

Analisis balik kelongsoran lereng *lowwall* dan pengaplikasiannya pada tambang pit utara di PT Banyan Koalindo Lestari

Back analysis of lowwall slope failure and its application to the northern pit at PT Banyan Koalindo Lestari

Aldito Suranta Tambunan¹, Alio Jasipto^{2*}, Hafid Zul Hakim³, Deni Mildan⁴

¹⁻⁴Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia
e-mail: *alio.jasipto@ta.itera.ac.id

ABSTRAK

PT Banyan Koalindo Lestari merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan batubara di Indonesia dan memiliki luas Izin Usaha Pertambangan (IUP) seluas 10.980 ha. Pada April 2024, terjadi longsoran di pit utara sisi *lowwall* PT BKL. Penyebab kelongsoran belum diketahui sehingga diperlukan analisis balik untuk mencari penyebab kelongsoran, belum pernah dilakukannya analisis balik oleh perusahaan. Ada beberapa hal yang diduga menjadi parameter yaitu *material properties*, pengaruh air, kegempaan, dan beban alat. Analisis balik dilakukan pada *material properties* didapatkan pada nilai kohesi batuan *sandstone* dan *claystone* adalah 0.057 dan 0.030 dan sudut geser dalamnya 24.53° serta 15.30°, didapatkan penurunan *strength reduction factor* sebesar 46.5%. Pada pengaruh air didapatkan penurunan yang cukup signifikan adalah 49.5%. Kegempaan dan beban alat memiliki dampak yang tidak terlalu signifikan dapat dilihat dari penurunan kedua parameter, nilai penurunan kedua parameter adalah 10.53% dan 16.3%. dari hasil yang telah diperoleh dapat dikatakan bahwa penyebab kelongsoran adalah *material properties* dan pengaruh air. Diketahui penyebab kelongsorannya dan dilakukan pemodelan diperoleh *strength reduction factor* sebesar 0.86, Kesesuaian antara total *displacement* dan pergerakan lereng aktual mendapatkan hasil 0.7 cm dengan 2.4 cm. Kedua hasil ini dikatakan tidak terlalu jauh sehingga masih bisa merepresentasikan keadaan lapangan pada model yang dibuat pada software analisis berbasis FEM.

Kata-kata kunci: Analisis Balik; *Displacement*; *Finite Element Method*; *Software*; *Strength Reduction Factor*

ABSTRACT

PT Banyan Koalindo Lestari is one of the companies engaged in the coal mining sector in Indonesia and holds a Mining Business Permit (IUP) covering an area of 10,980 ha. In April 2024, a landslide occurred in the north pit on the *lowwall* side of PT BKL. The cause of the landslide was not yet known; therefore, back analysis was required to identify the contributing factors, and this procedure had never been previously performed by the company. There were several suspected parameters contributing to the failure, namely *material properties*, water influence, seismic effects, and equipment loading. Back analysis was conducted on *material properties* and resulted in a reduction of 46.5% in the *strength reduction factor*. The water influence was found to be quite significant, causing a 49.5% reduction. Seismic effects and equipment loading were less pronounced, with reductions of 10.53% and 16.3% respectively. Based on these results, it can be concluded that *material properties* and water were the main contributors to slope failure. Once the cause of failure was identified, back analysis was performed and a *strength reduction factor* of 0.86 was obtained. The comparison between total *displacement* and actual slope movement shows values of 0.7 cm and 2.4 cm, respectively. These results are reasonably close, indicating that the FEM-based software model adequately represented field conditions.

Keywords: Back Analysis; *Displacement*; *Finite Element Method*; *Software*; *Strength Reduction Factor*

Submitted: 15-12-2025; Revised: 14-01-2026; Accepted: 30-01-2026; Available Online: 30-04-2026

Published by: Geological Engineering, Faculty of Engineering, Lambung Mangkurat University

This is an open access article under the CC BY license <https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>

©2026, Geoparks

PENDAHULUAN

PT Banyan Koalindo Lestari merupakan sebuah perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan batubara di Indonesia. Perusahaan ini memiliki Izin Usaha Pertambangan (IUP) seluas 10.980 ha yang terletak di Desa Beringin Makmur II, Kecamatan Rawas Ilir, Kabupaten Musi Rawas, Sumatera Selatan. Dalam proses penambangan, perusahaan menggunakan metode tambang terbuka yang melibatkan pengupasan lapisan tanah penutup. Hal ini dapat membuat kondisi lereng menjadi tidak stabil dan rentan terjadi kelongsoran. Hal tersebut terjadi pada April 2024, dimana terjadi kelongsoran pada lowwall pit utara, dan peristiwa ini menjadi masalah yang cukup serius. Penyebab kelongsoran masih belum dapat dipastikan dan analisis balik juga belum pernah diterapkan pada perusahaan tersebut. Karena permasalahan ini dapat terus terjadi apabila tidak dicari akar masalahnya, maka perlu dilakukan sebuah penelitian untuk menemukan penyebab dan mencari solusi demi menjaga kestabilan lereng.

