

Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan *Limit Equilibrium Method (Spencer)* pada Blok Muara Indung Pit X PT Karya Bumi Baratama

Ahmad Yudistira*, Tri Gamela Saldy

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

* yudistiraahmad3@gmail.com

Abstrak. PT Karya Bumi Baratama (PT KBB) adalah perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan dan telah berinvestasi di Kabupaten Sarolangun, Provinsi Jambi dengan bahan galian yang digali adalah batubara. PT KBB memiliki luasan Izin Usaha Pertambangan (IUP) berkisar 10,211 ha. Berdasarkan hasil pengamatan pada pit X penambangan Blok Muara Indung terdapat lereng yang sudah mengalami erosi. Kondisi geometri lereng aktual *overall slope* dengan ketinggian 18,2 meter dan kemiringan 43° berbentuk *double slope*. Material penyusun lereng yang relatif lunak. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui faktor keamanan lereng aktual pit X PT KBB. Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan *Limit Equilibrium Method (Spencer)* dengan kriteria *Mohr Coulomb* dan *Generalized Hoek-Brown*. Berdasarkan hasil analisis metode *Limit Equilibrium Method (Spencer)* didapatkan nilai faktor keamanan dalam kondisi natural sebesar 1,653, kondisi kering 1,676, dan kondisi jenuh 1,092.

Kata kunci: metode kesetimbangan batas, spencer, rocsience slide 2, faktor keamanan, lereng

Abstract. PT Karya Bumi Baratama (KBB) is a company engaged in mining and has invested in Sarolangun Regency, Jambi Province with the excavated material is coal. PT KBB has a Mining Business License (IUP) area around 10,211 Ha. Based on observations in Pit X Muara Indung Block mining there are slopes that have experienced erosion. The actual slope geometry condition is overall slope with a height of 18.2 meters and a slope of 43° in the form of a double slope. The material that makes up the slope is relatively soft. The purpose of this research is to determine the safety factor of the actual slope of Pit X PT Karya Bumi Baratama. Slope stability analysis was carried out using the limit equilibrium method (spencer) with Mohr Coulomb and Generalized Hoek-Brown criteria. Based on the results of the LEM method analysis, the safety factor value in natural conditions is 1.653, dry conditions are 1.676, and saturated conditions are 1.092.

Keywords: limit equilibrium method, spencer, rocsience slide 2, safety factor, slope

Tanggal Diterima: 18/11/2024; Tanggal Direvisi: 12/12/2024; Tanggal Disetujui: 13/12/2024; Tanggal Dipublikasi: 13/12/2024

1. Pendahuluan

PT Karya Bumi Baratama (PT KBB) merupakan perusahaan industri yang bergerak di sektor pertambangan batubara. PT KBB melakukan kegiatan penambangan batubara yang terletak di Gunung Kembang, Aur, Kec. Sarolangun, Kabupaten Sarolangun, Provinsi Jambi. PT KBB memiliki luas Izin Usaha Pertambangan (IUP) berkisar 10.211 ha.

Proses penambangan yang dilakukan di PT KBB menggunakan metode *open pit mining*. Pada proses penambangan dengan menggunakan metode ini yaitu dengan melakukan pengupasan tanah penutup dan penggalian batubara. Dari aktivitas tersebut dapat menimbulkan dampak pada kestabilan material yang digali. Tanah dan batuan secara alamiah akan berusaha untuk mencapai keseimbangan yang baru, dengan cara berdegradasi atau mengurai beban berupa perpindahan dengan besaran tertentu. Pada proses ini dapat memberikan gangguan dan risiko besar yang terjadi, salah satunya menimbulkan ketidakstabilan pada lereng.

Hasil observasi pada lereng pit X PT KBB terdapat adanya ketidaksesuaian antara rancangan geometri lereng terhadap kondisi aktual. Dimana rancangan perusahaan terhadap lereng yaitu dengan

tinggi 10 meter, lebar *bench* 5 meter, dan *slope* 60°. Namun untuk kondisi aktualnya di lapangan tidak sesuai dengan rancangan yang dibuat. Keadaan aktual lereng pit X *overall slope* dengan tinggi 18,2 meter, lebar *bench* 3,1 meter, dengan *slope* 43°.

