

PERENCANAAN DESAIN LERENG TIMBUNAN PADA DESAIN LIFE OF MINE (LOM) DI PIT X PT BUKIT ASAM TBK

D.A. Putri^{1*}, R. Pebrianto¹ dan Syarifudin¹

¹Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya, Palembang

*Corresponding author e-mail: dwiastrianaputri@gmail.com

ABSTRAK:

PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin berencana membuka kembali kegiatan pertambangan di kawasan Langkok, Sawahlunto, Sumatera Barat. Pada tahap persiapan penambangan (mine development), diperlukan perencanaan desain lereng timbunan yang aman dan efisien sebagai bagian dari desain Life of Mine (LOM). Simulasi lereng tunggal dilakukan untuk menganalisis geometri lereng dengan kondisi yang paling aman dan optimal berdasarkan nilai faktor keamanan. Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan perhitungan Morgenstern Price, tipe keruntuhan Mohr-Coulomb, dan dengan menggunakan bantuan Software Geostudio Slope/W 2024. Analisis dilakukan pada dua section yaitu penampang A-A' dan B-B' yang disimulasikan pada dua kondisi air tanah yaitu kondisi air tanah kedalaman 16 meter dari permukaan lereng dan kondisi full saturated (muka air tanah sejajar dengan permukaan). Stabilitas overall slope area highwall pada penampang A-A' termasuk dalam kondisi stabil sedangkan penampang B-B' termasuk dalam kategori stabil hingga kritis dengan nilai Faktor Keamanan (FK) antara 0,837 sampai 1,563. Desain rekomendasi *overall slope* dirancang mengacu pada Kepmen ESDM No. 1827K Tahun 2018 sehingga diperoleh kondisi lereng yang stabil pada keadaan jenuh dengan nilai Faktor Keamanan(FK) sebesar 1,501.

Kata Kunci : Stabilitas Lereng, Disposals, Morgenstern Price, Faktor Keamanan (FK).

ABSTRACT

PT Bukit Asam Tbk, Ombilin Mining Unit, plans to reopen mining operations in the Langkok area, Sawahlunto, West Sumatra. During the mine development stage, it is necessary to plan a safe and efficient waste dump slope design as part of the Life of Mine (LOM) design. A single-slope simulation was conducted to analyze slope geometry under the safest and most optimal conditions based on the safety factor values. The slope stability analysis method used is the Morgenstern-Price method with Mohr-Coulomb failure criteria, utilizing *Geostudio Slope/W 2024* software. The analysis was performed on two sections, A-A' and B-B', simulated under two groundwater conditions: a 16-meter groundwater depth from the slope surface and a fully saturated condition (groundwater level parallel to the surface). The overall slope stability of the highwall area in section A-A' is classified as stable, while section B-B' falls into the critical to stable category, with safety factor (SF) values ranging from 0.837 to 1.563. The recommended overall slope was designed according to the Indonesian Ministry of Energy and Mineral Resources Decree No. 1827K/30/MEM/2018, resulting in a stable slope under saturated conditions with a safety factor of 1.501.

Keywords: Slope Stability, Disposals, Morgenstern-Price, Safety Factor (SF).

1 Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

PT Bukit Asam Tbk Unit Pertambangan Ombilin saat ini sedang berencana untuk membuka kembali kegiatan pertambangan di kawasan Langkok, Sawahlunto, Sumatera Barat. Pembukaan area pertambangan pada

kawasan Langkok, Sumatera Barat saat ini dalam tahap persiapan penambangan (mine development) yang mencakup proses perencanaan teknis, pembangunan infrastruktur awal, serta penyusunan desain Life of Mine (LOM) khususnya pada area timbunan (disposal area). Penyusunan desain Life of Mine (LOM) pada tahap ini menjadi sangat penting untuk menentukan rancangan

jangka panjang kegiatan pertambangan, termasuk aspek kestabilan lereng timbunan agar sesuai dengan kondisi geoteknik setempat dan memenuhi standar faktor keselamatan.

Dalam kegiatan penambangan batubara, PT Bukit Asam Tbk Unit Penambangan Omblin menggunakan sistem penambangan dengan metode tambang terbuka yang melibatkan pembukaan multi jenjang (bench). Dalam kegiatan penambangan terbuka, proses pengupasan overburden diperlukan untuk memberikan akses terhadap cadangan batubara. Material overburden yang dikupas memiliki volume sangat besar sehingga diperlukan penanganan dan penempatan yang terencana. Berdasarkan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (Kepmen ESDM) Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik, lereng disposal harus dibangun di tempat atau area tambang yang tidak terdapat cadangan yang ekonomis, dalam hal ini perusahaan tambang dapat menggunakan bekas area pertambangan yang sudah habis cadangannya (in-pit disposal) atau membuat lereng disposal baru di luar area pit (out-pit disposal).