Selain aspek geoteknik, kelongsoran juga dapat terjadi akibat beberapa faktor lain, yaitu *material properties*, pengaruh air, kegempaan, dan beban alat. Hal ini terjadi karena material yang lemah dapat bergeser apabila terjadi perbedaan tegangan, air dapat memberikan tekanan air pori yang dapat menurunkan kekuatan tanah dan batuan, gempa dapat terjadi apabila terjadi pergeseran akibat gelombang seismik, dan beban alat dapat memberikan tekanan tambahan pada lereng. Hal ini sesuai pendapat Sakurai (2017) yang menyatakan bahwa stabilitas lereng dipengaruhi oleh kondisi geologi, ukuran butir, kekerasan, dan distribusi ukuran. Dengan memahami masing-masing pengaruh tersebut, dapat diidentifikasi mana yang paling dominan menjadi penyebab kelongsoran.

Berdasarkan permasalahan yang terjadi, maka penelitian ini bertujuan menemukan akar masalah kelongsoran dan menghubungkan kondisi lapangan dengan parameter geoteknik. Analisis balik digunakan pada *material properties*, pengaruh air, gempa, dan beban alat, kemudian diterapkan pada sebuah model untuk menemukan mana yang paling signifikan. Hasil dari analisis nantinya dapat digunakan perusahaan sebagai acuan untuk perbaikan dan pencegahan (Bieniawski, 1989). Dengan memahami penyebab dan kondisi yang terjadi, risiko kelongsoran dapat diminimalisir. Hal ini juga berguna demi menjaga keselamatan para pekerja dan peralatan di area tambang. Dengan diterapkannya langkah perbaikan berdasarkan analisis, perusahaan dapat melanjutkan kegiatan penambangan secara lebih aman dan efisien.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode terapan (*Applied Research*). Penelitian terapan merupakan metode yang diterapkan untuk menemukan, menguji, dan mengevaluasi suatu teori demi menyelesaikan masalah yang terjadi di lapangan. Dalam pelaksanaannya, penelitian ini menggunakan pendekatan analisis balik (*back analysis*) berdasarkan kondisi lapangan. Analisis balik berguna untuk menemukan parameter geoteknik yang paling sesuai dan dapat mewakili kondisi sebenarnya pada lereng yang terjadi kelongsoran.

Pengambilan data pada penelitian ini dibagi menjadi 2, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer meliputi ukuran geometri aktual lereng, litologi, dan RMR (*Rock Mass Rating*). Sedangkan data sekunder meliputi uji geser langsung, densitas, kohesi, sudut geser, peta, dan data curah hujan. Pengambilan data primer dan sekunder berguna demi memperoleh parameter yang dibutuhkan pada saat proses analisis dan permodelan.

Pengolahan data diawali dari pembuatan model geometri berdasarkan ukuran dan kondisi lapangan. Setelah itu, parameter *material properties*, pengaruh air, kegempaan, dan beban alat diterapkan pada model geometri lereng yang sudah dibuat software berbasis Metode Elemen Hingga (FEM). Analisis kemudian dijalankan secara *trial and error* sampai terjadi kesesuaian antara pergerakan pada model dan pergerakan aktual. Hasil analisis kemudian dievaluasi dan disimpulkan berdasarkan perbedaan yang terjadi, sehingga dapat diidentifikasi penyebab kelongsoran.

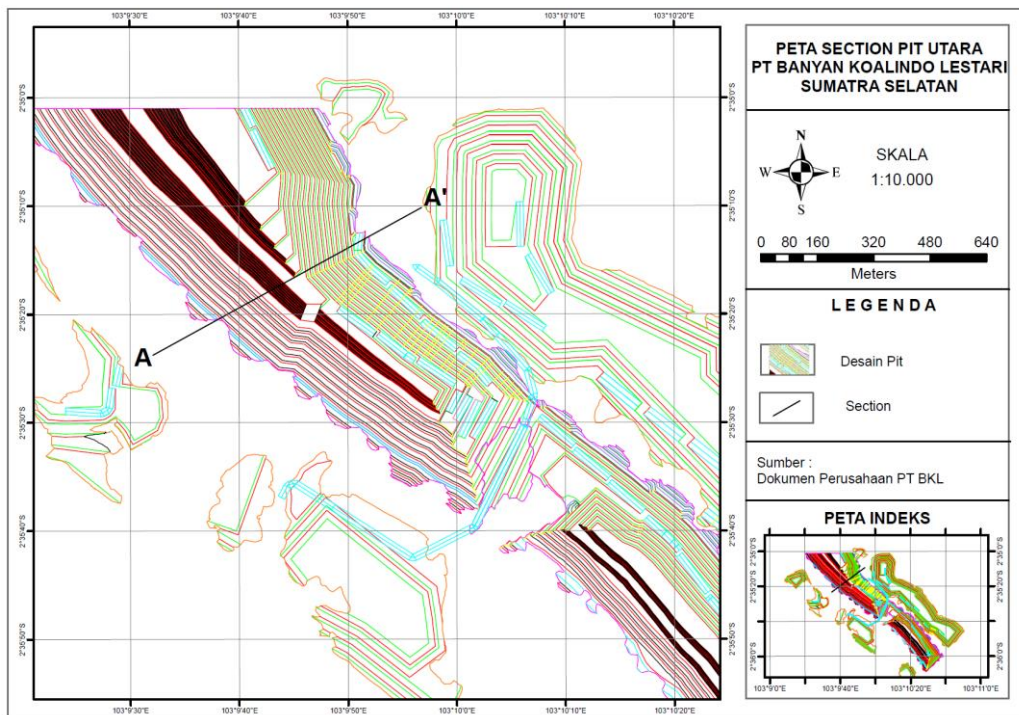
HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Parameter Penyebab Longsor