Selain itu pada kondisi aktual juga terdapat temuan berupa erosi pada lereng. Erosi adalah proses tersapunya tanah oleh kekuatan air (dan angin), baik yang bersifat alami maupun akibat ulah manusia.^[1]

Kerentanan tanah longsor dalam konteks geologi, fenomena ini penting untuk dipahami, terutama dalam perencanaan penggunaan lahan dan mitigasi bencana. Dengan mengetahui karakteristik lereng curam dan lapisan kedap air, langkah-langkah pencegahan dapat diambil untuk mengurangi dampak negatif yang mungkin ditimbulkan oleh pergerakan tanah.^[1] Pada kondisi ini ditakutkan dalam beberapa waktu ke depan akan terjadi longsor.

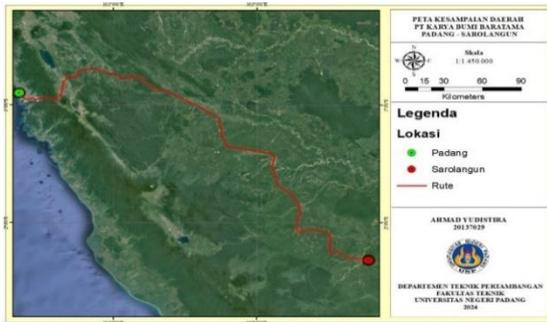
2. Kajian Pustaka

2.1 Lokasi dan Kesampaian Daerah

Penelitian ini dilaksanakan di tambang batubara PT KBB. Area operasional PT KBB secara

administratif terletak di Gunung Kembang, Aur, Kec. Sarolangun, Kabupaten Sarolangun, Provinsi Jambi dengan luas wilayah 10,211 ha. PT KBB dapat diakses dengan jalur darat dengan jarak tempuh 455 km selama kurang lebih 10 jam.

Secara keseluruhan kondisi jalan masih bisa diakses dengan kendaraan roda empat. Akses menuju area penambangan dari kantor PT KBB bisa ditempuh dengan waktu 1 jam perjalanan dengan menggunakan kendaraan roda empat atau mobilisasi perusahaan.

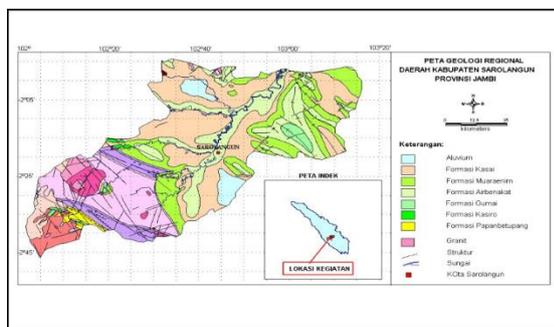


Gambar 1. Peta Kesampaian Lokasi PT KBB

2.2 Kondisi Geologi Regional

Secara regional geologi daerah PT KBB termasuk ke dalam cekungan Sumatera Selatan yang merupakan *backdeep basin* atau cekungan pedalaman belakang. Perbedaan ini tidak hanya terletak pada aspek topografi, tetapi juga mempengaruhi kondisi lingkungan dan ekosistem di masing-masing cekungan. Cekungan Sumatera Selatan, dengan ketinggian yang lebih rendah, cenderung memiliki iklim dan vegetasi yang berbeda dibandingkan dengan cekungan yang lebih tinggi di Sumatera Tengah

Dengan demikian, analisis stratigrafi tidak hanya memberikan wawasan tentang proses sedimentasi, tetapi juga mengungkapkan dinamika geologis yang mempengaruhi pembentukan sumber daya alam seperti batubara. Penelitian lebih lanjut mengenai hubungan antara formasi geologis dan potensi batubara dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengelolaan sumber daya energi di masa depan.



