

PENGARUH ELEVASI PERMUKAAN AIR TERHADAP PROBABILITAS KELONGSORAN DAN STABILITAS LERENG TIMBUNAN DI OPEN *PIT* "X" PT BERAU COAL, KALIMANTAN TIMUR

**Muhamad Arief Maulana, Nur Khoirullah, Hanifan Cipta Muamar Ka'bah,
Mohamad Sapari Dwi Hadian**

Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Bandung

Email : muhamad19045@mail.unpad.ac.id

Naskah Diterima: Agustus 2023/Revisi: September 2023 /Disetujui: November 2023

ABSTRAK

Kegiatan penambangan di tambang terbuka (*open pit mining*) membutuhkan tempat untuk menyimpan material penutup bahan galian (*overburden*) yang biasa disebut sebagai *disposal*. Pada beberapa kasus, penimbunan material *overburden* dilakukan di lubang bekas galian tambang (*void*). Kegiatan penimbunan material *overburden* membutuhkan perencanaan yang baik. Penelitian ini dilakukan di *open pit* "X" *site* Sambarata PT Berau Coal, Kalimantan Timur. Penelitian ini berfokus pada tujuan untuk mengidentifikasi nilai faktor keamanan lereng timbunan, probabilitas kelongsoran dan menganalisis pengaruh dari tinggi permukaan air terhadap kestabilan lereng timbunan. Penelitian ini menggunakan metode Bishop dengan kondisi pseudostatic dan kondisi muka air tanah *fully saturated*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan lereng pada area penelitian berkisar antara 0.993 hingga 1.33 dan nilai probabilitas kelongsoran 17.1 hingga 35.6 %. Nilai faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran tersebut dipengaruhi oleh bentuk geometri lereng, distribusi tekanan, koefisien getaran dan tinggi permukaan air dimana semakin tinggi permukaan air pada *pit* maka nilai faktor keamanan lerengnya semakin tinggi dan nilai probabilitas kelongsorannya semakin rendah.

Kata Kunci : Analisis Kestabilan Lereng, Probabilitas Kelongsoran, Tambang Terbuka, *Disposal*, *Overburden*

ABSTRACT

The open pit mining activity need a place for storing overburden material which is commonly referred as a disposal. In some cases, overburden material is stockpiled in void. Overburden material stockpiling activities require good planning. This research was conducted in the open pit "X" Site Sambarata PT. Berau Coal, East Kalimantan. The purpose of this study is to calculate the value of the safety factor of the slope, calculate the probability of failure and to analyze the effect of the water level on the slope stability. This study used the Bishop method with pseudostatic conditions and fully saturated groundwater conditions. From the results of this study it was found that the value of the slope safety factor in the study area ranged from 0.993 to 1.33 and the value of the probability of failure is 17.1 to 35.6%. The value of the factor of safety and the probability of failure is influenced by the geometry of the slope, distributed load, seismic load, and the height of the water level where the higher the water level in the pit, the value of the slope safety factor is higher and the value of the probability of failure is lower.

Keywords: Slope Stability Analysis, Probability of Failure, Open Pit Mining, Disposal, Overburden

PENDAHULUAN

Perusahaan tambang batubara di Indonesia umumnya menggunakan metode tambang terbuka (*open pit mining*) untuk melakukan ekstraksi sumber daya batubara. Metode penambangan ini dipilih karena adanya faktor dimana sebagian besar cadangan batubara terletak pada dataran dengan elevasi yang rendah atau di area pegunungan dengan tingkat kemiringan lapisan batubara yang kecil serta topografi yang landai (Fadli et al., 2015). Dalam pertambangan batubara, proses penambangan dimulai dengan kegiatan pembersihan lahan (*land clearing*) terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan dengan kegiatan penggalian bahan galian hingga membentuk suatu lubang tambang (*pit*) dan selanjutnya dilakukan penggalian bahan galian. Material penutup dari bahan galian (*overburden*) nantinya akan dipindahkan dan disimpan di sebuah tempat yang disebut sebagai *disposal*.

Disposal adalah area pada tambang terbuka yang digunakan sebagai tempat untuk menyimpan material buangan yang tidak berharga. Oleh karena itu dalam perencanaan kegiatan penambangan harus diikuti dengan pembuatan *disposal* (Hardianti & Halim, 2021). *Disposal* hendaknya dibuat dengan memperhatikan kaidah geometri atau parameter geoteknik yang telah ditetapkan, sehingga desain dari *disposal* dapat mengakomodir produksi dan aman untuk diimplementasikan di lapangan (Prasetya et al., 2011). Apabila membuat *disposal* tanpa perencanaan yang baik, area *disposal* ini dapat mengalami kelongsoran yang kemudian akan mengganggu jalannya kegiatan operasional pertambangan hingga dapat menyebabkan kematian bagi para pekerja di area operasional (Andriani et al., 2018).

