

Analisis Kestabilan Lereng Tambang Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas di Blok Deuter Timur PT Fajar Sakti Prima Kalimantan Timur

Sahrul Poalahi Salu^{1}, Muh. Suparlan T.¹, Abdul Salam Munir²*

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Sembilanbelas November Kolaka, Indonesia

²Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri,
Universitas Muslim Indonesia

*Email: 17sahrulpoalahi@gmail.com

SARI

Peningkatkan efisiensi dan efektivitas penambangan secara maksimal serta terjaminnya keselamatan dan kesehatan kerja pada lereng penambangan dapat tercapai dengan memastikan kestabilan lereng penambangan. Penelitian ini dilakukan di Blok Deuter Timur PT Fajar Sakti Prima dengan tujuan untuk mendapatkan geometri lereng tunggal, *high wall* dan *low wall* yang menghasilkan produktivitas optimal dengan nilai faktor keamanan lereng di atas 1,3. Analisis kestabilan lereng pada penelitian ini menggunakan metode kesetimbangan batas Bishop dan Janbu dengan bantuan perangkat lunak *Slide2* dan perhitungan manual. Data karakteristik fisik dan mekanik batuan didapatkan dari pengujian laboratorium mekanika batuan dengan sampel diperoleh dari pengeboran geoteknik batuan di lapangan. Hasil penelitian dengan melakukan simulasi geometri lereng didapatkan lereng tunggal optimal, yaitu tinggi 5 meter dan sudut 70°. Pada simulasi geometri lereng tunggal *high wall* diperoleh nilai faktor keamanan yang tidak memenuhi standar keamanan di atas 1,3 sehingga modifikasi geometri lereng dilakukan dengan membuat *intermediate berm* serta membagi beban lereng menjadi empat bagian dengan lebar *intermediate berm* 30 meter. Modifikasi geometri lereng yang dilakukan berhasil meningkatkan nilai faktor keamanan lereng, sehingga kondisi kestabilan lereng *low wall* menjadi aman. Metode kesetimbangan batas melalui pemodelan dan perhitungan manual yang digunakan dalam penelitian ini mampu memberikan rekomendasi geometri lereng *high Wall* dan *low Wall* di Blok Deuter Timur PT Fajar Sakti Prima yang optimal dari sisi keamanan lereng dan produktivitas perolehan tambang.

Kata kunci: Geometri lereng; kesetimbangan batas; faktor keamanan; *high wall*; *low wall*.

How to Cite: Salu, S.P., T, M.S., Munir, A. S., 2023. Analisis Kestabilan Lereng Tambang Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas di Blok Deuter Timur PT Fajar Sakti Prima Kalimantan Timur. Jurnal Geomine, 11 (3): 263 - 276.

Published By:
Fakultas Teknologi Industri
Universitas MuslimIndonesia

Address:
Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:
geomine@umi.ac.id

Article History:

Submit 29 Juli 2023

Received in from 25 November 2023

Accepted 31 Desember 2023

Available online

Licensed By:

Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.





ABSTRACT

Increasing mining efficiency and effectiveness to the maximum as well as ensuring occupational safety and health on mining slopes can be achieved by ensuring the stability of mining slopes. This research was carried out in the East Deuter Block of PT Fajar Sakti Prima with the aim of obtaining a single slope geometry, high wall and low wall which produces optimal productivity with a slope safety factor value above 1.3. Slope stability analysis in this research used the Bishop and Janbu limit equilibrium method with the help of Slide2 software and manual calculations. Data on the physical and mechanical characteristics of rocks were obtained from rock mechanics laboratory tests with samples obtained from geotechnical rock drilling in the field. The results of the study by simulating the slope geometry obtained an optimal single slope, namely a height of 5 meters and an angle of 70 °. In the simulation of the geometry of a single high wall slope, the safety factor value was obtained which did not meet safety standards above 1.3, so the modification of the slope geometry was carried out by making an intermediate berm and dividing the slope load into four parts with an intermediate berm width of 30 meters. The slope geometry modification carried out succeeded in increasing the slope safety factor value, so that the low wall slope stability condition became safe. The limit equilibrium method through modeling and manual calculations used in this research is able to provide recommendations for high wall and low wall slope geometry in the East Deuter Block of PT Fajar Sakti Prima that are optimal in terms of slope safety and mining productivity.

