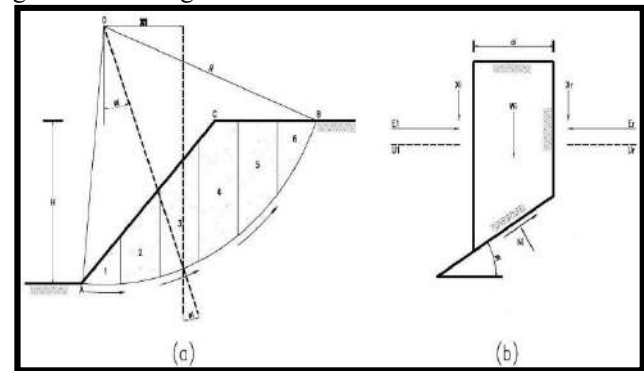
Longsor merupakan suatu pergerakan dari massa tanah atau batuan yang menuruni lereng karena adanya pengaruh dari gaya gravitasi (West, 2010) didalam (Faridha dkk, 2014). Ada beberapa tipe longsor yang sering terjadi dikarenakan kedudukan bidang lemahnya. Tipe longsor tersebut diantaranya:

- a. Longsor Baji (*Wedge Failure*)
- b. Longsor Guling (*Toppling Failure*)
- c. Longsor Busur (*Circular Failure*)
- d. Longsor Bidang (*Plane Failure*)

**2.5. Metode Kesetimbangan Batas**

Metode kesetimbangan batas menggambarkan satu *slice* dengan gaya-gaya yang bekerja. Gaya-gaya tersebut diantaranya gaya gesek ( $X_r$  dan  $X_l$ ) dan gaya normal ( $E_r$  dan  $E_l$ ) yang bekerja disepanjang bidang *slice*. Terdapat juga resultan gaya gesek ( $S_i$ ) dan resultan gaya normal ( $P_i$ ) yang bekerja disepanjang bidang *slice*. Tekanan air pori ( $U_l$  dan  $U_r$ ) bekerja pada kedua sisi *slice* sedangkan tekanan air pori  $U_i$  hanya bekerja pada dasar *slice*. Penjelasan mengenai

metode kesetimbangan batas diatas dapat dilihat pada gambar 11 sebagai berikut.



Gambar 11. 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. Morgenstern-Price Method**

Metode Morgenstern-Price merupakan metode kesetimbangan batas yang dikembangkan oleh Morgenstern dan Price pada tahun 1965. Analisa Morgenstern-Price adalah hasil dari kesetimbangan gaya normal dan gaya momen yang bekerja pada bidang *slice*. Metode Morgenstern-Price mengamsusikan hubungan antara gaya geser yang bekerja ( $X$ ) pada *slice* dengan gaya normal yang bekerja ( $E$ ) pada *slice* (Gideon Allan Takwin, 2017). Adapun persamaan hubungan gaya – gaya tersebut adalah:

$$X = \lambda \cdot f(x) \cdot E \quad (2)$$

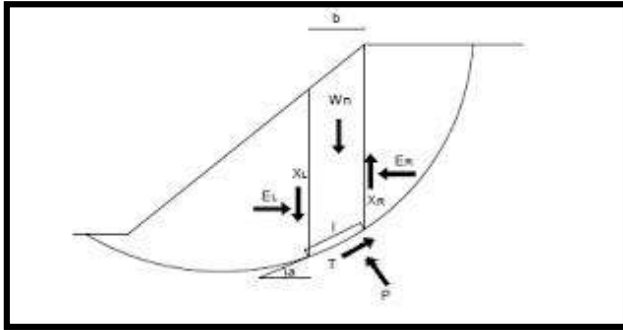
Dengan menggunakan analisa kesetimbangan Morgenstern-Price maka asumsi yang diatas dapat dihitung dan gaya geser ( $X$ ) yang bekerja disekitar bidang *slice* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3) sebagai berikut.

$$P = \frac{\{Wn - (Xr - Xl) - \frac{1}{F}(c \cdot l \sin \alpha - u \cdot l \tan \phi \sin \alpha)\}}{\cos \alpha (1 + \tan \alpha \frac{\tan \phi}{F})} \quad (3)$$

Keterangan:

- P = Gaya normal.
- Wn = Gaya akibat beban tanah ke-n.
- Xr, Xl = Gaya gesek yang bekerja ditepi bidang *slice*.
- c = Nilai kohesi (Kondisi *undrained* nilai  $C_u$  dan kondisi *drained* nilai kohesi efektif).
- $\alpha$  = Sudut antara titik tengah *slice* dengan titik pusat busur bidang longsor.
- $\Phi$  = Sudut geser tanah (kondisi *undrained* = 0).
- u = Tekanan air pori.

Adapun gaya – gaya yang bekerja pada bidang *slice* pada metode Morgenstern-Price terlihat pada gambar 12 sebagai berikut.



**Gambar 12.** Gaya Bekerja Pada Bidang Slice Morgenstern-Price

### 3. Metodologi Penelitian

#### 3.1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang penulis lakukan yaitu penelitian kuantitatif dan penelitian terapan (*Applied Research*). Penelitian kuantitatif merupakan penelitian yang mana data yang didapatkan dilapangan berupa data angka dan data ini digunakan untuk menganalisis permasalahan yang terjadi dilapangan. Penelitian terapan (*Applied Research*) merupakan penelitian yang bertujuan untuk mengaplikasikan ilmu yang didapat selama proses studi atau perkuliahan terhadap permasalahan dilapangan.

#### 3.2. Teknik Pengumpulan Data

Dalam melaksanakan penelitian penulis menggabungkan antara teori dengan data-data lapangan, sehingga dari keduanya diperoleh pendekatan penyelesaian masalah. Adapun tahapan pengumpulan data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Studi literatur didapatkan dari berbagai macam sumber yang nantinya akan dijadikan sebagai pedoman atau referensi oleh penulis untuk menyelesaikan segala bentuk permasalahan yang ada pada Tugas Akhir penulis. Adapun sumber atau referensi yang penulis jadikan sebagai acuan berupa skripsi, jurnal, dan laporan yang berasal dari perusahaan.
- Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk mengamati topografi daerah dan untuk mengetahui data-data apa saja yang diperlukan untuk menganalisa masalah yang akan dibahas. Kegiatan yang dilakukan selama penelitian yaitu pengumpulan data yang terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer berupa (1) Geometri lereng aktual, (2) *Cross section lereng aktual*, (3) Data pengujian sampel di laboratorium (sifat fisik dan sifat mekanik). Data sekunder berupa (1) Peta topografi Desember 2021, (2) Peta geologi regional, (3) Material propertis penyusun lereng, (4) *Drillsheet* litologi material, (5) Curah hujan.

#### 3.3. Teknik Pengolahan Data

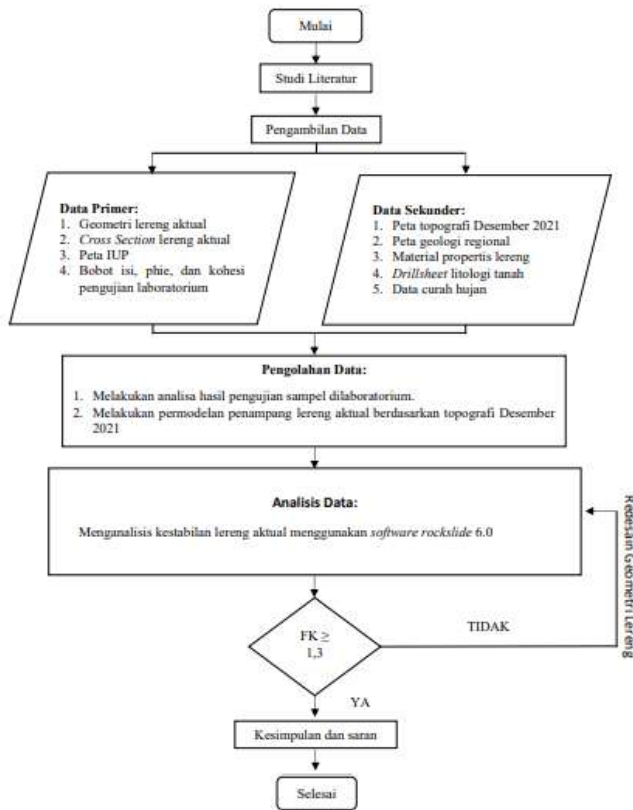
Setelah data-data terkumpul maka dilakukan pengolahan data dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

- Melakukan analisa terhadap data hasil pengujian sampel material di laboratorium. Hasil dari analisa yang dilakukan didapatkan data bobot isi, sudut geser dalam, dan kohesi dari masing-masing litologi. Data pengujian ini digunakan sebagai material propertis.
- Membuat *cross section* dua dimensi berdasarkan topografi Desember 2021 PT. Banjarsari Pribumi, *cross section* dibuat menggunakan *software minscape 5.10*.
- Melakukan permodelan *cross section* dan menginput litologi dan material propertis dari penyusun lereng menggunakan *software slide 6.0*.
- Menganalisis Faktor Keamanan lereng berdasarkan topografi aktual 2021.