Gambar 2. Peta Geologi Regional

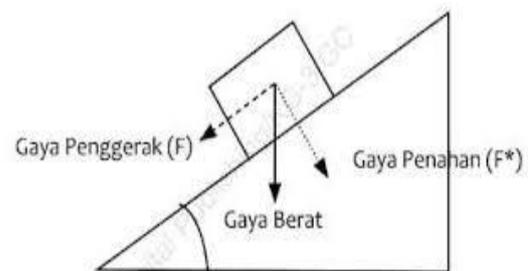
2.3 Lereng (Slope)

Lereng adalah suatu permukaan tanah atau batuan yang membentuk sudut kemiringan terhadap bidang horizontal.^[2] Dengan demikian, pemahaman mengenai perbedaan karakteristik antara lereng batuan dan tanah sangat penting dalam studi geoteknik dan mitigasi bencana. Pengetahuan ini dapat membantu dalam merancang strategi yang lebih efektif untuk mencegah dan mengatasi masalah kelongsoran, serta dalam pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan. Pada tanah, bidang longsor atau bidang geser dari longsor biasanya memiliki wujud bidang lurus, sedangkan pada tanah memiliki wujud longsor busur.

1. Kestabilan Lereng

Kestabilan lereng, baik lereng alami maupun lereng buatan (buatan manusia) serta lereng timbunan, Dalam konteks ini, gaya-gaya penahan mencakup elemen-elemen seperti gesekan tanah, kohesi antar partikel, dan berat material yang ada di lereng. Sebaliknya, gaya-gaya penggerak dapat berasal dari faktor eksternal seperti curah hujan, gempa bumi, atau aktivitas manusia yang dapat mengubah kondisi lereng.

Longsor dapat dipahami sebagai suatu proses alami yang terjadi ketika lereng berusaha mencapai kondisi stabil yang baru. Proses ini terjadi ketika gaya penahan yang ada pada lereng menjadi lebih besar daripada gaya penggerak yang berusaha mendorong material ke bawah. Dengan demikian, longsor bukan hanya sekadar fenomena yang merugikan, tetapi juga merupakan bagian dari dinamika geologi yang berupaya menciptakan kesetimbangan baru.^[2]



Gambar 3. Faktor Keamanan Sederhana^[3]

Oleh karena itu, pemantauan dan evaluasi terhadap nilai Faktor Keamanan sangat penting dalam manajemen risiko geoteknik. Dengan memahami kondisi stabil atau tidak stabil dari lereng, langkah-langkah pencegahan dapat diambil untuk mengurangi potensi bencana alam yang disebabkan oleh longsor tanah. Penelitian lebih lanjut dan pengembangan metode analisis yang lebih akurat juga diperlukan untuk meningkatkan ketahanan lereng di berbagai kondisi geologis.^[3]

Sebagai pedoman untuk menentukan nilai faktor keamanan lereng tambang, Indonesia mengacu pada Keputusan Menteri ESDM No. 1827 K/30/MEM Tahun 2018 mengenai Pedoman

Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang baik. Berdasarkan peraturan tersebut, batas nilai faktor keamanan dapat ditetapkan sesuai dengan jenis lereng dan tingkat keparahan longsor yang terjadi. Nilai faktor keamanan serta probabilitas terjadinya longsor pada lereng tambang dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

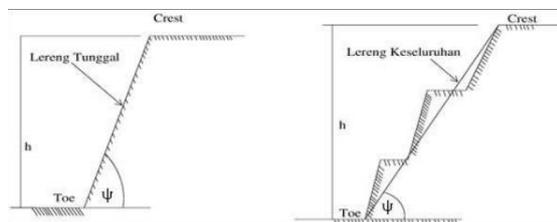
Tabel 1. Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Tambah ^[4]

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (Consequence 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%
	Rendah	1,15-1,2	1,0	25%
Inter-Ramp	Menengah	1,2-1,3	1,0	20%
	Tinggi	1,2-1,3	1,0	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%

2.4 Faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

2.4.1 Geometri Lereng

Geometri lereng adalah tinggi (h) kemiringan lereng (ψ), baik itu lereng tunggal (*single slope*) maupun lereng keseluruhan (*overall slope*).^[5]