Keywords: *Slope geometry; limit equilibrium method; safety factor; high wall; low wall.*

PENDAHULUAN

Aktivitas penggalian dan penimbunan pada pertambangan mineral dan Batubara dipermukaan akan selalu menimbulkan permasalahan kestabilan lereng (Arif, 2016). Lereng tersebut di antaranya adalah lereng tambang aktif, lereng timbunan (*stockpile*), lereng timbunan tanah penutup, dan lereng infrastruktur sipil lainnya. Berdasarkan material penyusunnya, lereng terbagi atas dua jenis, yaitu lereng batuan dan lereng tanah, walaupun pada kenyataan di lapangan juga dapat ditemukan lereng yang terdiri dari gabungan antara batuan dan tanah (Arif, 2016). Lereng yang aman dan stabil akan menjamin kelancaran operasi penambangan, walau secara teoritis lereng penambangan akan aman jika dibuat selandai mungkin, namun lereng yang landai akan menyebabkan volume pengupasan lapisan penutup yang sangat besar sehingga secara ekonomis tidak menguntungkan (Putrilia dkk., 2022).

Keselamatan pekerja dapat terancam apabila kondisi lereng tidak stabil, selain itu ketidakstabilan lereng dapat merusak peralatan tambang, mengurangi produksi tambang, dan memberikan dampak buruk terhadap lingkungan (Munir, 2018). Kelancaran produksi penambangan dapat terganggu jika ketidakmampuan lereng terjadi sehingga penting dilakukan pencegahan untuk mengurangi potensi terjadinya bencana yang fatal (Sudinda, 2020). Risiko yang dapat terjadi akibat dari kelongsoran lereng ataupun runtuhannya batuan pada lereng dapat dikontrol dengan melakukan simulasi awal hingga mengeluarkan faktor keamanan lereng yang



aman diterapkan sehingga risiko pada keselamatan kerja dan peralatan tambang dapat dikurangi (Sahrul dan Vita, 2019).

Selain pemodelan lereng, pemantauan terhadap lereng yang telah dibuat di lapangan menjadi hal yang sangat penting juga di lakukan. Pemantauan atau monitoring terhadap lereng yang dibuat akan mencegah terjadinya overcutting dan geometri yang tidak sesuai serta dapat memprediksi terjadinya longsor pada lereng (Putrilia dkk., 2022). Selain itu, keberadaan air yang ada di sekitar lereng tambang juga harus dikontrol dengan baik. Sistem penyaliran tambang batubara bukan hanya menjaga lingkungan dari potensi terjadinya air asam tambang tetapi juga sangat membantu dalam menjaga kestabilan lereng tambang (Haeruddin dkk., 2019). Keberadaan jalan tambang yang di sisinya terdapat lereng merupakan jalan akses yang sangat penting diperhatikan pula kestabilannya agar tidak menutupi akses produksi. Jalan tambang menjadi sarana yang sangat berperan dalam kegiatan penambangan untuk menghubungkan beberapa lokasi di sekitar wilayah penambangan (Anwar dkk., 2020). Lereng di penambangan bukan hanya pada pit tempat pengambilan batubara tetapi juga terdapat pada disposal yang merupakan tempat pembuangan material yang tidak bernilai ekonomis. Perhatian terhadap lereng di disposal juga sangat penting dilakukan untuk menjamin kelancaran aktivitas penambangan (Wahyuni dkk., 2021).