#### 3.4. Teknik Analisis Data

Teknik analisis yang dilakukan yaitu dengan melanjutkan data-data hasil pengolahan untuk mencapai dari tujuan masalah. Adapun tahapan dalam teknik analisis data adalah sebagai berikut:

- Analisis FK lereng *lowwall pit middle* dilakukan dengan cara membandingkan nilai FK yang didapatkan terhadap nilai FK yang telah ditetapkan KEPMEN ESDM No.1827 K/MEM/2018 yaitu  $FK \geq 1,3$ . Hasil dari perbandingan ini didapatkan nilai FK yang tidak sesuai dengan FK yang telah ditetapkan.
- Melakukan simulasi lereng dengan melakukan *dewatering* dan *resloping* yang bertujuan untuk mendapatkan nilai FK sesuai ketentuan.
- Menganalisis nilai FK dari simulasi lereng yang telah dilakukan untuk mendapatkan kondisi serta geometri lereng yang optimal.



Gambar 13. Diagram Alir

## 4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian dan Analisa data, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

### 4.1. Hasil

#### 4.1.1. Data Hasil Pengujian Laboratorium

##### 4.1.1.1 Hasil Pengujian Kadar Air

Dari hasil analisa kadar air sampel *sandstone* yaitu 25,30%, 23,21%, dan 20,54%. Didapatkan nilai rata-rata kadar air *sandstone* adalah 23,016%. Untuk mempermudah pembacaan data hasil Analisa kadar air dari masing-masing sampel yang telah diuji. Penulis telah merangkum data-data tersebut kedalam tabel 1 seperti dibawah ini.

Tabel 1. Kadar Air Rata-Rata Sampel

No	Litologi	Rata - Rata Kadar Air (%)
1	Claystone	22,19
2	Siltstone	27,637
3	Sandstone	23,016

##### 4.1.1.2. Hasil Pengujian Bobot Isi

Untuk mempermudah pembacaan data hasil analisa bobot isi dari masing-masing sampel yang telah diuji. Penulis telah merangkum data-data tersebut kedalam tabel 2 seperti dibawah ini.

Tabel 2. Bobot Isi Masing-Masing Litologi

LITOLOGI	BOBOT ISI					
	ydry		ynat		ysat	
	gram/cm <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	gram/cm <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	gram/cm <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>
Siltstone	1,68	16,415	2,02	19,84	2,14	21,01
Sandstone	1,54	15,1	1,81	17,73	1,88	18,44
Claystone	1,43	14	1,714	16,8	1,759	17,24

##### 4.1.1.3. Hasil Uji Geser Sampel

Untuk mempermudah pembacaan data hasil analisa grafik uji geser dari masing-masing sampel yang telah diuji. Penulis telah merangkum data-data tersebut kedalam tabel 3 seperti dibawah ini.

Tabel 3. Sudut Geser Dalam dan Kohesi Sampel

Litologi	Sudut Geser Dalam (°)	Kohesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kohesi (kPa)
Claystone	11,56	0,5266	51,64
Sandstone	17,06	0,7799	76,48
Siltstone	27,09	0,6565	64,38

##### 4.1.2. Material Propertis

Material Propertis merupakan sekumpulan data hasil pengujian dari sampel di laboratorium geoteknik. Adapun data-data hasil pengujian itu berupa data bobot isi (*dry, natural, saturated*), sudut geser dalam, dan kohesi yang dapat dilihat pada tabel 4 seperti dibawah ini.

Tabel 4. Material Propertis

LITOLOGI	BOBOT ISI ASLI (kN/m <sup>3</sup> )	BOBOT ISI JENUH (kN/m <sup>3</sup> )	KOHESI (kPa)	SUDUT GESER DALAM (°)
CLAYSTONE	17,73	18,84	51,64	11,56
SILTSTONE	19,84	21,01	64,38	27,09
SANDSTONE	16,8	17,24	76,48	17,06

##### 4.1.3. Muka Air Tanah

Dikarenakan kondisi pengambilan pengukuran muka air tanah pada area *Pit Middle* berdasarkan rembesan-rembesan yang terdapat pada lereng dan tingginya curah hujan yang terjadi di PT. Banjarsari Pribumi, sehingga dalam melakukan analisa peneliti mengasumsikan kondisi lereng dalam dua kondisi yaitu natural dan jenuh. Hal ini didasari karena kemungkinan terburuk dari kondisi lereng yang akan terjadi dimana asumsi ini juga didukung oleh Gambar 14 yang memperlihatkan adanya beberapa genangan air di area tempat objek peneliti dan dinding lereng yang terlihat selalu basah dan juga didukung oleh Gambar 15 dimana terdapatnya longsoran sebagai akibat dari muka air tanah pada lereng *lowwall Pit Middle*.



**Gambar 14.** Kondisi Rembesan Air RL±70 mdpl

Akibat dari adanya ditemukan muka air tanah pada lereng berdasarkan rembesan-rembesan air yang ada, terjadi longoran disalah satu bagian lereng yang dapat dilihat pada gambar 15 dibawah ini.



**Gambar 15.** Kondisi Longoran Pada Lereng

**4.2. Pembahasan**

**4.2.1. Analisa Kestabilan Lereng Lowwall Pit Middle Section A**

Analisis yang peneliti lakukan terhadap topografi aktual bulan desember 2021 dengan tujuan untuk mencari nilai faktor keamanan (FK) yang sesuai dengan kondisi aktual. Analisis ini dilakukan berdasarkan material properties yang diperoleh dari data uji laboratorium geoteknik Departemen Teknik Pertambangan UNP pada Tabel 2 dan Tabel 3, dari hasil pengamatan dilapangan, peneliti mengidentifikasi adanya rembesan air tanah pada RL±40 mdpl yang menyebabkan nilai kohesi dan kuat geser yang rendah. Kondisi aktual *section A* terlihat pada Gambar 16.



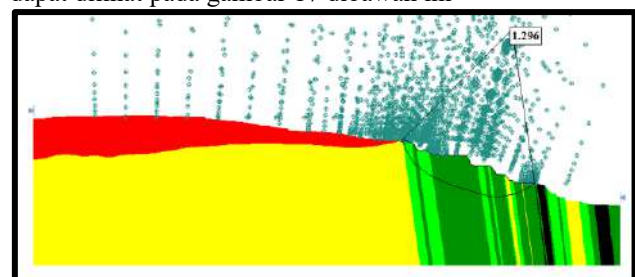
**Gambar 16.** Kondisi Aktual *Section A*

Pada analisis topografi aktual bulan Desember 2021 diidentifikasi bahwa kondisi lereng berada dalam zona yang kritis dikarenakan adanya muka air tanah dan longoran pada lereng dikarenakan pengaruh curah hujan yang tinggi. Adapun geometri lereng *lowwall Pit Middle section A* dapat dilihat pada tabel 5 berikut.