Kestabilan lereng dianalisis dengan melakukan perhitungan faktor keamanan lereng berdasarkan data dari sifat fisik dan mekanik daripada material penyusun lereng. Analisis kestabilan lereng didasarkan pada data dan model geometri lereng yang aktual dan mendekati kondisi aslinya. Akan tetapi, nilai faktor keamanan bukan merupakan satu-satunya parameter dalam menentukan tingkat stabilitas lereng. Analisis probabilitas kelongsoran juga dijadikan sebagai perhitungan karena dalam beberapa kasus, ditemukan lereng yang bersifat stabil secara nilai faktor keamanan tetapi tetap mengalami kelongsoran (Rusni et al., 2019).

Penelitian ini dilakukan di *open pit "X"* PT Berau Coal site Samarata. *Pit* tersebut merupakan *pit* yang sudah tidak aktif dan akan ditimbun dengan kondisi *pit* yang telah dipenuhi air. Kegiatan penimbunan ini, dilakukan dengan metode *High Dump* dimana material akan dibuang dari ketinggian tertentu dan kemudian didorong dengan menggunakan *bulldozer* ke arah *pit* sehingga material timbunan akan membentuk lereng. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat kestabilan dari lereng timbunan dan untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari air permukaan yang ada pada *pit* terhadap kestabilan lereng timbunan di *pit* tersebut.

METODOLOGI

Dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan nilai faktor keamanan lereng dan probabilitas kelongsoran. Nilai faktor keamanan (FK) lereng pada penelitian ini dihitung menggunakan metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*) dengan metode Bishop. Untuk melakukan perhitungan nilai faktor keamanan lereng dengan metode ini, diperlukan data sifat

mekanik dan sifat fisik dari material penyusun lereng. Sifat mekanik dan fisik material penyusun lereng dalam penelitian ini didapatkan dari sampel material timbunan yang telah ada sebelumnya yang berasal dari *pit* yang sama, kemudian dilakukan pengambilan sampel pada material tersebut dan dilakukan uji *direct shear* untuk mendapatkan nilai *unit weight*, kohesi dan sudut gesek dalam. Uji *direct shear* ini dilakukan dengan standar ASTM D5607 (*American Standart Testing and Material*) untuk perhitungan nilai probabilitas kelongsoran (PK), menggunakan metode probabilistik dengan jenis distribusi uniform. Pada analisis ini kestabilan lereng dihitung dengan kondisi *pseudostatic* dimana getaran berasal dari alat berat yang beroperasi di sekitar area penelitian. Analisis kestabilan lereng dalam penelitian ini juga dilakukan dengan kondisi lereng *fully saturated*, dan terdapat beban terdistribusi yang berasal dari alat berat yang beroperasi di area atas lereng.

a. Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Mengacu pada peta geologi regional lembar Tanjung Redeb, Kalimantan Timur (Burhan & Situmorang, 1995), area penelitian termasuk ke dalam Formasi Latih (Tml). Formasi ini dicirikan dengan adanya perselingan antara batupasir kuarsa, batulanau, batulempung, konglomerat, dan batubara pada bagian atas yang bersisipan dengan batugamping dan serpih pasir di bagian bawahnya. Formasi ini memiliki ketebalan yang dapat mencapai 800 meter dengan ketebalan lapisan batubara berkisar 20 – 550 cm, berwarna hitam – coklat. Umur dari formasi ini adalah Miosen Awal – Miosen Tengah. Bagian atas dari formasi Latih banyak mengandung batubara dan diendapkan pada lingkungan fluvial hingga delta plain, sedangkan bagian bawahnya diendapkan di lingkungan paparan delta yang tidak mengandung batubara.

b. Analisis Kestabilan Lereng Metode Bishop

Bishop (1955) memperkenalkan suatu metode untuk menganalisis kestabilan lereng secara lebih detail. Metode ini mempertimbangan kesetimbangan momen dan pada metode ini pula dilakukan kalkulasi terhadap gaya-gaya yang bekerja pada tiap irisan. Nilai faktor keamanan dalam metode ini secara spesifik dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Bishop, 1955):

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^p (c.B_n \cdot \sec \alpha + W_n \cos \alpha_n \tan \varphi)}{\sum_{n=1}^p [W_n \sin \alpha_n + k_h W_n \left(\frac{L_n}{R}\right)]}$$

Keterangan :

FS = Faktor Keamanan

c = kohesi

B = panjang horizontal bidang irisan

W = luas tiap irisan

μ = tekanan air pori

α = sudut antara titik tengah bidang irisan dengan titik pusat busur bidang longsor

φ = sudut gesek dalam

Kh = Koefisien gempa

R = Jari-jari longsor

Penelitian ini menggunakan bantuan software Slide2 dalam melakukan simulasi. Adapun acuan nilai faktor keamanan lereng dan probabilitas kelongsoran dalam penelitian ini adalah Kepmen ESDM Nomor 1827 Tahun 2018.