Secara geografis PT Bukit Asam Unit Penambangan Omblin terletak di daerah perbukitan dengan topografi bergelombang hingga curam karena dikelilingi oleh Pegunungan Bukit Barisan. Ketinggian wilayahnya berkisar antara ± 250 hingga lebih dari 800 meter di atas permukaan laut dengan sistem hidrologi yang dipengaruhi oleh keberadaan Sungai Ombilin dan anak-anak sungainya yang melintas di sekitar area tambang. Kondisi geografis tersebut menjadikan aspek kestabilan lereng sebagai salah satu faktor penting dalam berlangsungnya kegiatan pertambangan. Topografi yang terjal meningkatkan potensi terbentuknya lereng dengan sudut besar, sementara curah hujan tinggi dapat memicu kenaikan tekanan pori pada lereng tambang. Kondisi tersebut menuntut adanya perencanaan dan pengendalian geoteknik yang baik.

Kestabilan suatu lereng tambang sangat dipengaruhi dengan adanya beban seismik dan posisi muka air tanah. Oleh karena itu analisis kestabilan lereng dilakukan pada asumsi lereng pada kondisi dinamis dan statis serta pada keadaan muka air tanah aktual dan jenuh. Adanya parameter beban seismik dapat mempengaruhi nilai faktor keamanan dengan cukup signifikan. Parameter beban seismik pada analisis dengan kondisi dinamis menyebabkan penambahan gaya horizontal pada lereng yang mengakibatkan gaya pendorong (driving force) yang berkerja pada lereng meningkat sehingga lereng menjadi lebih mudah longsor. Selain itu, faktor keamanan dan muka air tanah memiliki hubungan yang berbanding terbalik. Hal

ini dikarenakan keberadaan air yang hadir pada lereng dapat mengurangi tingkat kestabilan karena tekanan yang timbul di dalam pori-pori serta pada bidang diskontinu mampu melemahkan kekuatan batuan sekaligus menambah massa material. Kondisi ini mengakibatkan berkurangnya gaya penahan lereng, sehingga kemungkinan terjadinya longsor semakin meningkat

1.2. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis karakteristik material pembentuk lereng disposal di lokasi penelitian untuk mengetahui parameter geoteknik material disposal.
2. Menganalisis faktor-faktor yang menyebabkan terganggunya kestabilan lereng untuk menentukan stabilisasi lereng.
3. Menganalisis kestabilan lereng saat ini untuk memberikan rekomendasi geometri lereng yang aman berdasarkan pertimbangan teknis yang disesuaikan dengan kondisi di lapangan.

1.3. Manfaat Penelitian

1. Memperoleh rekomendasi geometri lereng yang aman di lokasi penelitian berdasarkan pertimbangan teknis yang disesuaikan dengan kondisi di lapangan.
2. Pembelajaran dan referensi dalam ilmu pertambangan mengenai wawasan kestabilan lereng dengan metode kesetimbangan batas.

2 Metode

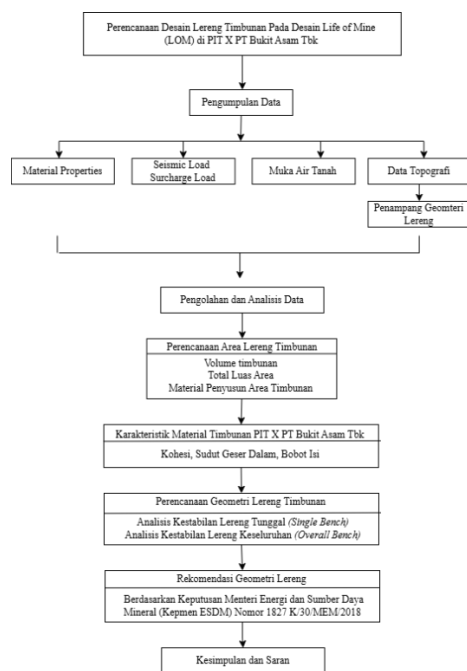
Penelitian ini dilaksanakan dengan bersumber dari data sekunder berupa data topografi, data desain disposal, data sifat fisik dan mekanik material, data ketinggian muka air tanah, data percepatan gempa daerah, dan foto area disposal, kemudian dilakukan pengolahan, analisis data, dan penyelesaian masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat simulasi desain lereng tunggal dengan beberapa parameter dengan menggunakan software *Geostudio Slope/W 2024* untuk mengetahui geometri lereng yang paling aman dan optimal kemudian membuat desain lereng keseluruhan dengan data tersebut.
2. Membuat data sayatan penampang 2 dimensi sepanjang area disposal dengan menggunakan software *Minescape 5.7* dengan memasukkan data desain disposal dan data topografi.
3. Analisis stabilitas lereng timbunan menggunakan metode Morgenstern-Price dengan tipe keruntuhan Mohr-Coulomb dilakukan dengan bantuan software *Geostudio Slope/W 2024*.

Parameter geoteknik yang digunakan dalam penelitian tugas akhir adalah kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), dan bobot isi (γ).

4. Perhitungan faktor keamanan lereng ini menggunakan empat kondisi analisis, yakni sebagai berikut:
 - a. Kondisi lereng statis dengan muka air tanah aktual.
 - b. Kondisi lereng statis dengan muka air tanah full saturated.
 - c. Kondisi lereng dinamis dengan muka air tanah aktual.
 - d. Kondisi lereng dinamis dengan muka air tanah full saturated.