**Tabel 5.** Geometri Lereng *Lowwall Section A*

No	Slope	Tinggi (m)	Sudut (°)
1	Single Slope 1	12	27°
2	Single Slope 2	8	54°
3	Single Slope 3	8	51°
4	Single Slope 4	7	35°
5	Single Slope 5	7,8	39°
6	Single Slope 6	9,9	36°
7	<b>Overall Slope</b>	<b>52,70</b>	<b>21°</b>

Berdasarkan geometri lereng *lowwall section A* seperti yang dilihat pada tabel 5 diatas, analisa kestabilan lereng dilakukan pada kondisi natural dan jenuh dengan menggunakan metode Morgenstern-Price. Adapun analisa kestabilan lereng *lowwall section A* dalam kondisi natural dapat dilihat pada gambar 17 dibawah ini



**Gambar 17.** Analisa Lereng *Lowwall Pit Middle Section A* Kondisi Natural

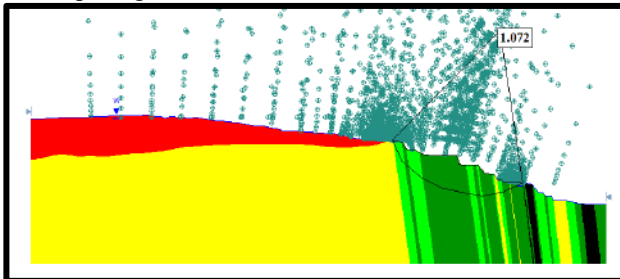
Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng dengan menggunakan *software slide 6.0*, penulis memperoleh nilai faktor keamanan lereng *overall* dengan kondisi natural yaitu

1,296. Berdasarkan KEPMEN Nomor 1827 K/30/MEM/2018, lereng lowwall *Pit Middle section A* dalam kondisi natural adalah kritis. Adapun nilai FK yang penulis analisa yaitu nilai *single slope* dan *overall slope* yang dapat dilihat pada tabel 6 dibawah ini.

**Table 6.** Nilai FK Natural *Single Slope* dan *Overall Slope Section A*

No	Slope	FK Natural	Keterangan
1	Single Slope 1	2,259	Stabil
2	Single Slope 2	2,122	Stabil
3	Single Slope 3	2,113	Stabil
4	Single Slope 4	2,820	Stabil
5	Single Slope 5	2,764	Stabil
6	Single Slope 6	3,774	Stabil
7	<b>Overall Slope</b>	<b>1,296</b>	<b>Kritis</b>

Selanjutnya untuk analisa kestabilan lereng *lowwall Pit Middle Section A* dalam kondisi jenuh dapat dilihat pada gambar 18 dibawah ini.



**Gambar 18.** Analisa Lereng *Lowwall Pit Middle Section A* Kondisi Jenuh

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng dengan menggunakan *software slide 6.0*, penulis memperoleh nilai faktor keamanan lereng *overall* dengan kondisi jenuh yaitu 1,072. Berdasarkan KEPMEN Nomor 1827 K/30/MEM/2018, lereng lowwall *Pit Middle section A* dalam kondisi jenuh adalah kritis. Adapun nilai FK yang penulis analisa yaitu nilai *single slope* dan *overall slope* yang dapat dilihat pada tabel 7 dibawah ini.

**Table 7.** Nilai FK Jenuh *Single Slope* dan *Overall Slope Section A*

No	Slope	FK Jenuh	Keterangan
1	Single Slope 1	2,114	Stabil
2	Single Slope 2	2,031	Stabil
3	Single Slope 3	2,059	Stabil
4	Single Slope 4	2,706	Stabil
5	Single Slope 5	2,574	Stabil
6	Single Slope 6	3,197	Stabil
7	<b>Overall Slope</b>	<b>1,072</b>	<b>Kritis</b>

**4.2.2. Analisis Kestabilan Lereng *Lowwall Pit Middle Section B***

Analisis yang peneliti lakukan terhadap topografi aktual bulan Desember 2021 dengan tujuan untuk mencari nilai faktor keamanan (FK) yang sesuai dengan kondisi aktual. Analisis ini dilakukan berdasarkan parameter material properties yang diperoleh dari data uji laboratorium pada Tabel 2 dan Tabel 3, dari hasil pengamatan dilapangan, peneliti mengidentifikasi adanya rembesan air yang berada pada RL±70 mdpl yang menyebabkan nilai kohesi dan kuat geser yang rendah dan curah hujan yang tinggi. Kondisi aktual *section B* terlihat pada gambar 19 seperti ini.



**Gambar 19.** Kondisi Aktual *Section B*

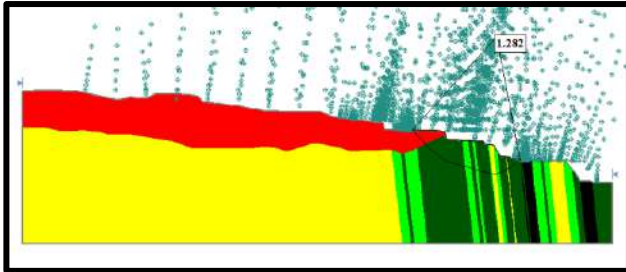
Pada analisis topografi aktual bulan Desember 2021 diidentifikasi bahwa kondisi lereng berpotensi terjadi longsor. Hal ini dikarenakan adanya muka air tanah yang dilihat berdasarkan rembesan yang ada pada badan lereng tersebut. Adapun geometri lereng *lowwall Pit Middle section B* dapat dilihat pada tabel 8 berikut.

**Tabel 8.** Geometri Lereng *Lowwall Section B*

No.	Slope	Tinggi (m)	Sudut(°)
1	Single Slope 1	8,8	56°
2	Single Slope 2	15,4	41°
3	Single Slope 3	17	33°
4	<b>Overall Slope</b>	<b>41,2</b>	<b>20°</b>

Berdasarkan geometri lereng *lowwall section B* seperti yang dilihat pada tabel 8 diatas, analisa kestabilan lereng dilakukan pada kondisi natural dan jenuh dengan menggunakan metode Morgenstern-Price. Adapun analisa kestabilan lereng *lowwall section B* dalam kondisi natural dapat dilihat pada gambar 20 dibawah ini.





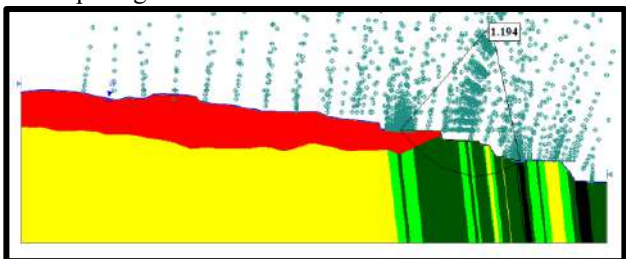
Gambar 10. Analisis Lereng Lowwall Pit Middle Section B Kondisi Natural

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng dengan menggunakan *software slide 6.0*, penulis memperoleh nilai faktor keamanan lereng *overall* dengan kondisi natural yaitu 1,282. Berdasarkan KEPMEN Nomor 1827 K/30/MEM/2018, lereng *lowwall Pit Middle section B* dalam kondisi natural adalah kritis. Adapun nilai FK yang penulis analisa yaitu nilai *single slope* dan *overall slope* yang dapat dilihat pada tabel 9 dibawah ini.

Tabel 9. Nilai FK Natural *Single Slope* dan *Overall Slope* Section B

No	Slope	FK Natural	Keterangan
1	Single Slope 1	2,106	Stabil
2	Single Slope 2	1,581	Stabil
3	Single Slope 3	1,653	Stabil
4	<b>Overall Slope</b>	<b>1,282</b>	<b>Stabil</b>

Selanjutnya untuk analisa kestabilan lereng *lowwall Pit Middle Section B* dalam kondisi jenuh dapat dilihat pada gambar 11 dibawah ini.



Gambar 11. Analisis Lereng Lowwall Pit Middle Section B Kondisi Jenuh

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng dengan menggunakan *software slide 6.0*, penulis memperoleh nilai faktor keamanan lereng *overall* dengan kondisi jenuh yaitu 1,194. Berdasarkan KEPMEN Nomor 1827 K/30/MEM/2018, lereng *lowwall Pit Middle section B* dalam kondisi jenuh adalah kritis. Adapun nilai FK yang penulis analisa yaitu nilai *single slope* dan *overall slope* yang dapat dilihat pada tabel 10 dibawah ini.