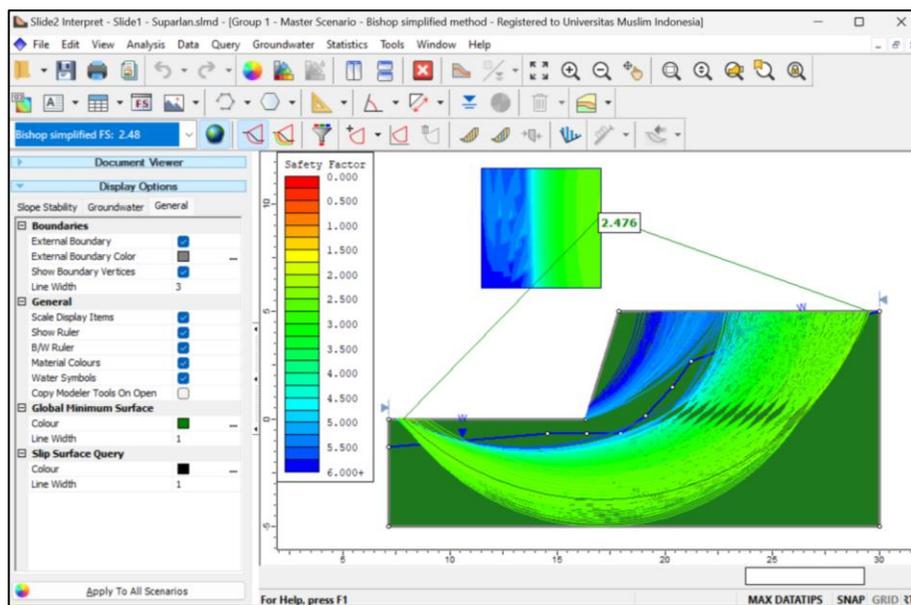
Massa Batuan memiliki karakteristik tersendiri yang menjadi faktor internal lereng dalam mempertahankan kestabilannya sehingga pemahaman mengenai hak tersebut penting dilakukan sebelum merancang lereng penambangan dimana karakteristik tersebut dapat diketahui dengan penyelidikan geoteknik dan pengujian material di laboratorium (Indira dkk., 2022) (Rai dkk., 2014). Dalam analisis kestabilan lereng dan desain lereng penambangan sangat diperlukan suatu kajian bidang rekayasa geoteknik untuk mengetahui perilaku massa dasar batuan sehingga dapat diperoleh analisis yang tepat, akurat dan realistis.

Gaya yang bekerja pada lereng, seperti gaya penggerak dan gaya penahan, sangat mempengaruhi kestabilan lereng dalam mengeluarkan nilai faktor keamanan (FK). Faktor keamanan merupakan perbandingan dari kedua gaya tersebut yang diukur secara deterministik (Firmansyah dkk., 2020). Nilai faktor keamanan dapat diperoleh dengan berbagai metode tertentu, misalnya pada metode kesetimbangan batas memiliki turunan metode seperti Janbu, Bishop, Fellenius, dan lainnya. Metode Bishop banyak digunakan dalam analisis kestabilan lereng yang menggunakan gaya geser setiap irisan dalam perhitungan dengan bidang gelincir lingkaran (Anderson dkk., 1987). Metode Bishop dihitung dengan beberapa iterasi atau perhitungan berulang hingga mendapatkan nilai faktor keamanan (Munir dkk., 2021). Selain

metode Bishop, metode Janbu juga banyak digunakan dalam perhitungan faktor keamanan, baik secara manual maupun bantuan perangkat lunak.

Selain nilai faktor keamanan, persentase probabilitas keruntuhan atau kelongsoran juga disandingkan dalam menilai kestabilan suatu lereng. Lereng yang memiliki nilai faktor keamanan tinggi tidak selalu memiliki potensi ketidakstabilan, lereng tersebut bisa saja berpotensi runtuh yang tinggi dibandingkan dengan lereng dengan faktor keamanan rendah. Sehingga penggunaan persentase ini sangat penting juga dilakukan dalam menilai keamanan suatu lereng (Karim dkk., 2021). Faktor keamanan sebagai model deterministik memiliki tingkat ketelitian yang tidak tinggi sehingga metode probabilitas kelongsoran dapat membantu dalam meningkatkan ketelitiannya (Cahyono, 2022).

Perhitungan nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor dapat dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Slide2* dari Rocscience sehingga waktu perhitungan lebih cepat dibandingkan dengan perhitungan secara manual. Perangkat lunak *Slide2* menggunakan metode analisis kesetimbangan batas (*limit equilibrium*) dua dimensi dalam mengevaluasi kestabilan lereng. Perangkat lunak ini mudah digunakan, baik pada model yang sederhana maupun model yang rumit (Rocscience, 2024). Gambar 1 menunjukkan simulasi analisis kestabilan lereng menggunakan *Slide2*.