Alur penelitian secara keseluruhan, mulai dari perumusan judul hingga pencapaian kesimpulan akhir, ditunjukkan melalui sebuah bagan alir penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Perencanaan Area Timbunan

Area timbunan pada PIT X PT Bukit Asam Tbk memiliki batas ruang yang dapat digunakan untuk penempatan material buangan (overburden) seluas $1.500.000 \text{ m}^2$ sedangkan volume kapasitas maksimum yang dapat ditampung oleh area tersebut sesuai dengan geometri desain yang telah direncanakan sebesar 21.300 m^3 . Material penyusun area timbunan pada PIT X PT Bukit Asam Tbk terdiri atas material overburden dan interburden yang berasal dari kegiatan penambangan

batubara dengan litologi berupa sandstone, siltstone, claystone dan carbonaceous claystone.

3.2 Karakteristik Geoteknik Material Penyusun Daerah Penelitian

Parameter geoteknik daerah penelitian didapatkan dari data sekunder yang diperoleh dari hasil uji laboratorium berupa data sifat fisik dan sifat mekanik material penyusun daerah penelitian.

3.2.1 Sifat Fisik dan Mekanik

Tabel 1. Karakteristik Fisik dan Mekanik Material Penyusun Daerah Penelitian

Statigrafi	Litologi	Kohesi (c)	Sudut geser dalam (ϕ)	Bobot isi (γ)
		kPa	$^{\circ}$	kN/m^3
Top Soil	Soil	13,43	19,33	21,18
OB A1	Claystone-Sandstone	361,87	18,35	25,04
OB A	Claystone-Siltstone	295,62	20,15	24,53
IB AB	Claystone-Siltstone	288,93	20,28	24,31
OB B	Claystone	211,76	16,10	21,28
IB B1-B2	Siltstone	1.088,85	10,60	25,78
IB BC	Claystone-Siltstone	288,93	18,53	23,58
UB C	Claystone	259,83	20,57	23,06

Data parameter material timbunan merupakan data asumsi yang didapatkan dengan faktor koreksi rata-rata parameter residual material in-situ ke material timbunan berdasarkan data parameter hasil uji laboratorium. Faktor koreksi yang digunakan adalah 37% Cohession, 97% Friction Angle, dan 86% Unit weight sehingga pada perhitungan kestabilan lereng disposal ini digunakan nilai Cohession $124,916 \text{ kPa}$, Friction angle $18,774^{\circ}$, dan Unit Weight $21,56 \text{ kN/m}^3$.

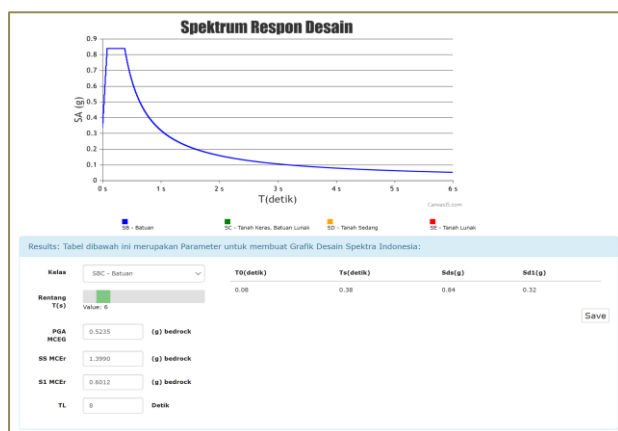
3.2.2 Muka Air Tanah

Material penyusun lereng pada area disposal didominasi batu lempung yang bersifat ekspansif. Pada lokasi penelitian juga terdapat aliran anak Sungai Ombilin yang memungkinkan untuk terjadinya infiltrasi pada batuan, sehingga perlu dilakukannya analisis kondisi muka air tanah. Analisis kondisi muka air tanah dilakukan untuk mengetahui kondisi muka air tanah pada lokasi penelitian. Mengacu pada MAT log bor, ditentukan kondisi aktual

muka air tanah pada daerah penelitian pada kedalaman 16 meter dari permukaan.

3.2.3 Seismic Load

Getaran yang ada di lokasi penelitian hanya berasal dari faktor kegempaan lokal karena tidak ada proses blasting pada atau sekitar lokasi penelitian. Analisa kestabilan lereng pada kondisi dinamis (pseudo-statis) memerlukan koefisien gempa horizontal dan koefisien gempa vertikal. koefisien gempa lokal diasumsikan sebesar 0,15-0,30 kali dari nilai PGA (Peak Ground Acceleration) yang didapat dari data Spektrum Respon Desain untuk area Swahlunto pada website Desain Spektra Indonesia (2021), yaitu sebesar 0,0785-0,157 g.



Gambar 1. Nilai Percepatan Gempa Daerah (Desain Spektra Indonesia (2021))

3.2.4 Surcharge Load

Penelitian ini menggunakan beban tambahan sebesar 533 kN/m³ untuk mensimulasikan beban dinamis Komatsu HD 785 berkapasitas 100 ton. Standar ini digunakan oleh Departemen Geoteknik PT Bukit Asam Tbk.