Gambar 4. Penampang Lereng Tunggal dan Lereng Keseluruhan^[5]

Lereng dikategorikan sebagai lereng tunggal jika terbentuk oleh satu jenjang, sedangkan disebut keseluruhan jika terdiri dari beberapa jenjang. Lereng yang memiliki kemiringan tetap, ketika tinggi lereng ditambahkan, akan mempengaruhi kestabilan lereng tersebut. Akibatnya, jika kekuatan geser tidak cukup untuk menahan beban yang meningkat, maka risiko terjadinya longsoran atau pergerakan tanah akan meningkat secara substansial.

1. Uji Sifat Fisik Material

Pemahaman yang mendalam mengenai sifat fisik batuan sangat penting dalam aplikasi geoteknik, karena dapat mempengaruhi keputusan dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek konstruksi. Dengan menganalisis parameter-parameter tersebut, peneliti dapat mengidentifikasi potensi masalah yang mungkin timbul serta

merumuskan solusi yang tepat untuk memastikan keberhasilan proyek.

Uji sifat fisik berfungsi sebagai data pendukung untuk batuan yang sedang diuji. Jika hasil dari pengujian sifat fisik batuan menunjukkan adanya ketidakseragaman, hal ini dapat diartikan sebagai indikasi bahwa kekuatan batuan tidak merata, atau dengan kata lain, batuan yang diuji memiliki variasi yang tinggi (heterogen).^[2]

2. Uji Sifat Mekanik Material

Uji sifat mekanik material dibagi menjadi dua yaitu sebagai berikut:

- Hasil dari uji tekan ini juga dapat digunakan untuk memperkirakan stabilitas struktur yang dibangun di atas atau di sekitar batuan tersebut. Dengan demikian, pengujian kuat tekan uniaksial tidak hanya berfungsi sebagai alat untuk klasifikasi material, tetapi juga sebagai dasar untuk pengambilan keputusan dalam desain dan analisis rekayasa. Hal ini menunjukkan pentingnya pengujian ini dalam konteks rekayasa geoteknik dan pengembangan infrastruktur.^[6]
- Uji Kuat Geser (*Direct Shear Strength Test*) kuat geser batuan merujuk pada ketahanan internal batuan terhadap tegangan yang beroperasi sepanjang bidang geser di dalamnya, yang dipengaruhi oleh karakteristik intrinsik serta faktor eksternal. Parameter ini sangat penting dalam perancangan kestabilan lereng. Pemahaman yang mendalam mengenai kriteria *Mohr-Coulomb* dan hasil pengujian yang diperoleh sangat krusial dalam bidang teknik sipil dan geoteknik. Dengan mengetahui kuat geser dan parameter lainnya, insinyur dapat merancang struktur yang lebih aman dan efisien, serta memprediksi perilaku tanah atau batuan di bawah beban tertentu. Hal ini berkontribusi pada pengembangan teknik mitigasi risiko dalam proyek konstruksi.^[6]

2.4.2 Kondisi Air Tanah

Kondisi air tanah yang terletak di bawah permukaan tanah berpengaruh terhadap kekuatan tanah atau batuan di bawahnya. Hal ini disebabkan oleh keberadaan air yang mengisi pori-pori tanah atau batuan, yang mengakibatkan peningkatan bobot tanah atau batuan tersebut. Dengan demikian, pemahaman tentang bagaimana air memengaruhi tekanan dalam pori-pori sangat krusial untuk meramalkan perilaku tanah atau batuan di bawah beban. Penelitian lebih lanjut dalam bidang ini dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai interaksi antara air, tanah, dan struktur yang ada di atasnya.

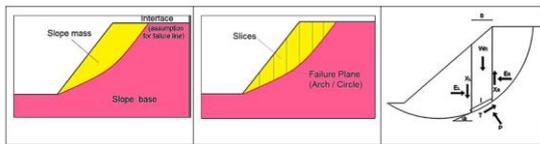
2.4.3 Gaya Luar

Selain itu, fenomena alam seperti gempa bumi juga dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap getaran yang mempengaruhi kestabilan lereng. Getaran yang dihasilkan dari sumber-sumber

ini dapat menyebabkan perubahan dalam struktur tanah, yang pada gilirannya dapat meningkatkan risiko terjadinya longsor atau keruntuhan lereng. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai sumber-sumber getaran ini sangat penting untuk mitigasi risiko.