Gambar 1. Analisis Lereng Menggunakan *Slide2*

Penelitian ini dilaksanakan di Blok Deuter Timur PT Fajar Sakti Prima yang terletak di Provinsi Kalimantan Timur. Perusahaan ini bergerak di bidang penambangan batubara dengan

kondisi perlapisan atau stratigrafi lereng penambangannya terdiri atas material-material tanah endapan (*sedimentary soil*) hasil pelapukan fisika dan kimia pada batuan jutaan tahun lalu yang mencakup batulempung, batulanau, batupasir, dan batubara. Batubara tersebut terbentuk melalui proses pembatubaraan jutaan tahun yang tersedimentasi dan terendapkan di lingkungan pengendapan tertentu hingga menjadi batubara, baik dari gambut hingga batubara jenis lignit maupun antrasit. Material batubara tersebut sangat lunak atau terkadang bersifat rapuh atau pecah (*brittle*), terlebih jika dijadikan sebagai lapisan dasar lereng penambangan dan mendapat gaya tekan dari luar maka akan berpengaruh terhadap nilai faktor keamanan dari lereng. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan kondisi lereng yang aman di lokasi penambangan PT Fajar Sakti Prima.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan cara observasi atau pengamatan langsung terhadap objek penelitian di lokasi penambangan PT Fajar Sakti Prima, khususnya proses pengambilan sampel material untuk pengujian di laboratorium mekanika batuan. Pengujian laboratorium yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengujian sifat fisik, uji kuat geser, dan uji kuat tekan yang akan menghasilkan data karakteristik atau sifat fisik dan sifat mekanik batuan untuk analisis kestabilan lereng.

2. Metode Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh pada tahap pengambilan data selanjutnya diolah dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Slide2 dari Rocscience dan perhitungan manual menggunakan persamaan dalam menghitung faktor keamanan. Metode yang digunakan dalam pengolahan data yakni metode kesetimbangan batas secara manual (persamaan teori) dan permodelan numerik metode Janbu dan Bishop yang terdapat dalam program pemodelan Slide2. Kedua metode ini digunakan dalam menganalisis keamanan lereng tambang yang terdiri dari lereng tunggal, *high wall*, dan *low wall* serta lereng keseluruhan (*overall slope*). Karakteristik batuan daerah penelitian yang dijadikan sebagai input permodelan diperoleh dari pengujian laboratorium mekanika batuan pada sampel batuan hasil pengeboran batuan di Blok Deuter Timur.

3. Analisis Data

Adapun analisis data menggunakan analisis faktor keamanan lereng dengan metode kesetimbangan batas metode Bishop dan metode Janbu yang terdapat dalam perangkat lunak *Slide2* yang disimulasikan dengan menggunakan geometri tertentu hingga mendapatkan nilai faktor keamanan yang aman lebih dari 1,2 untuk lereng tunggal dan lebih dari 1,3 untuk

lereng keseluruhan. Hasil geometri lereng yang memenuhi kriteria keamanan selanjutnya akan dijadikan sebagai rekomendasi geometri lereng yang paling optimal untuk diterapkan pada pit penambangan. Selain menggunakan faktor keamanan, analisis kestabilan lereng juga dilakukan dengan menganalisis probabilitas keruntuhan lereng sehingga dapat diketahui persentase potensi terjadinya keruntuhan pada lereng tersebut.

HASIL DAN DISKUSI

Hasil analisis yang dilakukan menggunakan metode Bishop dalam perangkat lunak *Slide2* berdasarkan nilai faktor keamanan (FK) untuk lereng tunggal yang diperoleh nilai geometri lereng optimal adalah tinggi lereng 5 meter dan sudut lereng tunggal 70°. Nilai faktor keamanan (FK) pada lereng tunggal menggunakan perangkat lunak *Slide2* dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Faktor Keamanan Lereng Tunggal dengan Metode Bishop