3.3 Analisis Kestabilan Lereng Tunggal

Dalam perancangan lereng tambang, jenjang (bench) harus memenuhi standar dan spesifikasi tertentu. Desain awal pit biasanya dibuat dengan sudut kemiringan keseluruhan 45°, lalu disesuaikan berdasarkan data geoteknik material di dalam pit (Tebay, 2011). Tinggi jenjang umumnya berada pada kisaran 10–18 m, sedangkan lebar jenjang dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan 2.4 (Read & Stacey, 2009). Geometri lereng tunggal direncanakan dengan ketinggian 10 m sehingga diperoleh lebar jenjang 6,5 m.

$$\text{Lebar Jenjang (m)} = 0,2 \times \text{tinggi jenjang} + 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Lebar Jenjang (m)} = 0,2 \times 10 \text{ m} + 4,5 \text{ m} = 6,5 \text{ m}$$

Geometri lereng timbunan dirancang dengan tinggi jenjang 10 m dan lebar jenjang 6,5 m di mana setiap 3 jenjang diberikan jenjang yang lebih lebar (ramp). Untuk menentukan lebar ramp yang optimal sebagai jalur operasional kendaraan tambang digunakan persamaan 2.5 (Poniewierski, 2018). Kendaraan yang direncanakan beroperasi pada area timbunan adalah Komatsu HD 785. Kendaraan ini memiliki lebar maksimal 5,2 m. Berdasarkan hasil perhitungan dengan persamaan tersebut, ramp perlu dibuat dengan lebar minimum 18,2 m agar dapat mengakomodasi kendaraan tersebut secara aman dan efektif.

$$\text{Lebar Ramp (m)} = 3,5 \text{ m} \times \text{lebar kendaraan maksimum}$$

$$\text{Lebar Ramp (m)} = 3,5 \text{ m} \times 6,2 \text{ m} = 18,2 \text{ m}$$

Berdasarkan Kepmen ESDM No.1827 K/30/MEM/2018 nilai minimum faktor keamanan yang ditentukan untuk lereng tunggal adalah sebesar 1,1. Hasil simulasi geometri lereng tunggal (Tabel 2) dilakukan pada 5 variasi sudut kemiringan, yaitu 45°, 35°, 30°, 25°, dan 21°. Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi sudut kemiringan menghasilkan nilai faktor keamanan yang tergolong kritis hingga stabil. Dari kelima kondisi tersebut, geometri lereng dengan sudut lereng 21°, lebar lereng 6,2 m, dan tinggi lereng 10 m menghasilkan nilai faktor keamanan yang paling tinggi, yaitu sebesar 1,775. sudut lereng 21° sebagai kondisi yang paling aman dan optimal

Tabel 2. Hasil Analisis Kestabilan Lereng Tunggal

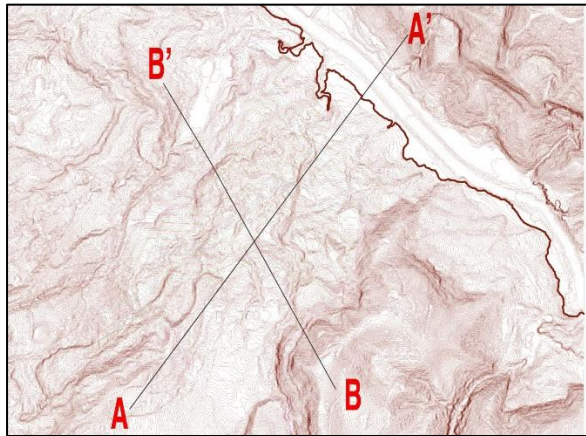
Sudut (°)	Tinggi (m)	Lebar(m)	Nilai FK
45°	10	6,5	1,122
35°			1,264
30°			1,374
25°			1,552
21°			1,775

3.4 Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan

Analisis kestabilan lereng keseluruhan dilakukan dengan menggunakan metode Kestimbangan Batas yaitu perhitungan dengan metode Morgenstern-Price, kriteria keruntuhan Mohr Coulomb, dan dengan menggunakan software Geostudio Slope/W 2024. Dalam analisis faktor keamanan diperlukan input parameter geoteknik berupa kohesi, sudut geser dalam, dan bobot isi

Dari hasil permodelan dua dimensi yang telah dibuat dua penampang, yaitu penampang A-A' (Gambar 4.6) dan penampang B-B' (Gambar 4.7). Setiap penampang yang dibuat mewakili kondisi aktual di lapangan, penampang A-A' merepresentasikan keadaan di bawah lereng disposal yang berdekatan dengan area persawahan warga serta

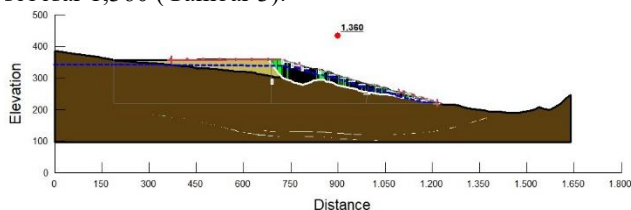
Sungai Ombilin, sedangkan penampang B-B' merepresentasikan keadaan di bawah lereng disposal yang berdekatan dengan kawasan permukiman warga. Keterangan mengenai titik penampang pada daerah penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah (Gambar 2).