2.5 Limit Equilibrium Method

Limit Equilibrium Method atau Metode Kesetimbangan Batas adalah metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan gaya. Metode analisis ini pertama-tama mengasumsikan bidang ke longsor yang dapat terjadi, bidang ke longsor yang diasumsikan berbentuk *circular* dan berbentuk *non-circular*.



Gambar 5. Gaya yang Bekerja pada Setiap Irisan

Metode Spencer merupakan metode yang dapat digunakan untuk sembarang bentuk bidang longsor dan memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan kesetimbangan momen pada setiap irisan.

2.6 Finite Element Method

Finite Element Method atau Metode Elemen Hingga adalah teknik numerik untuk menemukan solusi perkiraan pada permasalahan persamaan diferensial parsial.

Strength Reduction Method merupakan salah satu pendekatan *Finite Element Method* dalam menghitung nilai angka keamanan lereng. Dalam cara ini, karakteristik kekuatan tanah seperti kohesi dan sudut geser secara bertahap dikurangi suatu faktor sampai kondisi ketidakstabilan tercapai dalam sistem. Faktor tersebut disebut sebagai *Strength Reduction Factor*. Faktor inilah yang digunakan sebagai angka keamanan lereng dari metode *Strength Reduction Method*.

3. Metodologi Penelitian

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian kuantitatif karena fokusnya pada penelitian terapan. Penelitian terapan adalah jenis penelitian yang lebih berfokus pada inovasi dan pengembangan teknologi.

3.2 Objek Penelitian

Adapun yang menjadi objek penelitian adalah keadaan lereng yang sudah mulai menunjukkan ciri-ciri ketidakstabilan di area tambang Blok Muara Indung *pit X* PT KBB.

Hasil pengamatan keadaan lereng aktual dan analisis dari hasil uji laboratorium perusahaan pada area penelitian. PT KBB diharapkan dapat menjadi acuan untuk mengkaji faktor keamanan

lereng aktual dan memberikan rekomendasi geometri lereng yang aman untuk dilakukan kegiatan penambangan ke depannya bagi perusahaan.

3.3 Jenis Data

Terdapat dua jenis data penelitian berdasarkan pada cara mendapatkannya, yaitu:

1. Data Primer

Pengumpulan data yang dilakukan secara langsung berupa kegiatan pengamatan dan pengukuran lapangan serta wawancara merupakan data primer. Berikut data primer yang diambil selama kegiatan penelitian:

a. Geometri Lereng

Geometri lereng meliputi tinggi lereng, kemiringan lereng, dan *bench* pada lereng.

b. Orthophoto Area Penelitian

Orthophoto hasil dari *drone mapping* yang dilakukan di *pit X* PT KBB.

c. Koordinat Lokasi Penelitian

Titik lokasi penelitian dan pengambilan *section*.

2. Data Sekunder

Berikut data sekunder yang diambil selama kegiatan penelitian:

a. Hasil Uji Laboratorium

b. Litologi Material

3.4 Teknik Pengumpulan Data

3.4.1 Studi Literatur

Pada tahapan awal dalam melakukan penelitian adalah pencarian bahan literatur yang berkaitan kajian analisis kestabilan lereng. Literatur yang digunakan dapat bersumber dari buku Geologi Teknik yang memuat teori mengenai kajian lereng dan sejenisnya, penelitian terdahulu yang relevan, kajian dan arsip PT KBB dan informasi lainnya.

3.4.2 Observasi Lapangan

Pengamatan di lapangan dilakukan untuk meninjau rencana bahasan yang akan diteliti dengan kondisi permasalahan di lapangan. Khususnya kegiatan observasi berfokus pada kondisi lereng pada area bukaan tambang Blok Muara Indung PT KBB. Hal yang ditinjau berupa keadaan lereng, topografi bukaan tambang, kondisi curah hujan, kegiatan produksi dan data penunjang lainnya.