No.	Jenis Litologi	Nilai Faktor Keamanan					
		Tinggi 5 Meter			Tinggi 10 Meter		
		60°	65°	70°	60°	65°	70°
	Hole	: FSP-DD-04GT					
	Blok	: Deuter Timur					
	Kondisi Air Tanah	: Setengah Jenuh					
	Jenis Lereng	: Tunggal					
1	Soil	2,631	2,479	2,347	1,886	1,769	1,680
2	Coal	1,843	1,761	1,625	1,242	1,152	1,093
3	Claystone 1	1,848	1,768	1,701	1,045	0,922	0,995
4	Sandstone 1	3,503	3,329	3,196	2,206	2,115	1,982
5	Siltstone 1	3,500	3,333	3,218	2,095	2,002	1,914
6	Claystone 2	2,796	2,665	2,575	1,673	1,598	1,528
7	Sandstone 2	4,342	4,150	4,006	2,528	2,396	2,306
8	Sandstone 3	4,649	4,438	4,264	2,647	2,506	2,408
9	Claystone 3	2,590	2,470	2,375	1,488	1,411	1,354
10	Claystone 4	2,786	2,656	2,568	1,698	1,625	1,555
11	Sandstone 4	4,981	4,737	4,564	2,945	2,810	2,683
12	Siltstone 4	4,083	3,910	3,765	2,320	2,202	2,124

Keterangan :

 Bahaya
 Aman

 Kritis
 Rekomendasi

Untuk mendapatkan gambaran kondisi kestabilan lereng tunggal yang direkomendasikan dilakukan analisis probabilitas keruntuhan (*probability of failure*) yang mengindikasikan persentase kemungkinan kelongsoran akan terjadi atau tidak terhadap suatu lereng. Analisis probabilitas keruntuhan lereng dilakukan pada lereng Tunggal yang direkomendasikan sebagai geometri lereng yang paling optimal. Hasil analisis probabilitas keruntuhan menunjukkan angka persentase 0,000% untuk seluruh geometri lereng tunggal. Hasil nilai faktor keamanan (FK) dan probabilitas keruntuhan geometri lereng yang direkomendasikan berdasarkan metode Bishop

dalam program *Slide2* menggambarkan kondisi lereng dalam kategori aman. Nilai FK dan persentase probabilitas keruntuhan (*probability of failure*) dapat dilihat pada Tabel 2.

Hasil analisis yang dilakukan menggunakan metode Janbu dengan bantuan perangkat lunak *Slide2* menunjukkan geometri lereng optimal yang direkomendasikan sama dengan hasil analisis menggunakan metode metode Bishop, yaitu tinggi lereng 5 meter dan sudut lereng tunggal 70°. Nilai faktor keamanan pada lereng tunggal (*single slope*) menggunakan perangkat lunak *Slide2* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Persentase Probabilitas Keruntuhan Metode Bishop

		Nilai Faktor Keamanan	Persentase Probabilitas Keruntuhan
Hole	:	FSP-DD-04GT	
Blok	:	Deuter Timur	
Kondisi Air Tanah	:	Setengah Jenuh	
Jenis Lereng	:	Tunggal	
No.	Jenis Litologi	Tinggi 5 Meter dan Sudut 70°	
1	Soil	2,347	0,000
2	Coal	1,625	0,000
3	Claystone 1	1,701	0,000
4	Sandstone 1	3,196	0,000
5	Siltstone 1	3,218	0,000
6	Claystone 2	2,575	0,000
7	Sandstone 2	4,006	0,000
8	Sandstone 3	4,264	0,000
9	Claystone 3	2,375	0,000
10	Claystone 4	2,568	0,000
11	Sandstone 4	4,564	0,000
12	Siltstone 4	3,765	0,000

Untuk mendapatkan kondisi kestabilan lereng tunggal yang direkomendasikan menggunakan metode Janbu, maka analisis probabilitas keruntuhan (*probability of failure*) dilakukan untuk mengindikasikan persentase kemungkinan kelongsoran akan terjadi atau tidak terhadap suatu lereng. Analisis probabilitas keruntuhan lereng dilakukan pada geometri lereng tunggal yang direkomendasikan sebagai geometri lereng yang paling optimal, Hasil perhitungan probabilitas keruntuhan menunjukkan angka persentase 0,000% untuk seluruh geometri lereng tunggal, Hasil nilai faktor keamanan dan probabilitas keruntuhan geometri lereng yang direkomendasikan menggunakan metode Janbu dalam perangkat lunak *Slide2* menunjukkan kondisi lereng dalam kategori aman. Hasil analisis nilai faktor keamanan dan persentase probabilitas keruntuhan (*probability failure*) menggunakan metode Janbu dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Nilai Faktor keamanan Lereng Tunggal Dengan Metode Janbu