Gambar 2. Titik Penampang pada Daerah Penelitian

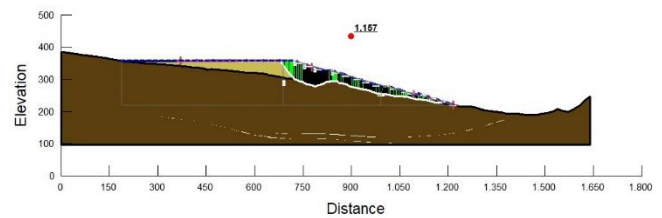
3.4.1 Kondisi Stabilitas Penampang A-A'

Desain lereng timbunan penampang A-A' memiliki dimensi lebar bench 5 meter, tinggi bench 10 meter, single slope 21° dan overall slope $15,67^\circ$. Perhitungan faktor keamanan lereng timbunan dilakukan dengan metode morgenstern price pada kondisi dinamis (pseudostatik) dan statis (non-pseudostatik) dengan kondisi muka air tanah 16 meter dari permukaan dan pada kondisi full saturated (muka air tanah sejajar dengan permukaan). Berdasarkan analisis lereng timbunan pada kedalaman air tanah 16 meter dari permukaan lereng dan pada kondisi dinamis (pseudostatik) diketahui nilai faktor keamanan sebesar 1,360 (Gambar 3).



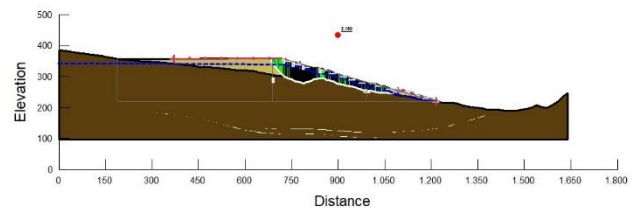
Gambar 3. Analisis Kestabilan Lereng A-A' Dinamis MAT 16 m

Berdasarkan analisis lereng timbunan pada kondisi air tanah full saturated (muka air tanah sejajar dengan permukaan) dan pada kondisi dinamis (pseudostatik) diketahui nilai faktor keamanan sebesar 1,157 (Gambar 4).



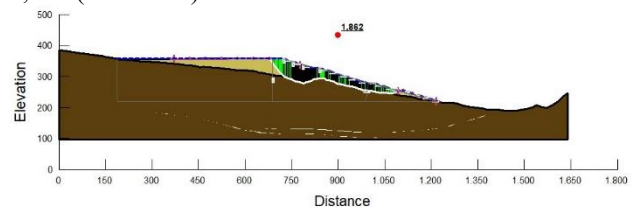
Gambar 4. Analisis Kestabilan Lereng A-A' Dinamis MAT Full Saturated

Analisis lereng statis dilakukan untuk menentukan stabilitas lereng tanpa beban seismik. Berdasarkan analisis stabilitas lereng timbunan pada kedalaman air tanah 16 meter dari permukaan lereng dan dalam kondisi statis (non-pseudostatik), nilai faktor keamanan ditentukan sebesar 2,15 (Gambar 5).



Gambar 5. Analisis Kestabilan Lereng A-A' Statis MAT 16 m

Berdasarkan analisis lereng timbunan dengan kondisi muka air tanah full saturated (muka air tanah sejajar dengan permukaan) dan pada kondisi statis (non-pseudostatik) diketahui nilai faktor keamanan sebesar 1,862 (Gambar 6)



Gambar 6. Analisis Kestabilan Lereng A-A' Statis MAT Full Saturated

Berikut ini merupakan tabel hasil analisis kestabilan lereng timbunan pada penampang A-A' yang dilakukan pada empat kondisi yaitu, kondisi dinamis MAT aktual, kondisi dinamis MAT full saturated, kondisi statis MAT aktual, dan kondisi statis MAT full saturated (Tabel 3)

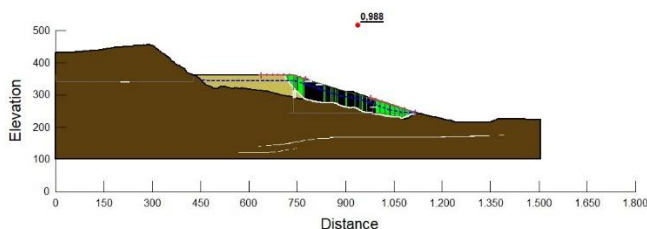
Tabel 3. Hasil Analisis Stabilitas Lereng Penampang A-A'

Beban seismik	Muka Air Tanah	Nilai FK	Keterangan
Dinamis (Pseudostatik)	16 meter	1,360	Stabil
	Full saturated	1,157	Stabil
Statis (Non-pseudostatik)	16 meter	2,150	Stabil
	Ful saturated	1,862	Stabil

Berdasarkan Keputusan Kementrian ESDM Nomor 1827 tahun 2018 menunjukkan bahwa kondisi stabilitas lereng overall slope area timbunan pada penampang A-A' dengan kondisi kondisi dinamis MAT aktual, dinamis MAT full saturated, statis MAT aktual, dan statis MAT full saturated tergolong stabil. Pada analisis lereng kondisi dinamis dengan MAT 16 m dari permukaan dan MAT full saturated, lereng tergolong stabil dengan nilai faktor keamanan (FK) masing-masing 1,360 dan 1,157 ($FK > 1$). Pada analisis lereng kondisi statis dengan MAT 16 m dari permukaan dan MAT full saturated, lereng juga tergolong stabil dengan nilai faktor keamanan (FK) masing-masing 2,150 dan 1,862 ($FK > 1$).