Table 10. Nilai FK Jenuh *Single Slope* dan *Overall Slope* Section B

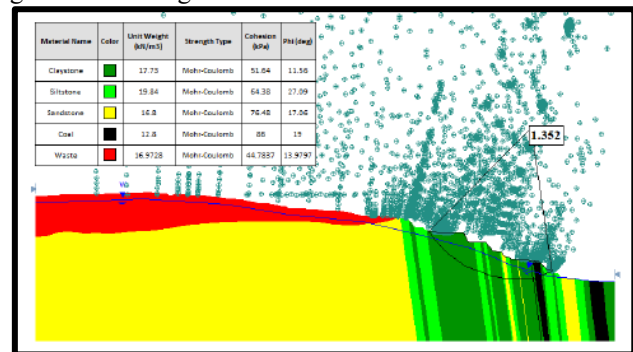
No.	Slope	FK Jenuh	Keterangan
1	Single Slope 1	2,027	Stabil
2	Single Slope 2	1,288	Kritis
3	Single Slope 3	1,451	Stabil
4	<b>Overall Slope</b>	<b>1,194</b>	<b>Kritis</b>

#### 4.2.3. Simulasi *Dewatering* Lereng Lowwall Aktual Pit Middle

##### 4.2.3.1. Simulasi *Dewatering* Lereng Section A

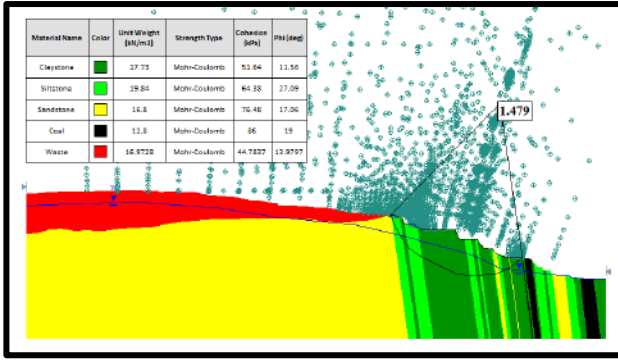
Simulasi pertama dicoba untuk meningkatkan nilai faktor keamanan lereng adalah dengan upaya melakukan *dewatering* terhadap lereng *lowwall* aktual *section A*. *Dewatering* ini bertujuan untuk mengurangi beban lereng dengan cara menurunkan elevasi muka air tanah (*depressurize*). Pada simulasi ini dilakukan penurunan elevasi muka air tanah sejumlah 3 elevasi yaitu 5 meter, 10 meter, dan 15 meter.

Adapun simulasi percobaan menurunkan muka air tanah 5 meter pada Lereng *Lowwall Pit Middle Section A* berdasarkan topografi Desember 2021 dapat dilihat pada gambar 12 sebagai berikut.



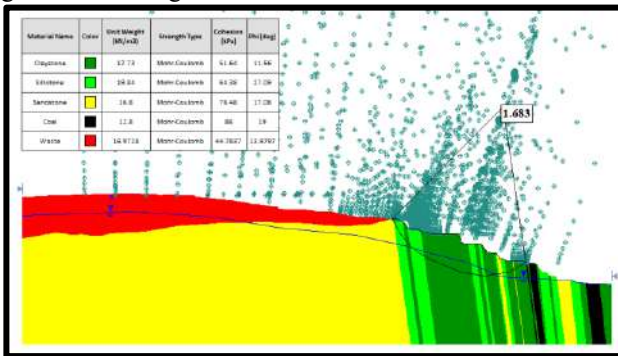
Gambar 12. Simulasi Lereng Lowwall Section A Aktual Setelah Penurunan MAT 5 meter

Simulasi percobaan menurunkan muka air tanah 10 meter pada Lereng *Lowwall Pit Middle Section A* berdasarkan topografi Desember 2021 dapat dilihat pada gambar 13 sebagai berikut.



Gambar 13. Simulasi Lereng Lowwall Section A Aktual Setelah Penurunan MAT 10 meter

Selanjutnya simulasi percobaan menurunkan muka air tanah 15 meter pada Lereng Lowwall Pit Middle Section A berdasarkan topografi Desember 2021 dapat dilihat pada gambar 14 sebagai berikut.



Gambar 14. Simulasi Lereng Lowwall Section A Aktual Setelah Penurunan MAT 15 meter

Berdasarkan 3 simulasi percobaan dewatering terhadap Lereng Lowwall Section A, penulis telah melakukan rekapitulasi simulasi dewatering yang dapat dilihat pada tabel 11 dibawah ini.

Tabel 11. Simulasi Penurunan MAT Lereng Lowwall Section A

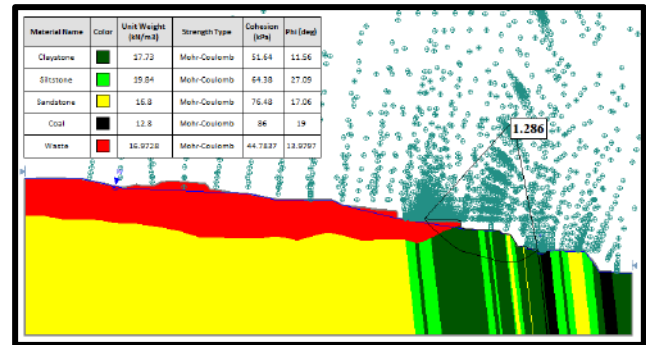
No	Slope	MAT 5 m	MAT 10 m	MAT 15 m
1	Single Slope 1	2,809	3,087	3,087
2	Single Slope 2	2,309	2,309	2,309
3	Single Slope 3	2,511	2,511	2,511
4	Single Slope 4	3,220	3,465	3,465
5	Single Slope 5	3,251	3,596	3,564
6	Single Slope 6	3,643	3,643	3,779
7	<b>Overall Slope</b>	<b>1,352</b>	<b>1,479</b>	<b>1,683</b>

Dari tabel 11 diatas nilai faktor keamanan dari 3 simulasi dewatering Lereng Section A didapatkan nilai FK  $\geq 1,3$  yang artinya sesuai dengan KEPMEN ESDM No.1827 K/MEM/2018, bahwa FK dari 3 simulasi adalah stabil.

#### 4.2.3.2. Simulasi Dewatering Lereng Section B

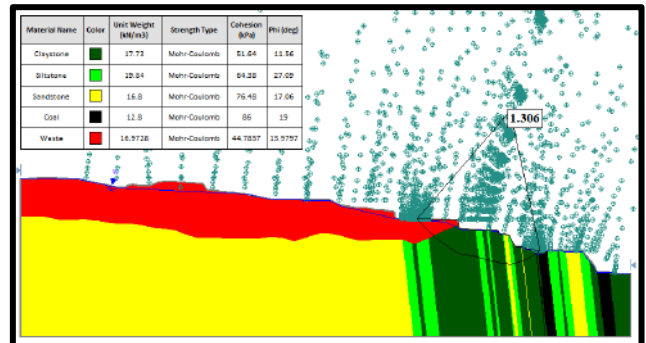
Simulasi pertama dicoba untuk meningkatkan nilai faktor keamanan lereng adalah dengan upaya melakukan dewatering terhadap lereng lowwall aktual section B. Dewatering ini bertujuan untuk mengurangi beban lereng dengan cara menurunkan elevasi muka air tanah (depressurize). Pada simulasi ini dilakukan penurunan elevasi muka air tanah sejumlah 3 elevasi yaitu 0,3 meter, 0,4 meter, dan 0,5 meter.

Adapun simulasi percobaan menurunkan muka air tanah 1 meter pada Lereng Lowwall Pit Middle Section B berdasarkan topografi Desember 2021 dapat dilihat pada gambar 15 sebagai berikut.



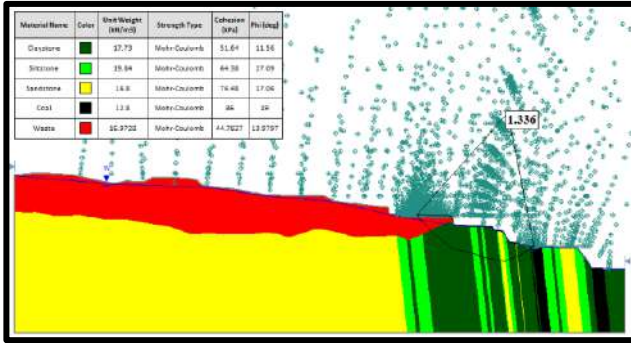
Gambar 15. Simulasi Lereng Lowwall Section B Aktual Setelah Penurunan MAT 0,3 meter

Simulasi percobaan menurunkan muka air tanah 2 meter pada Lereng Lowwall Pit Middle Section B berdasarkan topografi Desember 2021 dapat dilihat pada gambar 16 sebagai berikut.



Gambar 16. Simulasi Lereng Lowwall Section B Aktual Setelah Penurunan MAT 0,4 meter

Selanjutnya simulasi percobaan menurunkan muka air tanah 3 meter pada Lereng Lowwall Pit Middle Section B berdasarkan topografi Desember 2021 dapat dilihat pada gambar 17 sebagai berikut.



Gambar 17. Simulasi Lereng Lowwall Section B Aktual Setelah Penurunan MAT 0,5 meter

Berdasarkan 3 simulasi percobaan dewatering terhadap Lereng Lowwall Section B, penulis telah melakukan rekapitulasi simulasi dewatering yang dapat dilihat pada tabel 12 dibawah ini.