3.4.3 Pengambilan Data

Pada penelitian ini dilakukan beberapa cara dalam pengambilan data yang bertujuan untuk mendapatkan gambaran terhadap objek penelitian. Pengumpulan data ini dilakukan dengan dua metode yaitu data primer dan data sekunder.

3.5 Teknik Analisis Data

Analisis lereng aktual menggunakan *Limit Equilibrium Method*. Penggambaran kondisi geometri lereng aktual menjadi dasar dalam analisis faktor keamanan lereng. Analisis dilakukan dengan bantuan *software Rocscience Slide 2*. Data yang digunakan adalah data *orthophoto* dari *drone area*

penelitian, dengan data pendukung berupa deskripsi litologi material penyusun lereng yang digambarkan secara grafis. Data masukan lainnya dalam proses analisis *software* adalah data parameter hasil uji sifat fisik dan mekanik material lereng berdasarkan data dari hasil uji yang telah dilakukan oleh PT KBB.

Proses pengerjaan dilakukan dengan penggambaran kondisi geometri lereng aktual agar hasil yang didapatkan menghasilkan nilai faktor keamanan yang akurat. Setelah data dimasukkan ke dalam *software*, dilakukan interpretasi data. Hasil interpretasi memperlihatkan nilai faktor keamanan lereng aktual, yang mendekati kondisi aktual di lapangan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada lereng penambangan Blok Muara Indung *pit* X PT KBB, dengan titik koordinat lokasi penelitian area penampang *A-A'* berada pada koordinat dan ketinggian yang dapat dilihat pada Tabel 2. Pengambilan *section* berfungsi sebagai penggambaran penampang atau *boundary* lereng yang akan dianalisis dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini. *Section* yang diambil tegak lurus dengan lereng yang akan dianalisis. *Section* didapatkan dengan pengolahan data *orthophoto*.

Tabel 2. Posisi *Section A-A'* Lereng

Keterangan	A	A'
X	102°47'24.32"	102°47'22.87"
Y	2°18'43.89"	2°18'44.65"
Ketinggian	132,023 m	114,241 m



Gambar 6. Lokasi *Section* yang Diteliti

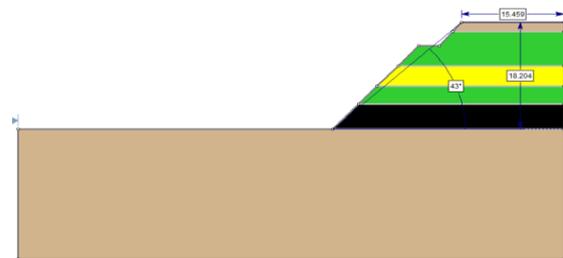
Litologi material yang menyusun lereng terdiri dari tanah (*soil*), batu lempung (*claystone*), batu pasir (*sandstone*), dan batubara (*coal*). Litologi tersebut didapatkan dari hasil penyesuaian lubang bor terdekat dengan area penelitian Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Litologi Material Penyusun Lereng

From	To	Depth	Lithology	Name	Information
18,2	16,6	1,58		Soil	Soil, brown-light, weathered

From	To	Depth	Lithology	Name	Information
16,6	10,8	5,8		Claystone	Claystone, reddish white, soft, soft tuffaceous weathered, sandy, intercalation with tuffaceous sand
10,8	7,3	3,5		Sandstone	Sandstones, grey, medium fine, sand grains, sub-rounded, loose, quartz
7,3	4,26	3,06		Claystone	Claystone, reddish white, soft, soft tuffaceous weathered, sandy, intercalation with tuffaceous sand
4,26	0	4,26		Coal	Black, moderate hard, blocky, brown streak, dull

Permodelan geometri lereng aktual dibuat berdasarkan *section* hasil dari *orthophoto* yang dikombinasikan dengan litologi material penyusun lereng. Geometri lereng aktual bisa dilihat pada Gambar 7 di bawah ini, dimana lereng merupakan lereng *overall slope* yang bentuk *double bench* dengan tinggi lereng 18,2 m, kemiringan 43°.