3.4.2 Kondisi Stabilitas Lereng Penampang B-B'

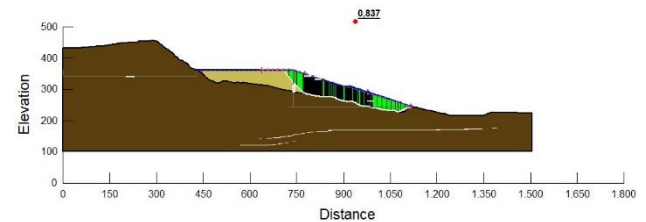
Desain lereng timbunan penampang B-B' memiliki variasi dimensi lebar bench antara 2-5 meter, tinggi bench 8-10 meter, single slope 21° dan overall slope 17° . Perhitungan faktor keamanan lereng timbunan dilakukan dengan metode morgenstern price pada kondisi dinamis (pseudostatik) dan statis (non-pseudostatik) dengan kondisi kondisi muka air tanah 16 meter dari permukaan dan pada kondisi full saturated (muka air tanah sejajar dengan permukaan). Analisis stabilitas lereng timbunan pada kondisi dinamis (pseudostatik) dengan muka air tanah 16 meter dari permukaan, nilai faktor keamanan ditentukan sebesar 0,988 (Gambar 7).



Gambar 7. Analisis Kestabilan Lereng B-B' Dinamis MAT 16 m

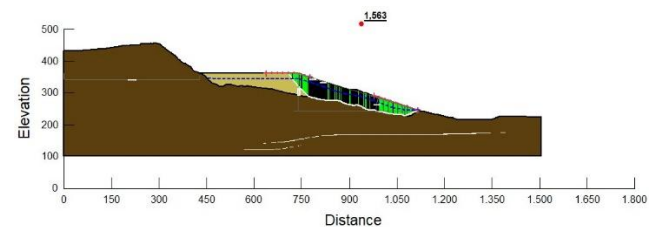
Berdasarkan analisis lereng timbunan pada kondisi air tanah full saturated (muka air tanah sejajar dengan

permukaan) dan pada kondisi dinamis (pseudostatik) nilai faktor keamanan ditentukan sebesar 0,837 (Gambar 8).



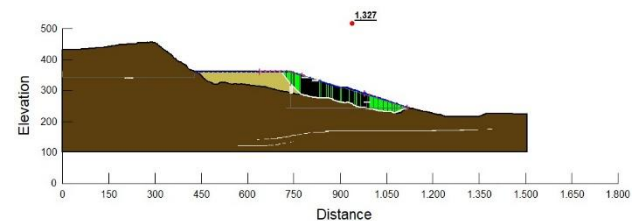
Gambar 8. Analisis Kestabilan Lereng B-B' Dinamis MAT Full Saturated

Analisis stabilitas lereng timbunan pada kondisi statis (non-pseudostatik) dengan kedalaman muka air tanah 16 meter dari permukaan lereng, nilai faktor keamanan ditentukan sebesar 1,563 (Gambar 9).



Gambar 9. Analisis Kestabilan Lereng B-B' Statis MAT 16 m

Berdasarkan analisis lereng timbunan pada kondisi statis (non-pseudostatik) dengan kedalaman muka air tanah *full saturated* (muka air tanah sejajar dengan permukaan), nilai faktor keamanan ditentukan sebesar 327 (Gambar 9).



Gambar 10. Analisis Kestabilan Lereng B-B' Statis MAT Full Saturated

Berikut ini merupakan tabel hasil analisis kestabilan lereng timbunan pada penampang B-B' yang dilakukan pada empat kondisi yaitu, kondisi dinamis MAT aktual, kondisi dinamis MAT full saturated, kondisi statis MAT aktual, dan kondisi statis MAT full saturated (Tabel 4)

Tabel 4. Hasil Analisis Stabilitas Lereng Penampang B-B'

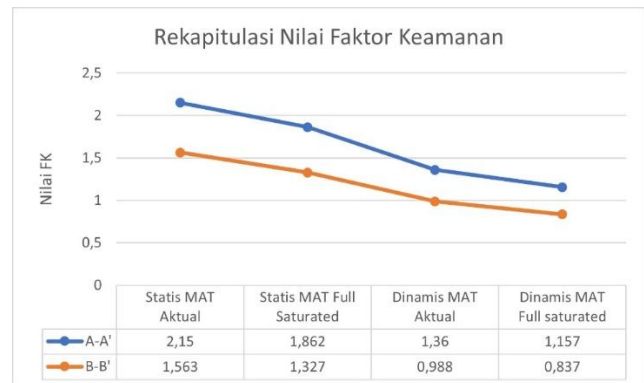
Beban seismik	Muka Air Tanah	Nilai FK	Keterangan
Dinamis (Pseudostatik)	16 meter	0,988	Kritis
	Full saturated	0,837	Kritis
Statis (Non-pseudostatik)	16 meter	1,563	Stabil
	Ful saturated	1,327	Stabil