Tabel 1 Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor yang Diizinkan
(Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018, 2018)

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (Consequences of Failure/ CoF)	Kriteria dapat diterima (Acceptance Criteria)		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (Min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor (Probability of Failure) (maks) PoF (FK≤1)
Lereng tunggal	Rendah s.d. Tinggi	1,1	Tidak ada	25-50%
Inter-ramp	Rendah	1,15-1,2	1,0	25%
	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%

c. Aspek Perhitungan Getaran

Pada saat menganalisis kestabilan lereng dengan metode *pseudostatic* diperlukan suatu koefisien *pseudostatic* atau koefisien getaran. Koefisien getaran dalam penelitian ini diakibatkan oleh unit alat berat yang terdiri dari Dump Truck HD yang didapat dengan persamaan (Ningrum et al., 2019):

$$A_{maks} = 2 \times 3.14159 \times PPV \times F / 386.4$$

$$A_{maks} = 2 \times 3.14159 \times 0.98 \times 1 / 386.4$$

$$A_{maks} = 0.0159$$

Keterangan:

PPV = *Peak Particle Velocity* (inch/s)

F = Frekuensi (Hz)

Nilai tersebut kemudian dibulatkan menjadi 0.02. untuk mensimulasikan nilai dengan kemungkinan terburuk yang dapat terjadi.

d. Beban Terdistribusi (Distributed Load)

Beban terdistribusi (*distributed load*) merupakan tekanan yang tersebar pada area dengan panjang, luas atau volume tertentu (Baker & Haynes, 2023). Tekanan ini dapat terdistribusi horizontal dan vertikal. Dalam penelitian ini, beban terdistribusi secara horizontal berasal dari alat berat yang beroperasi di area atas area lereng. Unit yang beroperasi pada area penelitian ini terdiri dari *dump truck* berjenis CAT 777 yang memiliki bobot kosong 161.030 kg dengan *payload* 70.335 kg (Adams, 2019). Panjang keseluruhan dari CAT 777 adalah 9.78m sehingga memiliki *distributed load* sebesar 23.656 kg/m² dan kemudian dikonversikan menjadi 232 kN/m². Selain itu terdapat *bulldozer* Caterpillar D8 memiliki berat kosong 37.580 kg dengan panjang keseluruhan 4.93m (Adams, 2019) sehingga menghasilkan *distributed load* sebesar 7.622 kg/ m² yang kemudian dikonversikan menjadi 75 kN/m².

e. Tekanan Hidrostatik

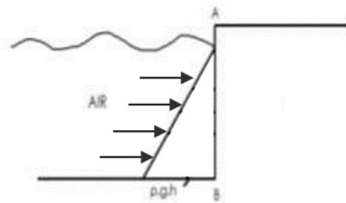
Tekanan hidrostatik secara definisi merupakan tekanan yang berasal dari zat cair yang menekan pada suatu luas bidang tekan dengan kedalaman tertentu (Hardiyatmo, 2002). Besaran dari tekanan hidrostatik dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya lain gravitasi, massa jenis zat cair, dan kedalaman. Tekanan hidrostatik dihitung dengan persamaan:

$$P = \rho g h$$

Keterangan:

ρ = massa jenis zat cair
 g = gravitasi
 h = kedalaman.

Salah satu contoh penerapan tekanan hidrostatik adalah pada lereng bendungan, dimana gaya dari zat cair menekan ke arah lereng bendungan secara horizontal.



Gambar 1 Ilustrasi Tekanan Hidrostatik dari Air terhadap Lereng (Nurnawaty et al., 2018)

f. Konsep Probabilitas Kelongsoran (PK)

Probabilitas kelongsoran merupakan perhitungan yang berdasarkan pada hasil analisis faktor keamanan lereng yang kemudian disajikan dalam bentuk persentase nilai daripada jumlah keseluruhan nilai faktor keamanan lereng yang memiliki nilai $FK < 1$ dibagikan dengan jumlah nilai FK yang dilakukan pengujian (Arifadillah et al., 2021). Nilai probabilitas kelongsoran dihitung dengan persentase nilai faktor keamanan (FK) lebih dari satu atau dimana parameter gaya penahan lebih besar dari gaya pendorong yang ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$PK = (N-M) / N \times 100\%$$

Keterangan:

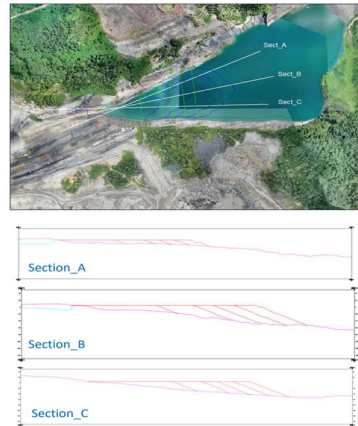
PK = Probabilitas kelongsoran;
 N = Jumlah uji yang dilakukan;
 M = Jumlah nilai yang memenuhi asumsi $FK > 1$

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Penarikan Section Lereng Timbunan

Pada area penelitian, dibuat tiga *section* lereng timbunan yang kemudian dinamai dengan *section A*, *section B* dan *section C*. *Section A* merupakan *section* yang ditarik ke arah *highwall*,

section B ke area tengah *pit* dan *section C* ke area low wall. Penarikan tiga *section* ini dibuat supaya analisis ini dapat mewakili setiap kondisi yang ada di *open pit* "X". Gambar 2 menunjukkan penarikan ketiga *section*, yaitu *section A*, *section B* dan *section C* dimana berdasarkan penarikan tiga *section* tersebut, dapat diketahui bahwa pada *section A* memiliki ketinggian lereng yang lebih rendah, yang kemudian diikuti oleh *section C* dan *section B*.



Gambar 2 *Section* Pada Area Penelitian Skala 1:7.500

b. Material Penyusun Lereng

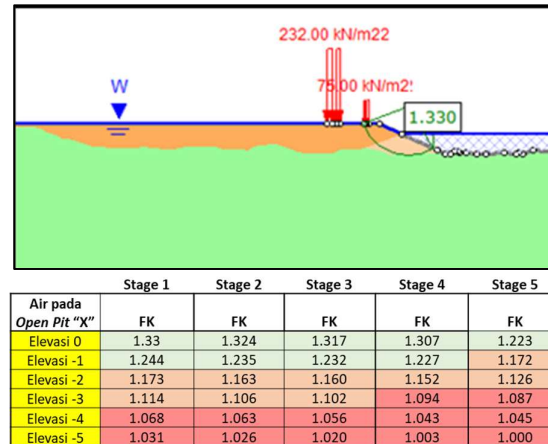
Material pada area penelitian dibagi menjadi tiga, yang terdiri dari *bedrock*, material timbunan dan material timbunan jenuh. Perlapisan batuan yang ada pada bagian dasar *pit* diseragamkan menjadi *bedrock* dikarenakan kurangnya data yang dimiliki, sedangkan material penyusun lereng terdiri dari material homogen yang merupakan material *overburden* yang telah diberai dengan metode *blasting*. Nilai material properties dari material timbunan dan material timbunan jenuh didapat dari hasil uji *direct shear* yang dilakukan di laboratorium oleh departemen Geoteknik & Hidrologi PT. Berau Coal.

Tabel 2 Properties Material Penyusun Lereng

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface
						
Timbunan		19	Mohr-Coulomb	60	35	Water Surface
Timbunan Jenuh		22	Mohr-Coulomb	25	5	Water Surface

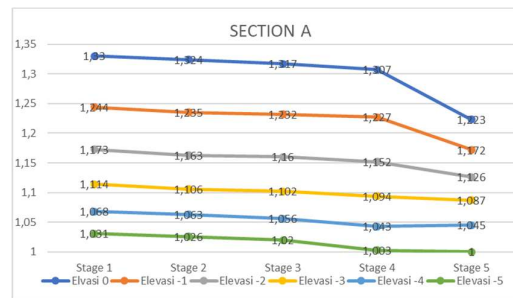
c. Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng dilakukan di ketiga *section* yang terdiri dari *section A*, *section B* dan *section C*. Analisis dilakukan pada tiap satu bulan tahapan penimbunan di tiap *section* dimana pada masing-masing tahapannya dilakukan analisis kestabilan lereng dengan tinggi muka air 0 hingga -5 mdpl. Hasil daripada analisis terkait secara terperinci dapat dilihat pada gambar berikut.



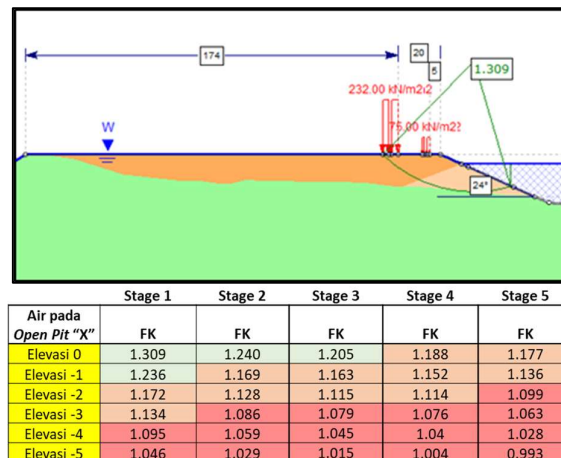
Gambar 3 Analisis Kestabilan Lereng *Section A*

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng pada *section A*, nilai faktor keamanan (FK) lebih stabil ketika permukaan air berada pada elevasi 0 mdpl. Nilai faktor keamanan lereng berkurang seiring dengan turunnya elevasi permukaan air pada open pit "X". Penurunan nilai faktor keamanan lereng pada *section A* dapat dilihat pada grafik 1 pada gambar 4.