No,	Jenis Litologi	Nilai Faktor Keamanan					
		Tinggi 5 Meter			Tinggi 10 Meter		
		60°	65°	70°	60°	65°	70°
Hole	:	FSP-DD-04GT					
Blok	:	Deuter Timur					
Kondisi Air Tanah	:	Setengah Jenuh					
Jenis Lereng	:	Tunggal					
1	Soil	2,631	2,570	2,448	1,897	1,796	1,736
2	Coal	1,892	1,839	1,736	1,245	1,187	1,131
3	Claystone 1	1,912	1,864	1,813	1,082	1,044	1,013
4	Sandstone 1	3,622	3,494	3,370	2,249	2,194	2,095
5	Siltstone 1	3,623	3,511	3,413	2,167	2,097	2,008
6	Claystone 2	2,892	2,803	2,728	1,729	1,673	1,602
7	Sandstone 2	4,490	4,373	4,255	2,613	2,516	2,434
8	Sandstone 3	4,825	4,685	4,538	2,741	2,640	2,552
9	Claystone 3	2,687	2,607	2,526	1,539	1,485	1,432
10	Claystone 4	2,878	2,791	2,710	1,754	1,696	1,625
11	Sandstone 4	5,167	4,998	4,839	3,050	2,953	2,821
12	Siltstone 4	4,216	4,118	4,011	2,401	2,317	2,252

Keterangan :



Bahaya
Aman



Kritis



Rekomendasi

Tabel 4. Persentase Probabilitas Keruntuhan Metode Janbu

No.	Jenis Litologi	Nilai Faktor Keamanan	Persentase Probabilitas
			Keruntuhan
Hole	:	FSP-DD-04GT	
Blok	:	Deuter Timur	
Kondisi Air Tanah	:	Setengah Jenuh	
Jenis Lereng	:	Tunggal	
No.	Jenis Litologi	Tinggi 5 Meter dan Sudut 70°	
1	Soil	2,448	0,000
2	Coal	1,736	0,000
3	Claystone 1	1,813	0,000
4	Sandstone 1	3,370	0,000
5	Siltstone 1	3,413	0,000
6	Claystone 2	2,728	0,000
7	Sandstone 2	4,255	0,000
8	Sandstone 3	4,538	0,000
9	Claystone 3	2,526	0,000
10	Claystone 4	2,710	0,000
11	Sandstone 4	4,839	0,000
12	Siltstone 4	4,011	0,000

Dari hasil permodelan yang dilakukan pada beberapa geometri lereng, utamanya pada tinggi lereng dan sudut lereng, menggunakan perangkat lunak *Slide2* pada lereng *high wall*, baik menggunakan metode Janbu dan metode Bishop, tidak didapatkan nilai faktor keamanan lereng yang disyaratkan yaitu FK lebih dari 1,3. Oleh karena itu, untuk memenuhi kondisi kestabilan lereng yang dipersyaratkan, direkomendasikan untuk membuat *intermediate berm* pada geometri lereng *high wall*. Lebar jenjang *intermediate berm* minimum 25 meter dan maksimum 50 meter

yang membagi dua lereng *high wall* setinggi 115 m dengan sudut 28°. Hasil modifikasi geometri lereng *high wall* dengan membuat *intermediate berm* berhasil meningkatkan nilai faktor keamanan lereng dimana kondisi kestabilan lereng sebelumnya tanpa *intermediate berm* tidak memenuhi syarat nilai faktor keamanan yang diinginkan. Dari hasil analisis probabilitas keruntuhan lereng pada lereng *high wall* dengan *intermediate berm* juga menunjukkan persen probabilitas keruntuhan yang minimal sebesar 0,000%. Kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwa geometri lereng tersebut direkomendasikan sebagai geometri lereng yang paling optimal pada lereng tunggal *high wall*,