Berdasarkan Keputusan Kementrian ESDM Nomor 1827 tahun 2018 menunjukkan bahwa kondisi stabilitas lereng overall slope area timbunan pada penampang B-B' tergolong kritis hingga stabil. Pada analisis lereng kondisi dinamis dengan MAT 16 m dari permukaan dan MAT full saturated, lereng tergolong kritis dengan nilai faktor keamanan (FK) masing-masing 0,988 dan 0,837 ($FK < 1$). Pada analisis lereng kondisi statis dengan MAT 16 m dari permukaan dan MAT full saturated, lereng juga tergolong stabil dengan nilai faktor keamanan (FK) masing-masing 1,563 dan 1,327 ($FK > 1$).

Adanya parameter beban seismik dapat mempengaruhi nilai faktor keamanan dengan cukup signifikan. Parameter beban seismik pada analisis dengan kondisi dinamis menyebabkan penambahan gaya horizontal pada lereng yang mengakibatkan gaya pendorong (driving force) yang berkerja pada lereng meningkat sehingga lereng menjadi lebih mudah longsor. Selain itu, hasil analisis menunjukkan bahwa faktor keamanan dan muka air tanah memiliki hubungan yang berbanding terbalik. Hal ini terjadi karena meningkatnya beban lereng akibat keberadaan air tanah, yang menyebabkan penurunan kestabilan lereng

Penurunan muka air tanah pada lereng dapat meningkatkan nilai faktor keamanan, sehingga kestabilan lereng menjadi lebih baik, dan sebaliknya, kenaikan muka air tanah akan menurunkan stabilitas lereng. Keberadaan air pada lereng menyebabkan penurunan stabilitas lereng karena tekanan air yang terdapat pada ruang pori dan bidang diskontinu dapat menurunkan kekuatan batuan dan meningkatkan massa batuan, sehingga gaya penahan pada lereng berkurang dan peluang terjadinya kelongsoran menjadi lebih besar. Berdasarkan hasil analisis diketahui juga bahwa adanya beban seismik menyebabkan penurunan nilai faktor keamanan lereng. Getaran seismik horizontal berdasarkan percepatan gempa daerah berperan sebagai salah satu gaya pendorong atau beban pada lereng sehingga lereng lebih mudah mengalami kelongsoran. Berikut grafik yang menunjukkan pengaruh kondisi air

tanah dan kondisi beban seismik terhadap nilai faktor keamanan pada lereng disposal PIT X IUP Ombilin PT Bukit Asam (Gambar 10).

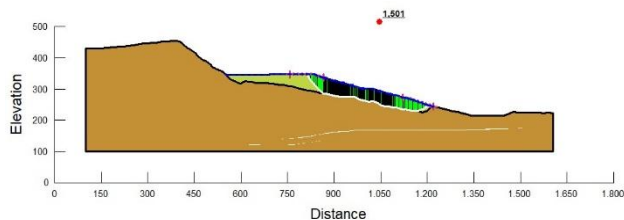


Gambar 10. Grafik Rekapitulasi Nilai Faktor Keamanan pada Sayatan

3.5 Rekomendasi

Analisis yang dilakukan pada lereng disposal penampang A-A' dan B-B' dengan tinggi lereng 113 m dan 117 m, sudut overall slope 15° dan 17° derajat yang dilakukan pada kondisi MAT aktual dan MAT full saturated, diketahui bahwa keamanan lereng penampang A-A' termasuk dalam kategori stabil sedangkan keamanan lereng penampang B-B' termasuk dalam kategori stabil hingga kritis. Analisis stabilitas pada penampang B-B' menunjukkan bahwa pada kondisi dinamis dengan muka air tanah 16 m dari permukaan dan kondisi *full saturated*, nilai faktor keamanan berada pada kategori kritis. Kondisi ini mengindikasikan potensi terjadinya kelongsoran pada lereng. Untuk mencegah hal tersebut, perlu dilakukan perancangan ulang geometri *overall slope* yang lebih aman pada penampang B-B'. Perancangan ulang geometri *overall slope* dilakukan pada kondisi dinamis(pseudostatik) dengan kondisi muka air tanah jenuh (*full saturated*) guna memperoleh geometri lereng yang stabil pada keadaan paling kritis sesuai ketentuan Kepmen ESDM No. 1827K Tahun 2018, dengan batas minimum nilai faktor keamanan ($FK \geq 1,1$).

Perencanaan ulang geometri lereng disposal penampang B-B' dilakukan dengan melakukan simulasi rancangan geometri lereng pada kondisi air tanah *full saturated*. Berdasarkan perhitungan dan perancangan ulang geometri lereng didapatkan geometri lereng disposal yang telah dilandaikan (Gambar 11) dengan overall slope penampang B-B' dirancang memiliki ketinggian 104 meter dengan sudut sebesar 15 derajat dengan nilai FK sebesar 1,501.