Tabel 12. Simulasi Penurunan MAT Lereng Section B

No	Slope	MAT 0,3 m	MAT 0,4 m	MAT 0,5 m
1	Single Slope 1	2,101	2,204	2,399
2	Single Slope 2	1,105	1,360	1,475
3	Single Slope 3	1,440	1,446	1,501
4	Overall Slope	1,286	1,306	1,336

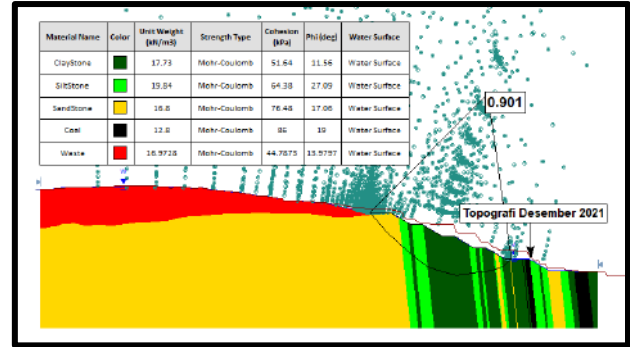
Dari tabel 12 diatas nilai faktor keamanan dari 2 simulasi dewatering Lereng Aktual Section B didapatkan nilai  $FK \geq 1,3$  yang artinya sesuai dengan KEPMEN ESDM No.1827 K/MEM/2018, bahwa FK dari 2 simulasi adalah stabil.

4.2.4. Simulasi Resloping Lereng Lowwall Pit Middle

4.2.4.1. Simulasi Resloping Lereng Section A

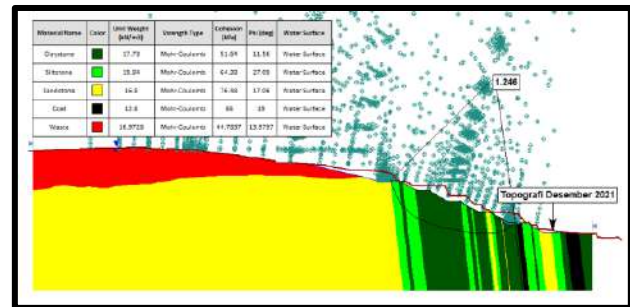
Simulasi kedua yaitu melakukan simulasi resloping model Lereng Lowwall Section A. Simulasi Resloping dilakukan untuk mengetahui berapa kemiringan Lereng Lowwall yang ideal Pit Middle. Penulis melakukan 3 simulasi resloping dengan mensimulasikan tinggi single slope yaitu 10 m, 9 m, dan 8 m. Lebar bench yaitu 10 m, dan sudut single slope yaitu 30°. Kondisi muka air tanah diasumsikan jenuh.

Adapun hasil simulasi resloping 1 dengan tinggi single slope 10 m, lebar bench 10 m, dan sudut single slope 30° yang telah penulis lakukan dapat dilihat pada gambar 18 dibawah ini.



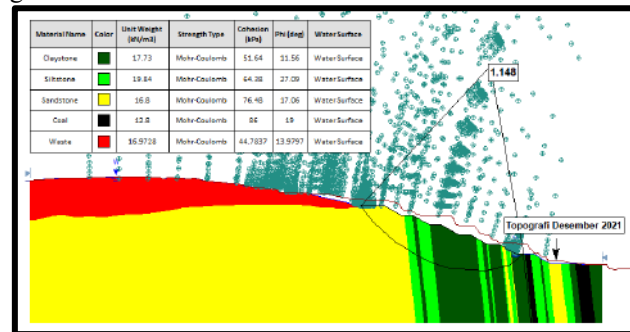
Gambar 18. Simulasi Resloping 1 Lereng Pit Middle Section A

Hasil simulasi resloping 2 dengan tinggi single slope 9 m, lebar bench 10 m, dan sudut single slope 30° yang telah penulis lakukan dapat dilihat pada gambar 19 dibawah ini.



Gambar 19. Simulasi Resloping 2 Lereng Pit Middle Section A

Selanjutnya hasil simulasi resloping 3 dengan tinggi single slope 8 m, lebar bench 10 m, dan sudut single slope 30° yang telah penulis lakukan dapat dilihat pada gambar 20 dibawah ini.



Gambar 20. Simulasi Resloping 3 Lereng Pit Middle Section A

Berdasarkan 3 simulasi percobaan resloping terhadap Lereng Lowwall Section A, penulis telah melakukan rekapitulasi simulasi dewatering yang dapat dilihat pada tabel 13 dibawah ini.

**Table 13.** Hasil Simulasi *Resloping* Lereng *Section A*

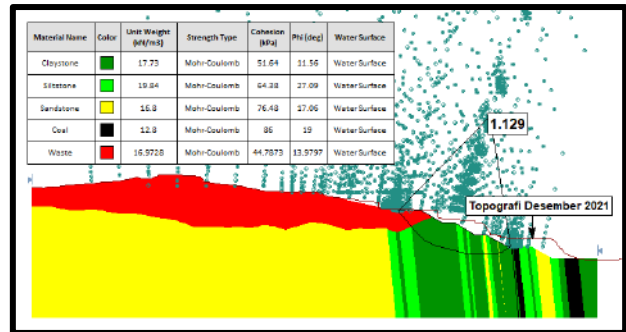
Simulasi	Analisis Slope	Slope (degree)	Lebar Bench	Tinggi (m)	Faktor Keamanan	
					Natural	Jenuh
1	Slope 1	30	10	10	3,013	2.463
	Slope 2	30	10	10	2,404	2.096
	Slope 3	30	10	10	2,406	2.175
	Slope 4	30	20	10	2,053	1.726
	Slope 5	30	42	10	2,321	1.894
	<b>Overall</b>	<b>20</b>		<b>50</b>	<b>1,325</b>	<b>0,901</b>
2	Slope 1	30	10	9	2,990	2,471
	Slope 2	30	10	9	2,245	2,376
	Slope 3	30	10	9	2,393	2,102
	Slope 4	30	20	9	2,474	2,216
	Slope 5	30	41	9	3,224	2,731
	<b>Overall</b>	<b>19</b>		<b>54</b>	<b>1,371</b>	<b>1,226</b>
3	Slope 1	30	10	8	3,630	3,512
	Slope 2	30	10	8	2,921	2,856
	Slope 3	30	10	8	2,477	2,320
	Slope 4	30	10	8	2,584	2,435
	Slope 5	30	20	8	2,553	2,382
	Slope 6	30	43,7	8	3,240	3,096
	<b>Overall</b>	<b>19</b>		<b>48</b>	<b>1,361</b>	<b>1,148</b>

Dari tabel 13 diatas nilai faktor keamanan dari 3 simulasi *resloping* Lereng *Section A* didapatkan nilai FK jenuh  $\leq 1,3$  yang artinya sesuai dengan KEPMEN ESDM No.1827 K/MEM/2018, bahwa FK dari 3 simulasi adalah kritis.

**4.2.4.2. Simulasi *Resloping* Lereng *Section B***

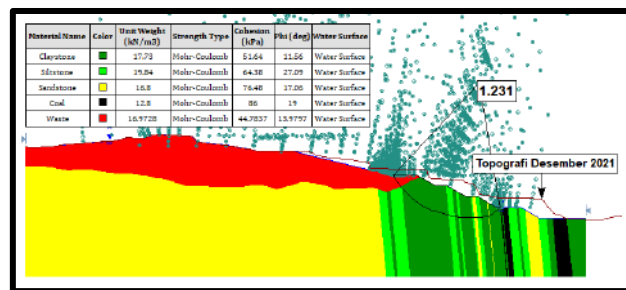
Simulasi kedua yaitu melakukan simulasi *resloping* model Lereng *Lowwall Section B*. Simulasi *Resloping* dilakukan untuk mengetahui berapa kemiringan Lereng *Lowwall* yang ideal *Pit Middle*. Penulis melakukan 3 simulasi *resloping* dengan mensimulasikan tinggi *single slope* yaitu 10 m, 9 m, dan 8 m. Lebar *bench* yaitu 10 m, dan sudut *single slope* yaitu 30°. Kondisi muka air tanah diasumsikan jenuh.

Adapun hasil simulasi *resloping* 1 dengan tinggi *single slope* 10 m, lebar *bench* 10 m, dan sudut *single slope* 30° yang telah penulis lakukan dapat dilihat pada gambar 21 dibawah ini.