Untuk menentukan faktor utama penyebab kelongsoran, diperlukan pendekatan sistematis melalui analisis balik. Menurut Sakurai (2017), analisis balik merupakan metode yang efektif untuk mengevaluasi parameter geoteknik berdasarkan kondisi aktual di lapangan pasca kegagalan. Melalui pendekatan ini, berbagai parameter seperti *material properties*, pengaruh air, kegempaan, dan beban alat dapat dianalisis untuk menyesuaikan hasil simulasi dengan kondisi longsor yang sebenarnya terjadi. Dalam konteks ini, hasil pengamatan lapangan menunjukkan adanya bidang longsor pada sisi lowwall site PT BKL, yang kemudian menjadi dasar perlunya dilakukan proses identifikasi terhadap kestabilan lereng. Salah satu langkah penting adalah mengetahui nilai *strength reduction factor* dari model lereng sebelum terjadinya longsor, karena analisis penyebab kelongsoran dilakukan dengan cara memodifikasi model awal menggunakan parameter-parameter yang diduga menjadi pemicu longsor. Dengan demikian, dapat diperoleh kondisi model lereng yang menghasilkan nilai *strength reduction factor* sesuai dengan keadaan longsor aktual. Selanjutnya, besarnya penurunan nilai *strength reduction factor* akibat masing-masing parameter akan dibandingkan untuk mengidentifikasi faktor dominan yang menyebabkan lereng mencapai kondisi kritis atau mengalami kegagalan, serta memastikan kesesuaiannya dengan kondisi aktual di lapangan.

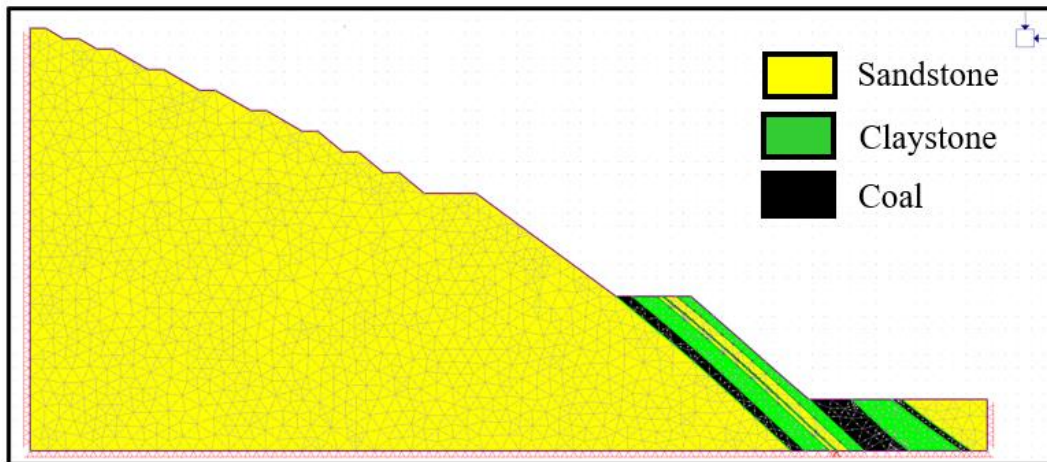
1. Geometri Lereng

Pit yang sudah dimodel sebelumnya harus kita *section* untuk mengambil model lerengnya mulai dari tinggi, lebar dan kemiringan. Adapun hasil *section* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Section

Setelah dilakukan *section* (A-A'), hasilnya dibawa ke *software desain* untuk diolah dan dirapikan kemudian dimodel di *software analisa* berbasis FEM dengan memasukkan litologi batuan yaitu batu sandstone, claystone, dan coal, hasil model dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Model Lereng

Berdasarkan Gambar 2, model yang sudah dibuat yang bersumber pada hasil *section* lereng akhir tambang dan litologi batuan maka selanjutnya diinputkan parameter parameter yang menjadi dugaan lereng longsor.

2. Material Properties

Penentuan *material properties* merupakan aspek penting yang memengaruhi analisis kestabilan lereng secara keseluruhan, parameter yang nilai adalah kohesi, dan sudut geser dalam. Data *material properties* ini didapat dari lapangan dengan berdasar pada RMR (*Rock Mass Rating*) dimana yang dinilai mulai dari kuat tekan tekannya hingga kondisi air tanahnya. Nilai yang didapatkan dari lapangan dapat dilihat pada Tabel 1 dimana data tersebut mewakili keadaan lapangan *lowwall* site PT BKL.