Gambar 11. Penampang B-B' Hasil Rekomendasi

Lereng Hasil Pelandaian Penampang B-B'					
Geometri Overall Slope		Geometri Single Slope			Nilai FK
Tinggi (m)	Sudut (°)	Tinggi (m)	Lebar (m)	Sudut (°)	
104	15	8	5	18	1,501 (Stabil)
		8	5	18	
		8	5	18	
		8	5	18	
		8	5	18	
		1,3	5	18	
		8	5	18	
		8	26,2	18	
		8	5	18	
		10	5	18	
		37	5	18	

4 Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data yang dilakukan selama penelitian diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi geologi lereng desain Life of Mine (LOM) Timbunan PIT X PT Bukit asam tersusun atas Soil, Claystone, sandstone, dan siltstone. Berdasarkan pengujian sifat fisik dan mekanik diketahui parameter geoteknik material penyusun lereng timbunan, bobot isi (γ) 21,56 kN/m³, kohesi (c) 124,916 kPa dan sudut geser dalam (ϕ) antara 18,774°.
2. Stabilitas overall slope area pada penampang A-A' dan penampang B-B' termasuk dalam kategori kritis hingga stabil. Berdasarkan analisis yang dilakukan pada empat kondisi diketahui bahwa pada kondisi pseudostatik MAT 16 m dari permukaan nilai Faktor Keamanan (FK) penampang A-A' dan B-B' secara berturut-turut adalah 1,36 dan 0,988. Pada kondisi pseudostatik MAT full saturated nilai Faktor Keamanan (FK) penampang A-A' dan B-B' adalah 1,157 dan 0,837. Pada kondisi non-pseudostatik MAT 16 m dari permukaan nilai Faktor Keamanan (FK) penampang A-A' dan B-B' adalah 2,15 dan 1,563. Pada kondisi non-pseudostatik MAT full

saturated nilai Faktor Keamanan (FK) penampang A-A' dan B-B' adalah 1,826 dan 1,327.

3. Rekomendasi overall slope dirancang sesuai dengan Kepmen ESDM 1827K tahun 2018 dengan nilai FK $\geq 1,1$. Untuk memastikan lereng berada pada kondisi stabil perancangan dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi kegempaan daerah (*pseudo-static*). Pada penampang B-B', *overall slope* dirancang memiliki ketinggian 104 meter dengan sudut lereng 15°, berdasarkan hasil analisis rekomendasi tersebut memberikan nilai Faktor Keamanan (FK) sebesar 1,327.

4.2 Saran

Berikut merupakan saran yang dapat disampaikan kepada perusahaan terkait analisis dan stabilitas lereng rencana pertambangan berdasarkan hasil kajian, pengolahan, dan analisis data yang telah dilakukan:

1. Material penyusun lereng disposal merupakan merupakan material dalam kondisi lepas (*loose*), sehingga berpotensi mengalami pergerakan dan memerlukan pemantauan secara berkala untuk memastikan kestabilannya.
2. Kegiatan pemantauan air tanah pada lokasi penelitian perlu dilakukan ketika musim kemarau untuk mengetahui pengaruh air tanah pada stabilitas lereng ketika curah hujan rendah.
3. Berdasarkan hasil analisis, desain lereng rancangan awal berada pada kondisi kritis sehingga rekomendasi geometri lereng yang telah dirancang diharapkan dapat diterapkan oleh perusahaan guna memastikan lereng dalam kondisi yang stabil.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Satuan Kerja Eksplorasi PT Bukit Asam Tbk. atas kesempatan untuk melakukan kajian dan data-data yang diberikan

Daftar Pustaka

- [1] Z. Abidin, A. I. Adnyano, and A. S. Rande, "Rekomendasi geometri lereng penambangan optimum pada tambang batugamping PT Citatih Putra Sukabumi," *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVI Tahun 2021 (RETII)*, pp. 544–554, Yogyakarta, 2021.
- [2] I. Arif, *Geoteknik Tambang*, 2nd ed., Jakarta: PT Gramedia Pustaka, 2021.
- [3] S. M. Kusuma, "Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Kesenjangan Batas Dalam Kondisi Statis dan Dinamis pada Pit X, Musi Banyuasin, Sumatera Selatan," vol. 3, no. 1, pp. 24–33, Jul. 2024.

- [4] J. Read and P. Stacey, *Guidelines for Open Pit Slope Design*, Australia: CSIRO Publishing, 2009.
- [5] P. Stacey, *Guidelines for Open Pit Slope Design*, CSIRO Publishing, 2009.
- [6] W. Wibowo and N. Nurhakim, “Kajian Teknis Design Life of Mine (LOM) Tambang dengan Potensi Kerjasama Sharing Wall Project Melalui Pendekatan Analisis Kestabilan Lereng,” *Jurnal Teknologi Berkelanjutan*, vol. 11, no. 01, pp. 7–20, Apr. 2022.
- [7] E. T. Hartono, A. Erwin, and B. P. Putra, “Kajian Kestabilan Lereng Disposal untuk Overall Slope Optimum pada Tambang Batubara di PT Adaro Indonesia, Maburai, Kecamatan Murung Pudak, Kabupaten Tabalong, Kalimantan Selatan,” vol. 1, no. 01, pp. 33–42, Sep. 2020.