Grafik 4 Pengaruh Perubahan Tinggi Muka Air Terhadap Nilai Faktor Keamanan Lereng *Section A*

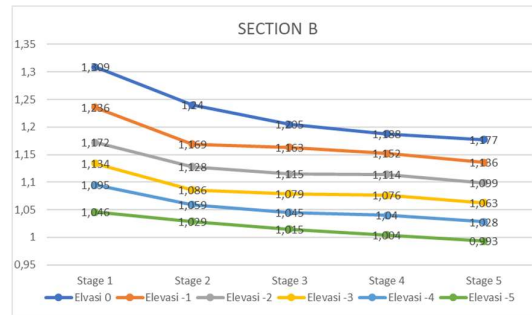
Pada gambar 4, dapat dilihat bahwa nilai faktor keamanan lereng pada *section A* mengalami penurunan seiring dengan turunnya elevasi permukaan air.



Gambar 5 Analisis Kestabilan Lereng *Section B*

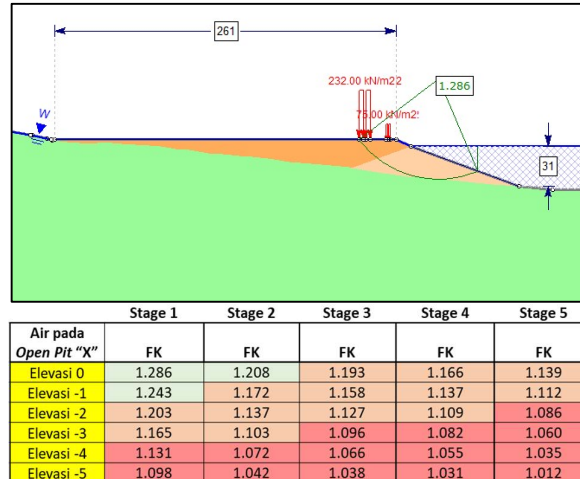
**PENGARUH ELEVASI PERMUKAAN AIR TERHADAP PROBABILITAS KELONGSORAN DAN STABILITAS LERENG
TIMBUNAN DI OPEN PIT "X" PT BERAU COAL, KALIMANTAN TIMUR**

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis kestabilan lereng pada *section B*, nilai faktor keamanan lereng pada *section* ini relatif lebih rendah dibanding dengan *section A*. Hal ini disebabkan karena lereng pada *section B* relatif lebih tinggi dibanding lereng pada *section A*. Pada *section* ini juga nilai faktor keamanan lereng relatif lebih stabil ketika permukaan air berada pada elevasi 0 mdpl. Nilai faktor keamanan lereng berkurang seiring dengan turunnya elevasi permukaan air pada open pit "X". Penurunan nilai faktor keamanan lereng pada *section B* dapat dilihat pada grafik pada gambar 6.



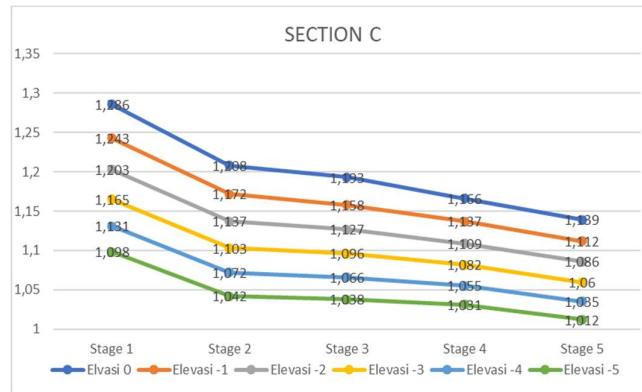
Gambar 6 Pengaruh Perubahan Tinggi Muka Air Terhadap Nilai Faktor Keamanan Lereng *Section B*

Pada gambar 6, dapat dilihat bahwa nilai faktor keamanan lereng pada *section B* mengalami penurunan seiring dengan turunnya elevasi permukaan air, sama seperti pada *section A*.