Tabel 1. Nilai RMR Lapangan

No	Jenis Batuan	RMR
1	<i>Sandstone</i>	41
2	<i>Claystone</i>	38
3	<i>Sandstone</i>	41
4	<i>Claystone</i>	39
5	<i>Sandstone</i>	48
6	<i>Claystone</i>	40

Nilai *rock mass rating* yang diperoleh dari lapangan kemudian digunakan untuk menghitung *Geological Strength Index* (GSI). GSI merupakan parameter penting dalam kajian geoteknik karena dapat menggambarkan tingkat kekompakan dan integritas massa batuan yang sesungguhnya di lapangan, terutama setelah memperhitungkan pengaruh diskontinuitas. Selanjutnya, nilai GSI ini diolah lebih lanjut menggunakan *software* analisis, yang memungkinkan estimasi parameter sifat mekanik massa batuan secara lebih realistis, seperti kohesi massa batuan, dan sudut geser dalam.

Tabel 2. Perhitungan RMR ke GSI

No	Jenis Batuan	RMR	GSI
1	<i>Sandstone</i>	41	36
2	<i>Claystone</i>	38	33
3	<i>Sandstone</i>	41	36
4	<i>Claystone</i>	39	34
5	<i>Sandstone</i>	48	43
6	<i>Claystone</i>	40	35

Nilai GSI didapat dengan rumus $RMR - 5$, dan dari hasil perhitungan diatas (Tabel 2) kemudian diolah menggunakan software analisis untuk menentukan *material properties*nya. Parameter-parameter ini memberikan gambaran lebih representatif mengenai kekuatan dan perilaku deformasi massa batuan dalam kondisi aktual di lapangan. Hasil pengolahan data dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengolahan Data *Material Properties*

No	Jenis Batuan	Kohesi (MPa)	Sudut Geser Dalam ($^{\circ}$)
1	<i>Sandstone</i>	0.19	27.25
2	<i>Claystone</i>	0.10	17.00
3	<i>Sandstone</i>	0.19	27.25
4	<i>Claystone</i>	0.10	17.23
5	<i>Sandstone</i>	0.22	29.15
6	<i>Claystone</i>	0.10	17.47

Data *material properties* yang telah diperoleh dan disajikan pada Tabel 3 kemudian diolah lebih lanjut menggunakan untuk guna mengetahui nilai rata-rata, maksimum, dan minimum dari masing-masing parameter. Pengolahan ini bertujuan untuk memperoleh gambaran umum mengenai sebaran data serta menentukan rentang nilai yang representatif terhadap kondisi massa batuan di lapangan. Hasil dari analisis statistik ini selanjutnya dijadikan dasar dalam proses analisis balik, yang digunakan untuk mengevaluasi kembali parameter-parameter yang paling berpengaruh terhadap kestabilan lereng. Adapun hasil statistik dari *material properties* tersebut ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Statistik *Material Properties*

Jenis Batuan	Parameter	Mean	Max	Min
<i>Sandstone</i>	Kohesi (MPa)	0.20	0.22	0.19
	Sudut Geser Dalam ($^{\circ}$)	27.88	29.15	27.25
<i>Claystone</i>	Kohesi (MPa)	0.10	0.10	0.10
	Sudut Geser Dalam ($^{\circ}$)	17.23	17.47	17.00

Data pada Tabel 4, kemudian dilakukan analisis balik untuk mengetahui pengaruh yang diberikan *material properties* terhadap lereng yang dianalisa. Parameter yang dimaksud adalah kohesi dan sudut geser dalam. Luaran dari proses analisis balik adalah *material properties* yang menghasilkan *strength reduction factor* ≤ 1 atau menggambarkan lereng pada kondisi longsor atau tidak aman. Berdasarkan dari hasil analisa hingga mencapai *strength reduction factor* ≤ 1 diperoleh *material properties* baru dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. *Material Properties* Hasil Analisis Balik