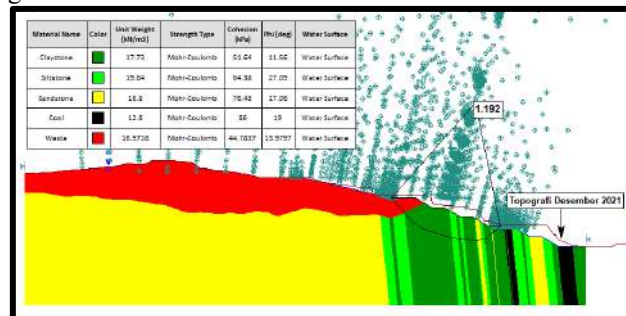
**Gambar 21.** Simulasi *Resloping* 1 Lereng *Pit Middle Section B*

Hasil simulasi *resloping* 2 dengan tinggi *single slope* 9 m, lebar *bench* 10 m, dan sudut *single slope* 30° yang telah penulis lakukan dapat dilihat pada gambar 22 dibawah ini.



**Gambar 22.** Simulasi *Resloping* 2 Lereng *Pit Middle Section B*

Selanjutnya hasil simulasi *resloping* 3 dengan tinggi *single slope* 8 m, lebar *bench* 10 m, dan sudut *single slope* 30° yang telah penulis lakukan dapat dilihat pada gambar 23 dibawah ini.



**Gambar 23.** Simulasi *Resloping* 3 Lereng *Pit Middle Section B*

Berdasarkan 3 simulasi percobaan *resloping* terhadap Lereng *Lowwall Section B*, penulis telah melakukan rekapitulasi simulasi *dewatering* yang dapat dilihat pada tabel 14 dibawah ini.

**Tabel 14.** Hasil Simulasi *Resloping* Lereng *Section B*

Simulasi	Analisis Slope	Slope (°)	Lebar Bench	Tinggi (m)	Faktor Keamanan	
					Natural	Jenuh
1	SLOPE 1	30°	10	10	2,229	1,900
	SLOPE 2	30°	10	10	2,310	1,816
	SLOPE 3	30°	20	10	2,479	2,190
	SLOPE 4	30°	20	10	2,752	2,280
	<b>OVERALL</b>	<b>20°</b>		<b>40</b>	<b>1,410</b>	<b>1,129</b>
2	SLOPE 1	30°	10	9	2,181	2,075
	SLOPE 2	30°	10	9	2,044	2,112
	SLOPE 3	30°	20	9	2,549	2,382
	SLOPE 4	30°	10	9	2,997	2,776
	<b>OVERALL</b>	<b>19°</b>		<b>36</b>	<b>1,303</b>	<b>1,231</b>
3	SLOPE 1	30°	10	8	2,521	2.409
	SLOPE 2	30°	10	8	2,663	2.522
	SLOPE 3	30°	20	8	2,554	2.379
	SLOPE 4	30°	10	8	3,609	3.410
	SLOPE 5	30°	20	8	2,956	2.767
	<b>OVERALL</b>	<b>19°</b>		<b>40</b>	<b>1,314</b>	<b>1.192</b>

Dari tabel 14 diatas nilai faktor keamanan dari 3 simulasi *resloping* Lereng *Section B* didapatkan nilai FK jenuh  $\leq 1,3$  yang artinya sesuai dengan KEPMEN ESDM No.1827 K/MEM/2018, bahwa FK dari 3 simulasi adalah kritis.

4.2.5. Simulasi *Resloping* + *Dewatering* Lereng *Lowwall Pit Middle*

4.2.5.1. Simulasi *Resloping* + *Dewatering* Lereng *Section A*

Berdasarkan hasil simulasi *resloping* terhadap Lereng *Pit Middle Section A* belum mendapatkan faktor keamanan sesuai dengan KEPMEN ESDM No.1827 K/MEM/2018 yaitu  $FK \geq 1,3$ . Maka penulis melakukan simulasi ketiga yaitu dengan cara melakukan *dewatering* terhadap simulasi *resloping* lereng *Pit Middle*. Adapun simulasi *dewatering* yang penulis lakukan adalah dengan menurunkan elevasi muka air tanah (MAT) menjadi 3 simulasi yaitu penurunan muka air tanah 5 m, 10 m, dan 15 m. Hal ini tentunya penulis lakukan untuk mengurangi beban pada lereng sehingga didapatkan Faktor Keamanan yang sesuai dengan KEPMEN ESDM No.1827 K/MEM/2018 yaitu  $FK \geq 1,3$ .

Adapun rekapitulasi simulasi *resloping* + *dewatering* Lereng *Pit Middle Section A* setelah dilakukan simulasi *dewatering* dapat dilihat pada tabel 15 dibawah ini.

**Tabel 15.** Hasil Simulasi *Resloping*+*Dewatering* Lereng *Section A*

No	Analisis Slope	Slope (°)	Lebar Bench	Tinggi (m)	Faktor Keamanan				
					Natural	Jenuh	MAT 5 m	MAT 10 m	MAT 15 m
1	SLOPE 1	30°	10	10	3,013	2,463	3,264	3,196	3,326
	SLOPE 2	30°	10	10	2,404	2,096	2,647	2,677	2,675
	SLOPE 3	30°	10	10	2,406	2,175	2,591	2,632	2,632
	SLOPE 4	30°	20	10	2,053	1,726	2,100	2,594	2,539
	SLOPE 5	30°	42	10	2,321	1,894	2,069	2,105	2,438
	<b>OVERALL</b>	<b>20°</b>		<b>50</b>	<b>1,325</b>	<b>0,901</b>	<b>0,993</b>	<b>1,239</b>	<b>1,542</b>
2	SLOPE 1	30°	10	9	2,990	2,471	2,952	3,060	3,060
	SLOPE 2	30°	10	9	2,245	2,376	2,590	2,617	2,617
	SLOPE 3	30°	10	9	2,393	2,102	2,489	2,675	2,675
	SLOPE 4	30°	20	9	2,474	2,216	2,133	2,813	2,813
	SLOPE 5	30°	41	9	3,224	2,731	3,143	3,195	3,292
<b>OVERALL</b>	<b>19°</b>		<b>54</b>	<b>1,371</b>	<b>1,246</b>	<b>1,404</b>	<b>1,504</b>	<b>1,604</b>	
3	SLOPE 1	30°	10	8	3,630	3,512	4,230	4,130	4,130
	SLOPE 2	30°	10	8	2,921	2,856	3,724	3,688	3,688
	SLOPE 3	30°	10	8	2,477	2,320	2,787	2,883	2,883
	SLOPE 4	30°	10	8	2,584	2,435	2,740	2,870	2,870
	SLOPE 5	30°	20	8	2,553	2,382	2,888	2,816	2,898
	SLOPE 6	30°	43,7	8	3,240	3,096	3,417	3,417	3,424
<b>OVERALL</b>	<b>19°</b>		<b>48</b>	<b>1,361</b>	<b>1,148</b>	<b>1,351</b>	<b>1,437</b>	<b>1,531</b>	

Untuk menerapkan hasil simulasi lereng *section A* pada Lereng *Lowwall Pit Middle* diatas, dibutuhkan pengupasan *overburden* pada setiap simulasi lereng *section A*. Adapun *volume* yang akan dikupas untuk setiap simulasi lereng dapat dilihat pada tabel 16 dibawah ini.

**Tabel 16.** Volume Pengupasan *Overburden* Hasil Simulasi Lereng A

No	Simulasi	Volume Pengupasan <i>Overburden</i>
1	Simulasi 1	132.010 BCM
2	Simulasi 2	161.120 BCM
3	Simulasi 3	140.940 BCM

4.2.5.2. Simulasi *Resloping* + *Dewatering* Lereng *Section B*

Berdasarkan hasil simulasi *resloping* terhadap Lereng *Pit Middle Section B* belum mendapatkan faktor keamanan sesuai dengan KEPMEN ESDM No.1827 K/MEM/2018 yaitu  $FK \geq 1,3$ . Maka penulis melakukan simulasi ketiga yaitu dengan cara melakukan *dewatering* terhadap simulasi *resloping* lereng *Pit Middle*. Adapun simulasi *dewatering* yang penulis lakukan adalah dengan menurunkan elevasi muka air tanah (MAT) menjadi 3 simulasi yaitu penurunan muka air tanah 5 m, 10 m, dan 15 m. Hal ini tentunya penulis lakukan untuk mengurangi beban pada lereng sehingga didapatkan Faktor Keamanan yang sesuai dengan KEPMEN ESDM No.1827 K/MEM/2018 yaitu  $FK \geq 1,3$ .