Tabel 5. Nilai Faktor Keamanan Lereng *High Wall* dengan *Intermediete Berm*

Hole	: FSP-DD-04GT		
Blok	: Deuter Timur		
Kondisi Air Tanah	: Setengah Jenuh	Nilai Faktor Keamanan	
Lereng	: <i>Higwall Intermediete Berm</i>		
Tinggi (m)	Sudut (°)	Metode Bishop	Metode Janbu
115	28	1,549	1,363

Tabel 6. Persentase Probabilitas Keruntuhan lereng *High wall* dengan *Intermediete Berm*

Hole	: FSP-DD-04GT		
Blok	: Deuter Timur		
Kondisi Air Tanah	: Setengah Jenuh	Persentase Probabilitas Keruntuhan	
Lereng	: <i>Higwall Intermediete Berm</i>		
Tinggi Highwall (m)	Sudut (°)	Metode Bishop	Metode Janbu
115	28	0,000	0,000

Dari hasil analisis terhadap, persentase kemungkinan keruntuhan (*probability of failure*) dengan metode Bishop dan Janbu terhadap data rekomendasi geometri lereng yang direkomendasikan pada lubang bor FSP-DD-05GT, maka didapatkan persentase kemungkinan keruntuhan (*probability failure*), yaitu sebesar 0,000%, sehingga geometri lereng yang direkomendasikan tersebut dinyatakan aman.

Setelah rekomendasi geometri lereng *intermediete berm* terhadap geometri lereng *high wall* diperoleh, maka berikutnya dilakukan pemodelan geometri lereng *low wall*. Pemodelan geometri lereng *low wall* mengikuti tinggi lereng dari *intermediete berm* pada lereng *high wall* yang direkomendasikan. Pada lereng *low wall*, longsoran yang diasumsikan adalah akan terjadi berbeda pada lereng *intermediete berm* untuk lereng *high wall*, yakni longsoran *non circular* (bukan longsoran busur). Hal ini disebabkan bidang gelincir yang berpotensi untuk longsor searah dengan bidang perlapisan batuan akibat proses pembukaan lapisan batubara.



Tabel 7. Nilai Faktor Keamanan Lereng Tunggal *Low Wall*

Hole	: FSP-DD-04GT		
Blok	: Deuter Timur		
Kondisi Air Tanah	: Setengah Jenuh	Nilai Faktor Keamanan	
Lereng	: Low Wall		
Tinggi Highwall (m)	Sudut (°)	Metode Bishop	Metode Janbu
115	3	8,073	8,043

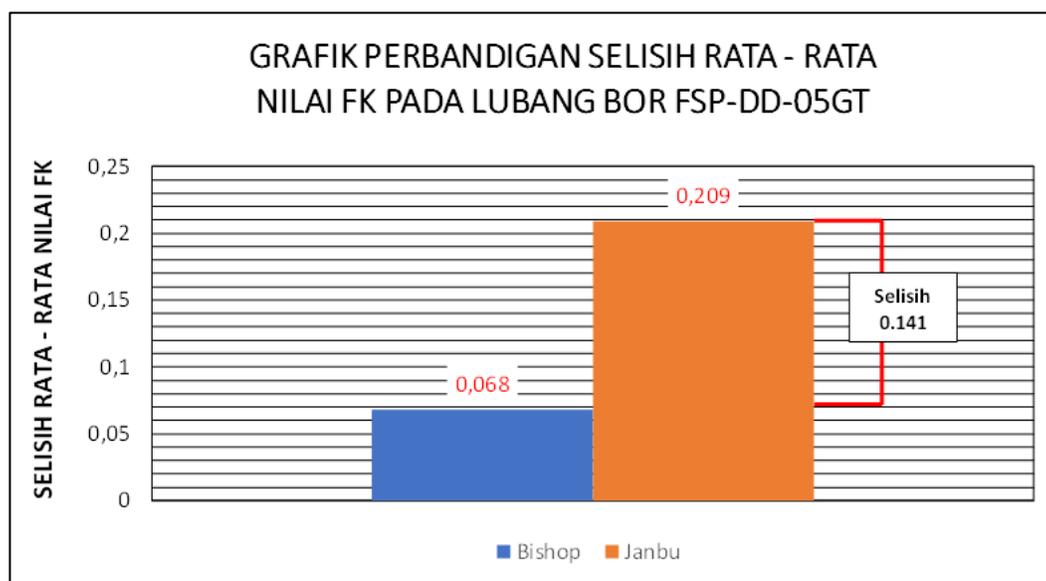
Hasil analisis faktor keamanan dengan menggunakan metode Bishop dan Janbu secara perhitungan manual maupun dengan bantuan perangkat lunak *Slide2* menunjukkan kondisi lereng yang aman dengan faktor keamanan lebih dari 1,2 dengan geometri lereng tunggal 5 meter untuk tinggi lereng dan sudut lereng 70°. Adapun nilai selisih hasil analisis faktor keamanan (FK) dengan menggunakan metode Bishop dan Janbu secara manual maupun dengan menggunakan *Slide2* dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. Nilai Faktor Keamanan Lereng Tunggal Metode Bishop Slide2 dan Perhitungan Manual