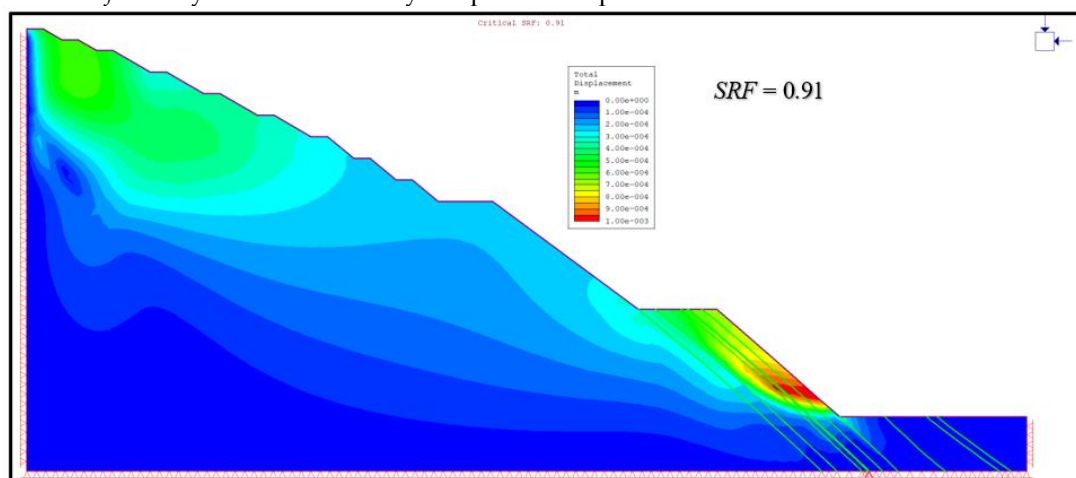
<i>Material Properties</i>	Jenis Batuan	Nilai
Kohesi (MPa)	<i>Sandstone</i>	0.057
	<i>Claystone</i>	0.030
Sudut Geser Dalam ($^{\circ}$)	<i>Sandstone</i>	24.53
	<i>Claystone</i>	15.30

Pada Tabel 5 didapatkan *material properties* hasil sesudah longsor, *material properties* ini perlu dibandingkan dengan *material properties* sebelum longsor. Perbandingan ini bertujuan untuk mengidentifikasi besarnya penurunan kekuatan geser akibat terjadinya longsor. Kondisi ini menjelaskan bahwa material hanya memiliki kekuatan sisa setelah mengalami longsor. Perbandingan keduanya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan *Material Properties*

<i>Material Properties</i>	Jenis Batuan	Kondisi	Nilai	Penurunan
Koheesi (MPa)	Sandstone	Sebelum	0.072	20.83%
		Sesudah	0.057	
	Claystone	Sebelum	0.050	40.00%
		Sesudah	0.030	
Sudut Geser Dalam (°)	Sandstone	Sebelum	31.08	21.07%
		Sesudah	24.53	
	Claystone	Sebelum	36.48	58.06%
		Sesudah	15.30	

Berdasarkan Tabel 6, nilai dari masing masing parameter menghasilkan *strength reduction factor* ≤ 1 yang dimana dapat dikatakan kondisi kritis atau longsor. Hal ini dapat dibuktikan dengan memasukkan ke dalam *software* analisis berbasis FEM guna ingin melihat nilai *strength reduction factor* nya. Hasil analisa nya dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Hasil Analisa Analisis Balik *Material Properties*

Pada Gambar 3 didapat nilai *strength reduction factor* pada lereng sebesar 0.91. Penurunan nilai *strength reduction factor* tersebut sebesar -46.5%, hal ini menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi tidak aman atau berpotensi mengalami kegagalan, karena sudah berada di bawah ambang batas kestabilan (SRF = 1.0).

3. Pengaruh Air

Air merupakan salah satu faktor yang sangat memengaruhi kestabilan lereng, karena dapat secara langsung menurunkan kekuatan geser material penyusun lereng. Dalam penelitian ini, pengaruh air dianalisis secara khusus karena keberadaannya, baik dalam bentuk air tanah maupun hasil infiltrasi dari curah hujan, dapat menyebabkan peningkatan tekanan air pori yang berdampak pada penurunan nilai *Strength reduction factor* (SRF). Menurut Kornelis Bria (2015), kondisi jenuh akibat air dapat menurunkan nilai *strength reduction factor* secara signifikan, sehingga meningkatkan potensi ketidakstabilan lereng. Pada lereng yang dianalisis balik, terdapat perbedaan antara kondisi model awal dan kondisi sebenarnya di lapangan. Pada model awal, air dimodelkan berada pada kedalaman 5 meter di bawah permukaan, sehingga pengaruhnya terhadap kestabilan dianggap kecil. Namun, berdasarkan hasil observasi di lapangan, terutama pada bulan Januari - April saat musim hujan, terlihat bahwa air permukaan justru lebih dominan memengaruhi kestabilan lereng. Air hujan yang turun cukup sering meningkatkan potensi meresapnya air ke batuan di lereng. Kondisi ini meningkatkan tekanan air di dalam lereng, terutama di bagian atas, yang bisa menyebabkan penurunan kekuatan geser material. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kondisi air di lapangan lebih berisiko terhadap kestabilan lereng dibandingkan asumsi awal dalam model.

Adapun pemodelan secara aktual di lapangan. Hasil pemodelan pengaruh air terhadap lereng dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Penurunan SRF Pengaruh Air

Kondisi	Nilai	Penurunan
Model awal	1.01	49.50%
Model analisis balik	0.51	

Berdasarkan Tabel 7, dihasilkan nilai *strength reduction factor* sebesar 0.51, sedangkan pada model awal nilai *strength reduction factor* nya adalah 1.01. Perbedaan ini menunjukkan bahwa adanya air permukaan akibat musim hujan memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap kestabilan lereng. Penurunan nilai *strength reduction factor* sebesar hampir 50% mengindikasikan bahwa lereng menjadi jauh lebih tidak stabil dibandingkan dengan kondisi awal yang diasumsikan relatif kering. Nilai *strength reduction factor* sebesar 0.51 berada jauh di bawah batas aman (≥ 1.3), yang berarti lereng berada dalam kondisi tidak aman.