Gambar 7. Geometri Lereng Aktual Area Penelitian

Tabel 4. Profil Geometri Lereng Aktual Area Penelitian

Lereng	Slope	Tinggi (m)	Kemiringan (°)
	Slope 1	4	50
Aktual	Slope 2	14,2	48
	Overall Slope	18,2	43

Pada lokasi penelitian ini terdapat dinding lereng (*slope*) bagian bawah sudah mulai mengalami erosi. Dengan adanya erosi bisa menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi lereng menjadi tidak stabil. Maka dari itu untuk menghindari terjadinya longsor dimasa yang akan datang perlu dilakukan analisis kestabilan lereng.

Parameter hasil uji laboratorium yang digunakan dalam analisis permodelan lereng berupa jenis material, sudut geser dalam, kohesi (*C*), berat isi natural, berat isi kering, berat isi basah, modulus young, dan *poisson ratio*. Data hasil uji laboratorium PT KBB dikonversi satuannya sesuai dengan *software* tambang yang digunakan. Ada dua bentuk data hasil uji laboratorium yang digunakan untuk *software* tambang yaitu Kriteria *Mohr-Coulomb* dan Kriteria *Generalized Hoek-Brown*.

Tabel 5. Mohr-Coulomb

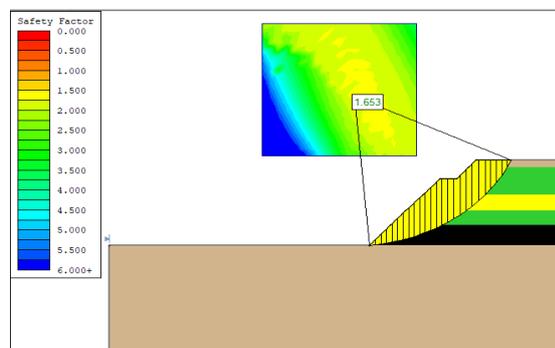
Material	γ Nat	γ Dry	γ Sat	Cohesi Res (kPa)	Phi Res (°)
Soil	20,75	20,63	23	31	35
Claystone	20,6	20,2	21	76,3	15,9
Sandstone	22,5	21,7	23,6	80	16,63

Tabel 6. Generalized Hoek-Brown

Material	γ Dry	γ Sat	UCS
Coal	12,27	12,87	5310

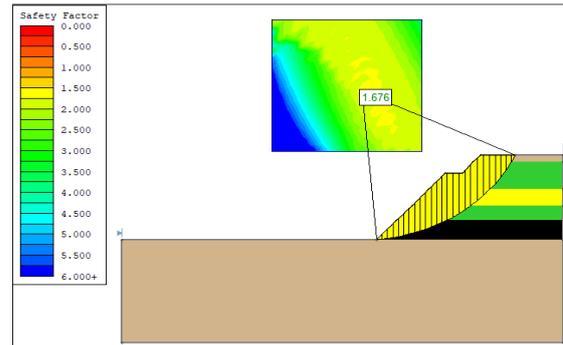
4.2 Analisis Kestabilan Lereng Aktual pit X PT KBB

Analisis penelitian yang dilakukan terhadap kondisi aktual pada bulan September 2024 dengan tujuan mencari nilai faktor keamanan (FK) yang sesuai dengan kondisi aktual dibantu dengan software Rocscience Slide 2 dengan metode Limit Equilibrium Method (Spencer). Berdasarkan geometri aktual lereng keseluruhan (overall slope) memiliki ketinggian 18,2 meter dengan sudut kemiringan 43°. Melalui analisis stabilitas lereng yang dilakukan, diperoleh nilai faktor keamanan (FK) pada kondisi alami sebesar 1,653. Sesuai dengan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018, nilai faktor keamanan ini menunjukkan bahwa lereng aktual berada dalam keadaan stabil, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8 di bawah ini.