Adapun rekapitulasi simulasi *resloping* + *dewatering* Lereng *Pit Middle Section B* setelah dilakukan simulasi *dewatering* dapat dilihat pada tabel 17 dibawah ini.

**Tabel 17.** Hasil Simulasi *Resloping+Dewatering* Lereng *Section B*

No	Analisis Slope	Slope (°)	Lebar Bench	Tinggi (m)	Faktor Keamanan				
					Natural	Jenuh	MAT 5 m	MAT 10 m	MAT 15 m
1	SLOPE 1	30°	10	10	2,229	1,900	2,449	2,449	2,449
	SLOPE 2	30°	10	10	2,310	1,816	2,316	2,564	2,564
	SLOPE 3	30°	20	10	2,479	2,190	2,663	2,772	2,772
	SLOPE 4	30°	20	10	2,752	2,280	2,787	2,924	2,924
	OVERALL	20°		40	1,410	1,129	1,300	1,497	1,596
2	SLOPE 1	30°	10	9	2,181	2,075	2,642	2,613	2,613
	SLOPE 2	30°	10	9	2,044	2,112	2,321	2,485	2,485
	SLOPE 3	30°	20	9	2,549	2,382	2,923	3,003	3,003
	SLOPE 4	30°	10	9	2,997	2,776	3,313	3,408	3,408
	OVERALL	19°		36	1,303	1,231	1,484	1,546	1,655
3	SLOPE 1	30°	10	8	2,521	2,409	2,803	2,803	2,803
	SLOPE 2	30°	10	8	2,663	2,522	3,031	3,053	3,053
	SLOPE 3	30°	20	8	2,554	2,379	2,559	2,725	2,725
	SLOPE 4	30°	10	8	3,609	3,410	4,167	4,184	4,184
	SLOPE 5	30°	20	8	2,956	2,767	2,814	3,106	3,106
OVERALL	19°		40	1,314	1,192	1,384	1,644	1,817	

Untuk menerapkan hasil simulasi lereng *section B* pada Lereng *Lowwall Pit Middle* diatas, dibutuhkan pengupasan *overburden* pada setiap simulasi lereng *section B*. Adapun *volume* yang akan dikupas untuk setiap simulasi lereng dapat dilihat pada tabel 18 dibawah ini.

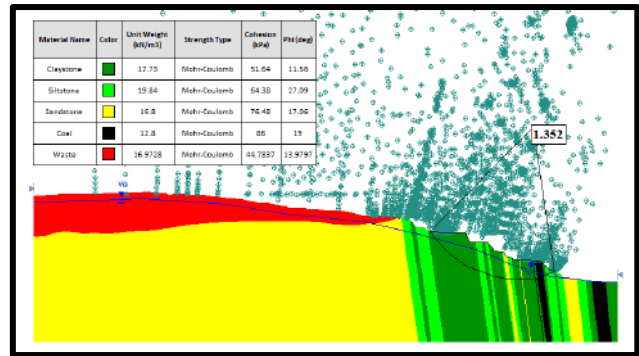
**Tabel 18.** Volume Pengupasan *Overburden* Hasil Simulasi Lereng B

No	Simulasi	Volume Pengupasan <i>Overburden</i>
1	Simulasi 1	115,390 BCM
2	Simulasi 2	166.160 BCM
3	Simulasi 3	100.390 BCM

4.2.6. Rekomendasi Lereng *Lowwall Pit Middle*

4.2.6.1. Rekomendasi MAT 5 m Lereng Aktual *Section A*

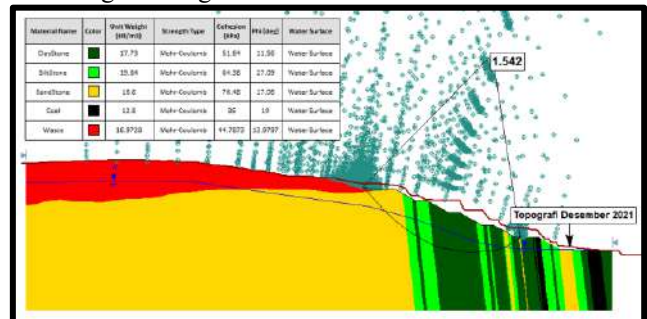
Berdasarkan hasil simulasi tabel 11 yang penulis paparkan diatas. Simulasi penurunan muka air tanah 5 meter merupakan simulasi yang efektif untuk direkomendasikan pada lereng aktual *section A*. Pertimbangan penulis memilih simulasi 1 yaitu biaya serta waktu pengerjaan dari simulasi 1 lebih singkat dibandingkan simulasi penurunan MAT 10 meter dan 15 meter, dan juga nilai FK yang didapatkan dari simulasi penurunan MAT 5 meter ini yaitu 1,352. Artinya FK yang didapatkan dari simulasi penurunan MAT 5 meter telah sesuai dengan FK yang ditentukan KEPMEN ESDM No.1827 K/MEM/2018 yaitu  $FK \geq 1,3$ .



**Gambar 24.** Rekomendasi 1 FK Lereng Aktual *Section A*

4.2.6.2. *Resloping + Dewatering* Lereng *Section A*

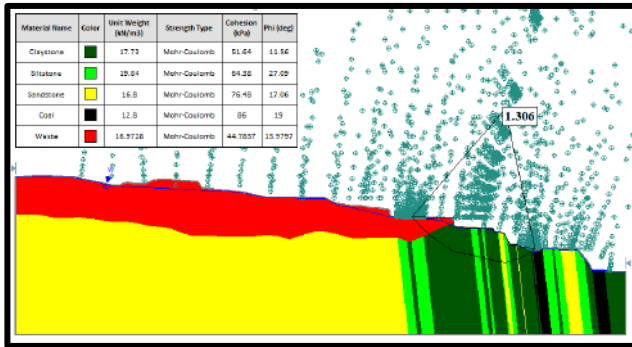
Berdasarkan Tabel 15 dan Tabel 16 yang telah penulis paparkan diatas. Simulasi 1 merupakan simulasi yang efektif untuk direkomendasikan pada lereng *lowwall section A* dengan melakukan *resloping* dan penurunan muka air tanah 15 meter. Pertimbangan penulis memilih simulasi 1 yaitu *volume overburden* yang dikupas lebih sedikit dibandingkan dengan simulasi 2 dan 3.



**Gambar 25.** Rekomendasi 2 FK Lereng Aktual *Section A*

4.2.6.3. Rekomendasi MAT 0,3 m Lereng Aktual *Section B*

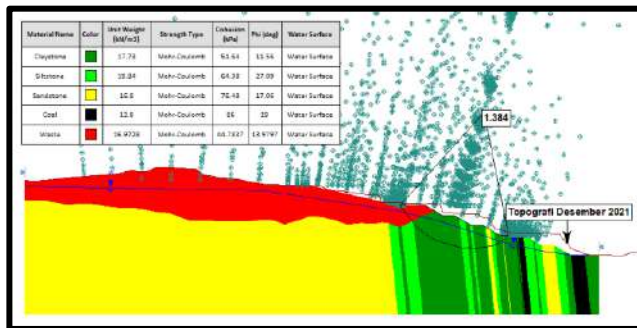
Berdasarkan hasil simulasi tabel 12 yang penulis paparkan diatas. Simulasi penurunan muka air tanah 1 meter merupakan simulasi yang efektif untuk direkomendasikan pada lereng aktual *section A*. Pertimbangan penulis memilih simulasi 2 yaitu biaya serta waktu pengerjaan dari simulasi 2 lebih singkat dibandingkan simulasi penurunan MAT 0,3 meter dan 0,5 meter, dan juga nilai FK yang didapatkan dari simulasi penurunan MAT 0,4 meter ini yaitu 1,306. Artinya FK yang didapatkan dari simulasi penurunan MAT 0,4 meter telah sesuai dengan FK yang ditentukan KEPMEN ESDM No.1827 K/MEM/2018 yaitu  $FK \geq 1,3$ .



Gambar 26. Rekomendasi 1 FK Lereng Aktual Section B

#### 4.2.6.4. Resloping + Dewatering Lereng Section B

Berdasarkan Tabel 17 dan Tabel 18 yang telah penulis paparkan diatas. Simulasi 3 merupakan simulasi yang efektif untuk direkomendasikan pada lereng *lowwall section B* dengan melakukan resloping dan penurunan muka air tanah 5 meter. Pertimbangan penulis memilih simulasi 3 yaitu *volume overburden* yang dikupas lebih sedikit dibandingkan dengan simulasi 2 dan 3.