4. Kegempaan

Pengaruh gempa terhadap analisis balik perlu dianalisis karena getaran seismik dapat meningkatkan gaya pendorong dan menurunkan gaya penahan, sehingga memperbesar risiko longsor. Dalam penelitian ini, pengaruh gempa dianalisa untuk mengetahui perubahan nilai *strength reduction factor* nya. Nilai PGA yang digunakan adalah 0.2 *gravity* (0.2 kali percepatan gravitasi) sesuai dengan lokasi studi di peta kegempaan menurut Kementerian PUPR, 2017 dan disandingkan dengan situs batuananya dimana situs batuananya lunak memiliki nilai 1. Dimana untuk mencari K_h dibutuhkan koefisien 0.5 maka nilai K_h nya adalah 0.1. Hasil analisa dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Penurunan SRF Kegempaan

Kondisi	Nilai	Penurunan
Model Awal	1.52	10.53%
Model Analisis Balik	1.36	

Hasil analisa pada Tabel 8 menunjukkan bahwa perbedaan antara model awal dan model dengan pengaruh beban gempa tidak terlalu signifikan. Model awal memiliki nilai *strength reduction factor* sebesar 1.52, sedangkan model yang dianalisis dengan mempertimbangkan beban gempa menghasilkan nilai *strength reduction factor* sebesar 1.36, atau terjadi penurunan sebesar 10.53%. Meskipun nilai *strength reduction factor* mengalami penurunan, kondisi lereng masih berada dalam kategori aman karena nilai *strength reduction factor* masih di atas batas minimum stabilitas ($SRF \geq 1.3$).

5. Beban Alat

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh beban alat berat terhadap kegagalan lereng, dilakukan analisis pada kondisi lereng aktual dengan mempertimbangkan gaya yang ditimbulkan oleh alat mekanis. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah beban dari alat berat, seperti dump truck, dapat menyebabkan lereng lowwall berada dalam kondisi tidak stabil atau berpotensi longsor. Alat berat yang melalui lowwall adalah *dump truck hauling* batubara menuju pelabuhan, alat berat yang dipilih merupakan *dump truck hauling* terbesar yaitu TRINTIN LAS. Beban dihitung berdasarkan hasil tekanan gravitasi yang dihasilkan oleh alat berat tersebut, dengan total sebesar 0.74 kN/m². Hasil perbandingan analisa pemodelan lereng dengan input parameter beban alat berat ditampilkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Penurunan SRF Alat Berat

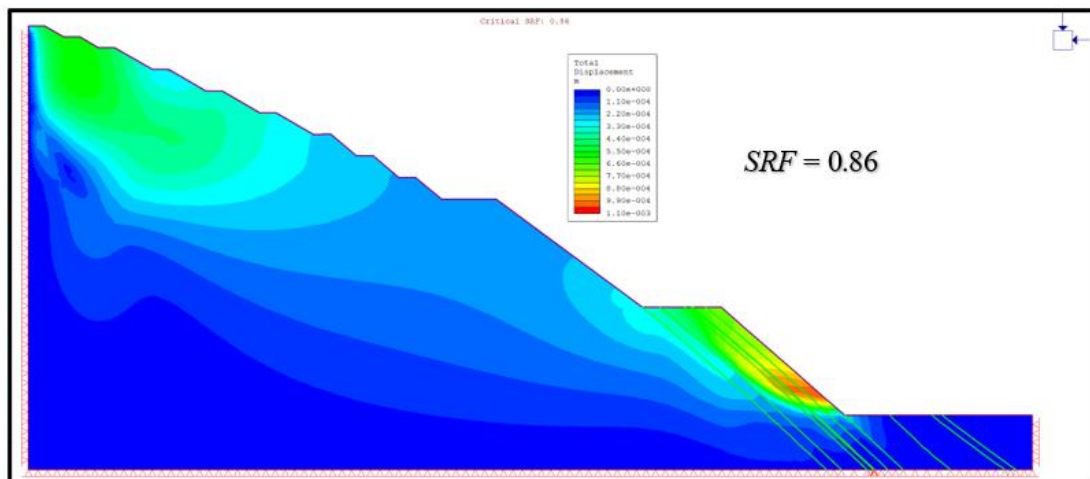
Kondisi	Nilai	Penurunan
Model Awal	1.72	16.3%
Model Analisis Balik	1.44	

Berdasarkan Tabel 9 didapatkan hasil analisa dari beban alat bahwa penurunan nilai *strength reduction factor* dari 1.72 pada desain sebelumnya menjadi 1.44 pada model analisis balik menunjukkan adanya pengaruh beban alat berat terhadap kestabilan lereng. Penurunan ini sebesar 0.28 atau sekitar 16.3%, yang mengindikasikan bahwa beban alat berat memberikan tekanan tambahan yang cukup signifikan terhadap lereng. Tabel perbandingan pengaruh tiap parameter terhadap nilai *strength reduction factor* sebelum longsor dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan Parameter