Gambar 7 Analisis Kestabilan Lereng *Section C*

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis kestabilan lereng pada *section C*, nilai faktor keamanan lereng pada *section C* relatif lebih rendah dibanding pada *section A* dan *section B*. Hal ini disebabkan oleh ketinggian dan sudut lereng pada *section C* yang relatif lebih tinggi dibanding *section A* dan *section B*. Pada *section* ini juga nilai faktor keamanan lereng relatif lebih stabil ketika permukaan air berada pada elevasi 0 mdpl. Nilai faktor keamanan lereng berkurang seiring dengan turunnya elevasi permukaan air pada open pit "X". Penurunan nilai faktor keamanan lereng pada *section C* dapat dilihat pada grafik 3.

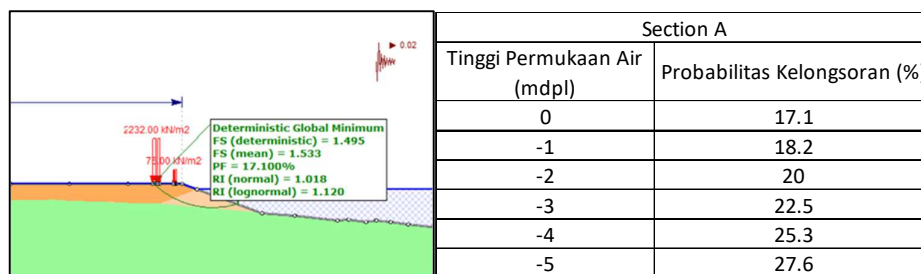


Gambar 8 Pengaruh Perubahan Tinggi Muka Air Terhadap Nilai Faktor Keamanan Lereng *Section C*

Pada gambar 8, dapat dilihat bahwa nilai faktor keamanan lereng pada *section C* mengalami penurunan seiring dengan turunnya elevasi permukaan air, sama seperti pada *section A* dan *section B*.

d. Probabilitas Kelongsoran

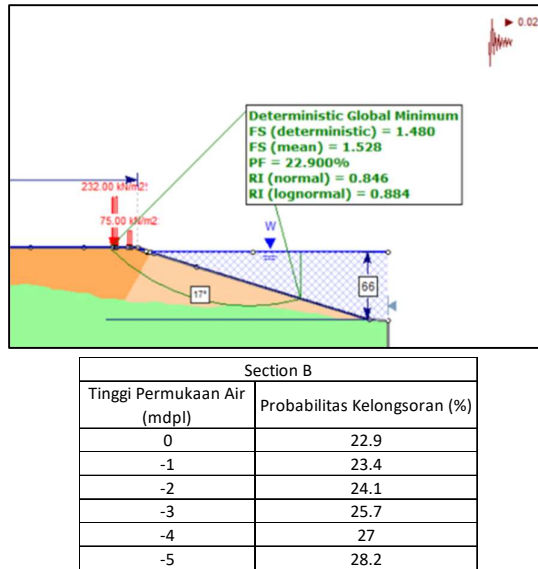
Analisis probabilitas kelongsoran pada lereng dilakukan pada *final design* dari *section A*, *section B* dan *section C*. Data-data material *properties* yang mencakup kohesi dan sudut gesek dalam diperoleh dari hasil uji *direct shear* di laboratorium PT Berau Coal. Rentang nilai kohesi dan sudut gesek dalam dihitung dengan mempertimbangkan kondisi *pit* yang telah dipenuhi air dan juga kondisi material penyusun lereng yang telah mengalami kegiatan peledakan dan penggalian sehingga hal tersebut menyebabkan nilai kohesi dan sudut gesek dalam dari material penyusun lereng memiliki kemungkinan untuk turun menjadi 0. Hasil uji laboratorium menunjukkan kohesi memiliki nilai 60, sehingga apabila dalam analisis ini nilainya dihitung mulai dari rentang 0, maka rentang nilainya adalah 0 – 60 dan nilai mean nya 30 serta nilai relatif minimum dan maksimumnya masing-masing adalah 30. Nilai sudut gesek dalam berdasarkan hasil uji laboratorium adalah 35, sehingga apabila pada analisis ini nilainya dihitung mulai dari 0, maka rentang nilainya adalah 0-35 dengan nilai mean 17.5 serta nilai relatif minimum dan maksimumnya masing-masing adalah 17.5. Data-data ini kemudian dimasukkan kedalam analisis probabilitas kelongsoran dengan menggunakan distribusi *uniform*. Hasil daripada analisis probabilitas kelongsoran dapat diamati pada rincian gambar berikut.