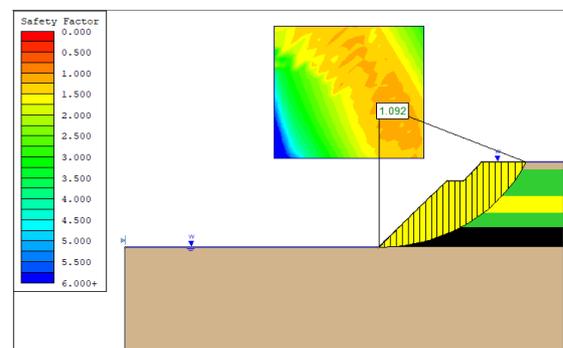
Gambar 8. Faktor Keamanan Lereng Aktual pada Kondisi Natural

Pada kondisi lereng kering, nilai faktor keamanan yang dihasilkan adalah 1,676. Menurut KEPMEN No. 1827 tahun 2018, nilai faktor keamanan kondisi kering menunjukkan kondisi stabil, seperti pada Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Faktor Keamanan Lereng Aktual pada Kondisi Kering

Sedangkan pada kondisi lereng jenuh, nilai faktor keamanan yang dihasilkan adalah 1,092. Menurut KEPMEN No. 1827 tahun 2018, nilai faktor keamanan kondisi jenuh menunjukkan kondisi tidak stabil, seperti pada Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Faktor Keamanan Lereng Aktual pada Kondisi Jenuh

Hasil dari analisis stabilitas lereng pada kondisi natural dan kering dapat dilihat pada Tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7. Hasil Faktor Keamanan Lereng Aktual dengan Metode Spencer

Kondisi Lereng	Analisis Slope	Tinggi Lereng (m)	Kemiringan (°)	Lebar/Bench (m)	Faktor Keamanan
Natural					1,653
Kering	Overall Slope	18,2	43	3,1	1,676
Jenuh					1,092

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Berdasarkan nilai parameter uji sifat fisik-mekanik material didapatkan faktor keamanan lereng dalam kondisi natural menggunakan metode Spencer sebesar 1,653 dan dalam kondisi kering sebesar 1,676. Sedangkan untuk kondisi jenuh faktor keamanan sebesar 1,092.
- Dari tiga kondisi lereng aktual yang dilakukan dimana kondisi jenuh adalah satu-satunya kondisi yang menunjukkan FK yang tidak

stabil. Maka hasil dari analisis ini bisa dijadikan acuan untuk rekomendasi desain lereng ke depannya.

5.2 Saran

Beberapa saran dan rekomendasi berikut dibuat berdasarkan analisis data yang berkaitan dengan topik yang ditinjau:

1. Perlu dilakukannya pemantauan muka air tanah pada lereng dikarenakan hasil dari penelitian ini menunjukkan lereng mengalami ketidakstabilan di saat kondisi jenuh.
2. Disarankan agar perusahaan melakukan perubahan pada geometri lereng, dengan cara memperbaiki geometri yang ada hingga mencapai nilai faktor keamanan (FK) lebih besar dari 1,3.
3. Pemantauan terhadap kondisi lereng perlu dilakukan secara berkala untuk pencegahan terhadap gangguan dan hambatan pada proses penambangan.

Referensi

- [1] Haribulan, R., & Gosal, P. H. (2019). *Kajian Kerentanan Fisik Bencana Longsor di Kecamatan Tomohon Utara*. 6(3).
- [2] Arif Irwandi. (2016). *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama.
- [3] Romana, M. (1993). *A Geomechanical Classification for Slope: Slope Mass Rating*, dalam *Comprehensive Rock Engineering. Volume 3*. Editor : Hudson, J, A. Pergamon.
- [4] Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2018). *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik*.
- [5] Hoek, E., dan Bray, J. W., (1981). *Rock Slope Engineering. The Institution of Mining and Metallurgy, 3rd Edition* : London.
- [6] *American Society for Testing and Material*. (1983). *ASTM D 653-67 Standard Definition of Terms and Symbol*. ASTM. West Chonchohocken, PA.