Parameter	SRF	Persentase
<i>Material Properties</i>	0.91	46.5%
Pengaruh Air	0.51	49.5%
Kegempaan	1.36	10.53%
Beban Alat	1.44	16.3%

Dari hasil Tabel 10, diperoleh bahwa nilai yang paling besar menyebabkan kelongsoran adalah faktor *material properties* dan pengaruh air. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik fisik dan mekanik tanah atau batuan yang membentuk lereng, seperti kohesi, sudut geser dalam, memiliki peran dominan terhadap kestabilan lereng. Material dengan kekuatan geser rendah cenderung tidak mampu menahan beban tambahan, terutama saat kondisi jenuh akibat infiltrasi air hujan. Maka diperlukan analisis menggunakan software untuk melihat kombinasi dari kedua parameter ini. Hasil analisa kombinasi keduanya terdapat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kombinasi Parameter Hasil Analisis Balik

Berdasarkan hasil analisa pada Gambar 4, apabila kedua faktor dikombinasikan maka memperoleh nilai *strength reduction factor* 0.86. Nilai 0.86 memvalidasi bahwa lereng tersebut adalah gagal.

Total Displacement Model dengan Pergerakan Lereng Aktual

Dalam melakukan analisis balik, penting untuk memastikan bahwa hasil model yang dibangun mampu merepresentasikan kondisi aktual di lapangan. Salah satu parameter yang dapat digunakan untuk menilai model adalah nilai *total displacement* yang dihasilkan dari simulasi dibandingkan dengan hasil pengukuran langsung di lapangan. Dalam konteks ini, analisis kesesuaian antara nilai *total displacement* dan data pergerakan aktual menjadi sangat krusial, terutama sebagai bagian dari pendekatan analisis balik. Dengan membandingkan kedua

data tersebut, dapat diketahui seberapa baik model mencerminkan kenyataan serta apakah perlu dilakukan penyesuaian parameter agar hasil simulasi lebih akurat dan dapat diandalkan untuk pengambilan keputusan selanjutnya. Perbandingan antara data pergerakan aktual dengan displacement dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Perbandingan *Displacement* dengan Pergerakan Lereng Aktual

Kondisi	Nilai
Model	0.7 cm
Monitoring	2.4 cm

Berdasarkan hasil analisa pada Tabel 11, diperoleh nilai *total displacement* maksimum sebesar 0.7 cm. Sementara itu, dari data monitoring di lapangan, tercatat bahwa pergerakan maksimum lereng mencapai 2.4 cm. Meskipun terdapat perbedaan antara hasil model dan pengamatan di lapangan, selisih ini masih berada dalam batas yang wajar dan secara umum masih dapat mencerminkan kondisi lereng yang sebenarnya. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, seperti penyederhanaan kondisi tanah dalam pemodelan, perbedaan asumsi parameter, serta pengaruh air tanah dan cuaca yang tidak semuanya dimasukkan ke dalam simulasi. Selain itu, data monitoring biasanya mencatat pergerakan selama periode waktu tertentu, sedangkan model hanya menunjukkan hasil pada kondisi tertentu. Meski begitu, arah dan pola pergerakan yang dihasilkan oleh model menunjukkan kecocokan dengan hasil pengamatan di lapangan. Hal ini menunjukkan bahwa model sudah cukup mewakili perilaku umum lereng, dan dapat digunakan sebagai dasar untuk analisis lebih lanjut. Penyesuaian tambahan melalui analisis balik tetap disarankan agar hasil model menjadi lebih akurat dan mendekati kondisi aktual.

KESIMPULAN

Adapun yang menjadi kesimpulan dalam penelitian ini adalah Parameter penyebab dari kelongsoran lereng adalah *material properties* dan pengaruh air, hal ini dapat dibuktikan dengan *strength reduction factor* dari masing masing parameter ini adalah 0.91 dan 0.51 dimana *strength reduction factor* ini masuk dalam kriteria kritis atau longsor dan apabila dianalisa dengan menggabungkan keduanya mendapat *strength reduction factor* 0.86

Kesesuaian antara displacement dan pergerakan maksimum lereng diperoleh nilai 0.7 meter dan 2.4 meter. Hasil ini tidak terlalu jauh sehingga masih bisa merepresentatif kan keadaan lapangan sebenarnya

PERNYATAAN PENULIS

Penulis menyatakan bahwa penelitian yang disajikan dalam laporan ini merupakan karya orisinal yang disusun berdasarkan proses penelitian yang dilakukan secara mandiri dan berlandaskan kaidah serta etika akademik yang berlaku. Penulis juga menegaskan bahwa seluruh bagian dari karya ini telah disetujui sepenuhnya oleh penulis sendiri dan tidak terdapat konflik kepentingan dengan pihak mana pun, baik individu maupun institusi terkait. Dengan demikian, penulis bertanggung jawab sepenuhnya atas keaslian isi laporan ini dan menyatakan bahwa karya ini layak untuk diajukan sebagai bagian dari pemenuhan persyaratan akademik.