Gambar 9 Probabilitas Kelongsoran pada *Secion A*

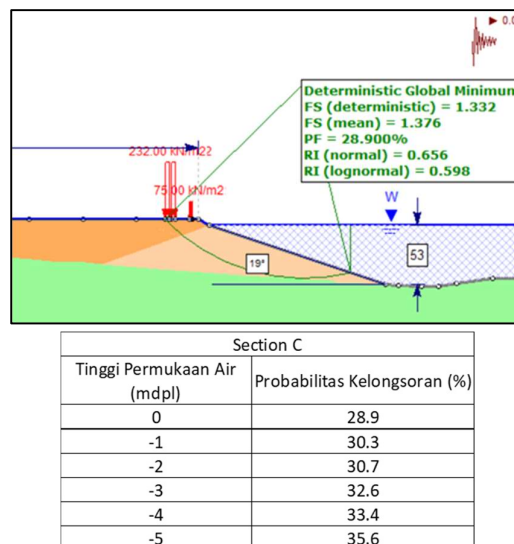
**PENGARUH ELEVASI PERMUKAAN AIR TERHADAP PROBABILITAS KELONGSORAN DAN STABILITAS LERENG
TIMBUNAN DI OPEN PIT "X" PT BERAU COAL, KALIMANTAN TIMUR**

Berdasarkan hasil analisis probabilitas kelongsoran pada *section A*, nilai probabilitas kelongsoran relatif lebih kecil ketika permukaan air berada di elevasi 0 mdpl. Nilai probabilitas kelongsoran relatif semakin besar seiring dengan turunnya elevasi permukaan air. Nilai probabilitas kelongsoran yang tinggi menunjukkan bahwa banyak kondisi pada lereng yang mengakibatkan lereng mengalami longsor.



Gambar 10 Probabilitas Kelongsoran pada *Section B*

Berdasarkan hasil analisis probabilitas kelongsoran pada *section B*, nilai probabilitas kelongsoran pada *section B* relatif lebih besar dibanding *section A*, hal tersebut dipengaruhi oleh tinggi lereng pada *section B* yang lebih tinggi dibanding dengan *section A*. Nilai probabilitas kelongsoran relatif lebih kecil ketika permukaan air berada di elevasi 0 mdpl. Nilai probabilitas kelongsoran pada *section* ini juga relatif semakin besar seiring dengan turunnya elevasi permukaan air.



Gambar 11 Probabilitas Kelongsoran pada *Section C*

Berdasarkan hasil analisis probabilitas kelongsoran pada *section C*, nilai probabilitas kelongsoran pada *section C* relatif lebih besar dibanding *section A* dan *section B*, hal tersebut dipengaruhi oleh tinggi dan sudut lereng pada *section C* yang relatif lebih tinggi dibanding dengan *section A* dan *section B*. Nilai probabilitas kelongsoran relatif lebih kecil ketika permukaan air berada di elevasi 0 mdpl. Nilai probabilitas kelongsoran pada *section* ini juga relatif semakin besar seiring dengan turunnya elevasi permukaan air.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil daripada analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, diketahui bahwa nilai faktor keamanan lereng timbunan secara keseluruhan berkisar antara 0.993 hingga 1.33. Secara umum, nilai dari faktor keamanan lereng relatif stabil >1 , namun ada beberapa kondisi dimana faktor keamanan lereng berada pada keadaan yang kritis. Hal tersebut diakibatkan karena pengaruh dari geometri lereng, beban dari alat berat yang beroperasi di atas area lereng, getaran dan juga elevasi permukaan air pada open pit “X”. Nilai probabilitas kelongsoran pada lereng timbunan secara keseluruhan berkisar antara 17.1 hingga 35.6 %, hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat banyak kondisi pada lereng yang mengakibatkan nilai faktor keamanan lereng < 1 terutama pada *section B* dan *section C*. Kondisi lereng relatif lebih stabil ketika tinggi permukaan air berada pada elevasi 0 hingga -1 mdpl dan relatif lebih tidak stabil seiring dengan penurunan elevasi permukaan air pada open pit “X”. Dapat disimpulkan bahwa elevasi permukaan air mempengaruhi nilai kestabilan lereng dan juga mempengaruhi probabilitas kelongsoran. Hal tersebut diakibatkan oleh adanya tekanan hidrostatik dari air permukaan, dimana tekanan hidrostatik tersebut berperan sebagai gaya penahan pada lereng. Semakin tinggi permukaan air, maka tekanan hidrostatiknya semakin tinggi pula, hal tersebut yang menyebabkan lereng relatif lebih stabil ketika elevasi permukaan air berada pada 0 mdpl, dibandingkan dengan ketika permukaan air berada pada elevasi dibawahnya. Hal ini juga nyatanya sejalan dengan pernyataan yang terdapat pada penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh terhadap lereng waduk dimana pada hasil penelitian disebutkan bahwa adanya muka air waduk menyebabkan peningkatan nilai faktor keamanan pada lereng (Wulandari & Tjandra, 2018).