Gambar 27. Rekomendasi 2 FK Lereng Aktual Section B

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. KESIMPULAN

- Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, adapun karakter fisik pada material penyusun lereng yang digunakan sebagai input parameter dalam menganalisa kestabilan lereng sebagai berikut:
  - Bobot isi *claystone* adalah 17,73 kN/m<sup>3</sup>.
  - Bobot isi *siltstone* adalah 19,84 kN/m<sup>3</sup>.
  - Bobot isi *sandstone* adalah 16,8 kN/m<sup>3</sup>.
  - Bobot isi *coal* adalah 12,8 kN/m<sup>3</sup>.
  - Bobot isi *waste* adalah 16,9728 kN/m<sup>3</sup>.
- Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, adapun karakter mekanis pada material penyusun lereng yang digunakan sebagai input parameter dalam menganalisa kestabilan lereng sebagai berikut:
  - Kohesi *claystone* adalah 51,64 kPa dan sudut geser dalam *claystone* adalah 11,56°.
  - Kohesi *siltstone* adalah 64,38 kPa dan sudut geser dalam *siltstone* adalah 27,09°.

- Kohesi *sandstone* adalah 76,48 kPa dan sudut geser dalam *sandstone* adalah 17,06°.
  - Kohesi *batubara* adalah 86 kPa dan sudut geser dalam *batubara* adalah 19°.
  - Kohesi *waste* adalah 44,78 kPa dan sudut geser dalam *waste* adalah 13,9797°.
- Berdasarkan hasil analisis yang penulis lakukan, adapun nilai FK natural dan FK jenuh lereng *lowwall actual Pit Middle* sebagai berikut:
    - Section A*, FK natural yaitu 1,296 dan FK jenuh yaitu 1,072.
    - Section B*, FK natural yaitu 1,282 dan FK jenuh yaitu 1,194.
  - Berdasarkan hasil simulasi yang telah penulis lakukan, dilakukan penurunan muka air tanah pada lereng aktual serta melakukan *resloping* dan *dewatering* terhadap lereng *lowwall Pit Middle*. Adapun hasil simulasi yang penulis rekomendasikan terhadap lereng *lowwall Pit Middle* sebagai berikut:
    - Lereng *Section A*
      - Dilakukan penurunan elevasi muka air tanah 5 meter pada lereng aktual sehingga diperoleh nilai FK yaitu 1,352.
      - Dilakukan *resloping* dan *dewatering* dengan geometri lereng yaitu tinggi *single slope* 10 meter, sudut *single slope* 30°, lebar *bench* 10 meter, sudut *overall slope* 20°. Penurunan elevasi muka air tanah 15 meter dari permukaan lereng. Sehingga nilai FK yang diperoleh dari hasil simulasi ini yaitu 1,542.
    - Lereng *Section B*
      - Dilakukan penurunan elevasi muka air tanah 0,3 meter pada lereng aktual sehingga diperoleh nilai FK yaitu 1,306.
      - Dilakukan *resloping* dan *dewatering* dengan geometri lereng yaitu tinggi *single slope* 8 meter, sudut *single slope* 30°, lebar *bench* 10 meter, sudut *overall slope* 19°. Penurunan elevasi muka air tanah 5 meter dari permukaan lereng. Sehingga nilai FK yang didapatkan dari hasil simulasi ini yaitu 1,384.

### 5.2. SARAN

Dari hasil penelitian ini, penulis memberikan beberapa saran yang nantinya bisa dijadikan referensi bagi perusahaan untuk mencegah terjadinya longsoran lereng dan tidak stabilnya keamanan dari lereng. Adapun saran penulis sebagai berikut:

- Melakukan pengamatan terhadap poin-poin berikut secara rutin antara lain:
  - Elevasi puncak lereng (*crest*).
  - Elevasi kaki lereng (*toe*).
  - Tinggi lereng dan kemiringan lereng serta lebar tanggul pengaman (*safety berm*).
  - Genangan air permukaan.
  - Permukaan tanah yang bergerak.
  - Sistem *drainase*.

- g) Rembesan pada kaki lereng.
2. Menurunkan elevasi muka air tanah sesuai ketinggian yang telah penulis rekomendasikan.  
Untuk menurunkan muka air tanah sesuai dengan batas ketinggian yang telah dilampirkan diatas agar kondisi lereng tetap stabil, maka penulis menyarankan agar memasang *drain hole* pada lereng *lowwall pit middle* atau menggunakan metode *pumping well*. Metode *pumping well* biasanya dipasang disepanjang lereng dengan mengoperasikan pompa dalam jangka waktu tertentu. Sedangkan *drain hole* melakukan pemboran baik secara horizontal ataupun vertikal dengan memanfaatkan gaya gravitasi dalam mengalirkan.
  3. Pengendalian air permukaan  
Perlu nya pengendalian air permukaan dilakukan untuk mengurangi terjadinya erosi dengan membuat parit pada kaki lereng untuk mengarahkan aliran air pada area lereng *Lowwall Pit Middle*.
  4. Pengamatan lereng secara intensif  
Pengamatan lereng secara berkala perlu dilakukan secara intensif, untuk mengetahui adanya pergerakan badan lereng secara intensif dengan alat pemantau lereng (extensometer).
  5. Memperbaiki retakan yang berada di *disposal*  
Memperbaiki retakan/rekahan ini dengan melakukan penutupan terhadap retakan atau rekahan tersebut yang berguna agar air tidak masuk kedalam retakan/rekahan yang mana menjadi salah satu faktor terjadinya kelongsoran pada lereng tambang.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arif Irwandi. 2016. Geoteknik Tambang. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [2] Bria, K., & Isjudarto, A. (2015). Analisis Kestabilan Lereng pada Tambang Batubara Terbuka Pit D Selatan Pt. Artha Niaga Cakrabuana Job Site Cv. Prima Mandiri Desa Dondang Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. *ReTII*.
- [3] Febriadi, A., & Anaperta, Y. M. (2020). Analisis Kestabilan Lereng pada Blok Timur Tambang Muara Tiga Besar Utara PT. Bukit Asam Tbk, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. *Bina Tambang*, 5(4), 11-20.
- [4] Husien, D., Heriyadi, B., & Anaperta, Y. M. (2018). *Slope stability analysis at Pit AI-Block B PT. Anugerah Alam Andalas Muara Ketalo Village, Sungai Bengkal, Tebo Ilir Subdistrict, Tebo District, Jambi Province. Bina Tambang*, 3(1), 504-523.
- [5] Ludong, A. R., Turangan, A. E., & Monintja, S. (2015). Analisa Kestabilan Lereng Metode Spencer. *TEKNO*, 13(64).
- [6] Marini, A. E., Anaperta, Y. M., & Saldy, T. G. (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.
- [7] 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.
- [8] Muntaha, M. (2016). Studi kestabilan lereng alam tambang terbuka (studi kasus: lereng tambang batu kapur Lamongan dan Madura). *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 14(1), 1-8.
- [9] Perdana, A. Y. (2021). Geologi dan Analisis Kestabilan Lereng Berdasarkan Metode Morgenstern-Price Pada Daerah Pulau Laut Timur Kabupaten Kotabaru Kalimantan Selatan (*Doctoral dissertation, Universitas Jenderal Soedirman*).
- [10] Satria, R. (2015). Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Kualitas Massa Batuan di Area Tambang Terbuka Batubara PT. Karya Hasil Utama, Kabupaten Sijunjung, Provinsi Sumatera Barat. *Skripsi tidak diterbitkan. Padang: UNP*.
- [11] Siti, S. N. (2020). *ANALISIS PENGARUH RETAKAN (CRACK) PADA STABILITAS LERENG DENGAN ALIRAN STEADY DAN TRANSIENT* (Doctoral dissertation, Universitas Mataram).
- [12] Takwin, G. A., Turangan, A. E., & Rondonuwu, S. G. (2017). Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern-Price (Studi Kasus: *Diamond Hill Citraland*). *TEKNO*, 15(67).
- [13] Wily Saragih, J. O. H. N. (2021). Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan *Limit Equilibrium Method* Pada *Highwall Pit 5 PT. Tambang Bukit Tambil Site* Padang Kelapo Kabupaten Batanghari, Provinsi Jambi (*Doctoral dissertation, Teknik Pertambangan*).