KONTRIBUSI PENULIS

Penulis bertanggung jawab penuh atas perancangan studi, termasuk penyusunan tujuan penelitian, penentuan metodologi, serta pemilihan pendekatan analisis yang digunakan. Penulis juga secara langsung melakukan pengumpulan data di lapangan, pengolahan hingga analisis dan pembahasan. Proses pengolahan dan analisis data dilakukan sepenuhnya oleh penulis, mencakup perhitungan secara empirik dan analisis dengan bantuan perangkat lunak. Selain itu, penulis menyusun keseluruhan naskah penelitian, mulai dari penulisan draft awal, pengembangan argumentasi ilmiah, penyusunan grafik dan tabel pendukung, hingga perumusan kesimpulan dan saran penelitian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh PT Banyan Koalindo Lestari. Data primer dan sekunder serta bantuan moril yang telah diberikan membantu peneliti dalam menyelesaikan penelitian ini. Penelitian ini tentu saja mendapat bantuan dan bimbingan dari civitas akademik Program Studi Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Sumatera.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, I. (2016). Geoteknik Tambang (pp. 1–399).
- Arirupa, G. (2021). Analisis Kestabilan Lereng dengan Pemodelan Numerik Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 1–42.
- Arsyad, M., Nugroho, Utomo, S., Kartini, Studi, P., Pertambangan, T., Banjarmasin, N., Hasnur, P. T., & Sinergi, R. (2023). Pemantauan Pergerakan Lereng Dan Penentuan Nilai Faktor Keamanan Pada Tambang Batubara Terbuka (Studi Kasus: Pt Hasnur Riung Sinergi Jobsite Antang Gunung Meratus) <https://www.prosiding.perhapi.or.id/index.php/prosiding/article/view/351>
- DAS, B. M. (2019). Principles of Geotechnical Engineering. Sustainability (Switzerland), 11(1), 1–14.
- Hariyadi, S., Teknik, F., Pertambangan, J. T., & Kartanegara, U. K. (2020). Kajian teknis tahapan penambangan batubara pada PT. Mega global energy kabupaten kutai kartanegara kalimantan timur. *JGP (Jurnal Geologi Pertambangan)*.
- Karyadi, R. (2024). Pemodelan persebaran lapisan batubara dan lingkungan pengendapan menggunakan well log di pit middle west PT. Bhumi sriwijaya perdana coal, musi banyuasin sumatera selatan. 45–59.
- Kolapo, P., Oniyide, G. O., Said, K. O., Lawal, A. I., Onifade, M., & Munemo, P. (2022). An Overview of Slope Failure in Mining Operations. *Mining*, 2(2), 350–384. <https://doi.org/10.3390/mining2020019>
- PEBRISA, G., Teknik Kebumian, J., Sains, F., & Teknologi, D. (2024). Geologi dan Analisis Kestabilan Lereng Low Wall pada Tambang Terbuka di PT Ulima Nitra Tbk Site Kasih Karya Agung Kec. Merapi Barat Kab. Lahat Provinsi Sumatra Selatan Skripsi Giskia Pebrisa Nim. F1d219031 Program Studi Teknik Geologi.
- Pratiwi, D., Yakin, Y. A., & Mahaputra, A. (2022). Analisis Stabilitas Lereng Batuan dengan Pendekatan Kriteria Keruntuhan Hoek Brown dan Mohr Coulomb Menggunakan Metode Numerik Plaxis 2D. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 4(2), 74–81. <https://doi.org/10.26740/proteksi.v4n2.p74-81>
- Riswandi, H., & Fitri, A. (2024). Geologi dan Pengaruh Struktur Kekar Terhadap Kestabilan Lereng Desain Pit Pada Tambang Terbuka Batubara Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muaraenim, Sumatra Selatan. *Jurnal Ilmiah Geologi PANGEA*, 11(2), 1.
- Shobari, A. F., Mufti, I. J., Khoirullah, N., Zakaria, Z., Sophian, R. I., & Mulyo, A. (2019). Hubungan Nilai Koefisien Gempa Horizontal (Kh) Dengan Nilai Safety Factor (FS) Daerah Cilengkrang, Jawa Barat. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 3(4), 243–253.
- Silva, A. F., Sotomayor, J. M. G., & Torres, V. F. N. (2021). Correlations of geotechnical monitoring data in open pit slope back-analysis-A mine case study. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 121. <https://doi.org/10.17159/2411>
- Vickyla, M., Sophian, I., & Muslim, D. (2019). Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan Lereng Tambang X.
- Wang, J. P., & Xu, Y. (2015). A non-stationary earthquake probability assessment with the Mohr-Coulomb failure criterion. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(10), 2401–2412. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-2401-2015>
- Zhu, C., He, M., Karakus, M., Cui, X., & Tao, Z. (2024). Correction: Investigating Toppling Failure Mechanism of Anti-dip Layered Slope due to Excavation by Physical Modelling. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 57(12), 11437–11437. <https://doi.org/10.1007/s00603-024-03983-7>