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas izin-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran dan PT. Berau Coal atas segala kesempatan dan bantuannya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, W. (2019). *Caterpillar Performance Handbook*. Caterpillar.
- Andriani, T., Zakaria, Z., Muslim, D., & Wiramsya Oscar, A. (2018). Daya Dukung Tanah Untuk Disposal Di Tambang Batuabara Daerah Purwajaya, Kecamatan Loa Janan Kabupaten Kutai. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 2, 118–122.

- <http://jurnal.unpad.ac.id/geoscience/article/view/16598>
- Arifadillah, R. R., Zakaria, Z., & Sophian, R. I. (2021). Desain Lereng Optimal Berdasarkan Probabilitas Kelongsoran Melalui Analisis Balik Di Lereng Tambang Emas Pit X Jawa Barat. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 5. <https://jurnal.unpad.ac.id/geoscience/article/download/35226/16103>
- Baker, D. W., & Haynes, W. (2023). *Engineering Statics Open and Interactive* (S. Bevil, E. Davishahl, J. Lanning, & R. Pugsley (eds.)). Colorado Department of Higher Education. <https://engineeringstatics.org/pdf/statics.pdf>
- Bishop, A. W. (1955). First Technical Session : General Theory of Stability of Slopes THE USE OF THE SLIP CIRCLE IN THE STABILITY ANALYSIS OF SLOPES. *Géotechnique*, 7–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1680/geot.1955.5.1.7>
- Burhan, G., & Situmorang, R. . (1995). *Peta Geologi 250.000 Lembar Tanjung Redeb, Kalimantan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Fadli, Widodo, S., & Budiman, A. A. (2015). Desain Pit Penambangan Batubara Blok C Pada Pt. Intibuna Indah Selaras Kabupaten Nunukan Provinsi Kalimantan Utara. *Jurnal Geomine*, 1. <https://media.neliti.com/media/publications/274110-desain-pit-penambangan-batubara-blok-c-p-94430d1e.pdf>
- Hardianti, S., & Halim, M. S. (2021). Perencanaan Desain Disposasi Area Serta Sequence Timbunan Overburden Guna Mengakomodasi Produksi Bulan Juli Tahun 2020 Di Pt X, Kabupaten Kutai Barat. *Jurnal Pertambangan*, 5(2), 98–105. <https://doi.org/10.36706/jp.v5i2.185>
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I* (3rd ed., Vol. 1). Gadjah Mada University Press. <https://ugmpress.ugm.ac.id/id/product/teknik-sipil/mechanika-tanah-i-edisi-ke-tujuh>
- Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018, Pub. L. No. 1827 K/30/MEM/2018 (2018). [https://jdih.esdm.go.id/peraturan/Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K 30 MEM 2018.pdf](https://jdih.esdm.go.id/peraturan/Keputusan%20Menteri%20ESDM%20Nomor%201827%20K%2030%20MEM%202018.pdf)
- Ningrum, M. F., Laesanpura, A., SSuhendi, C., & Mahartadika, Y. A. (2019). *Estimasi Pengaruh Vibrasi Pergerakan Transportasi Alat Berat pada Kestabilan Low-wall, Studi Kasus pada Aktivitas Pertambangan Batubara Site Asam-Asam, Kalimantan Selatan*. https://repo.itera.ac.id/assets/file_upload/SB2009140105/12116055_20_034037.pdf
- Nurnawaty, Suhardiman, & Ihwan. (2018). Analisis Rembesan Pada Bendungan Tipe Urugan (Uji Simulasi Lab). *Jurnal Teknik Hidro*, 11. <https://journal.unismuh.ac.id/index.php/hidro/article/download/2436/1926>
- Prasetya, S. I., Hariyanto, B. I. R., & Cahyadi, T. A. (2011, December 17). Studi Kasus Analisa Kestabilan Lereng Disposasi Di Daerah Karuh, Kec. Kintap, Kab. Tanah Laut, Kalimantan Selatan. *SEMINAR NASIONAL Ke 6*. http://repository.upnyk.ac.id/3157/1/6_STUDI_KASUS_ANALISA_KESTABILAN_LERENG_DISPOSAL_DI_DAERAH_KARUH%2C_KEC._KINTAP%2C_KAB._TANAH_LAUT%2C_K.pdf
- Rusni, S. O., Sophian, R. I., & Zakaria, Z. (2019). Probabilitas Longsor Pada Lereng Tambang Batubara Terbuka Sisi Sidewall Selatan Pit X, Kalimantan Selatan. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 3, 389–396. <http://jurnal.unpad.ac.id/geoscience/article/view/26327>
- Wulandari, P. S., & Tjandra, D. (2018). Analisis Pengaruh Fluktuasi Muka Air Waduk terhadap Stabilitas Lereng Waduk Dengan Menggunakan Program Plaxis 2D. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 24(2), 113–121. <https://doi.org/mkts.v24i2.17780>