Hole	: FSP-DD-05GT			
Blok	: Deuter Timur			
Kondisi Air Tanah	: Setengah Jenuh	Nilai Faktor Keamanan		
Jenis Lereng	: Tunggal			
No,	Jenis Litologi	Tinggi 5 Meter dan Sudut 70°		
		Slide2	Manual	Nilai Selisih
1	Soil	2,347	2,199	0,148
2	Coal	1,625	1,666	0,041
3	Claystone 1	1,701	1,664	0,037
4	Sandstone 1	3,196	3,128	0,068
5	Siltstone 1	3,218	3,154	0,064
6	Claystone 2	2,575	2,503	0,072
7	Sandstone 2	4,006	3,915	0,091
8	Sandstone 3	4,264	4,213	0,051
9	Claystone 3	2,375	2,345	0,030
10	Claystone 4	2,568	2,494	0,074
11	Sandstone 4	4,564	4,511	0,053
12	Siltstone 4	3,765	3,673	0,092
Rata - Rata				0,068

Tabel 9. Nilai Faktor Keamanan Lereng Tunggal Metode Janbu Slide2 dan Perhitungan Manual

Hole	: FSP-DD-05GT			
Blok	: Deuter Timur			
Kondisi Air Tanah	: Setengah Jenuh	Nilai Faktor Keamanan		
Jenis Lereng	: Tunggal			
No,	Jenis Litologi	Tinggi 5 Meter dan Sudut 70°		
		Slide2	Manual	Nilai Selisih
1	Soil	2,448	3,072	0,624
2	Coal	1,736	2,074	0,338
3	Claystone 1	1,813	1,904	0,091
4	Sandstone 1	3,370	3,934	0,564
5	Siltstone 1	3,413	3,582	0,169
6	Claystone 2	2,728	2,834	0,106
7	Sandstone 2	4,255	4,346	0,091
8	Sandstone 3	4,538	4,606	0,068
9	Claystone 3	2,526	2,578	0,052
10	Claystone 4	2,710	2,870	0,160
11	Sandstone 4	4,839	5,077	0,238
12	Siltstone 4	4,011	4,016	0,005
Rata - Rata				0,209



Gambar 2. Grafik Perbandingan Selisih Rata - Rata Nilai FK

Dari hasil perhitungan nilai faktor keamanan (FK) lereng tunggal yang dilakukan untuk memperoleh nilai selisih dengan membandingkan hasil perhitungan manual dan bantuan perangkat lunak Slide2 pada metode Bishop dan metode Janbu. Adapun nilai selisih terendah untuk metode Bishop pada lubang bor FSP-DD-05GT, yaitu 0,037 dengan litologi *Claystone 1*, sedangkan nilai selisih tertinggi untuk metode Bishop pada keseluruhan lubang bor FSP-DD-05GT yaitu sebesar 0,148 dengan litologi *Soil*. Adapun nilai selisih terendah untuk metode Janbu



pada lubang bor FSP-DD-05GT yaitu sebesar 0,005 dengan litologi *Siltstone* 4, sedangkan nilai selisih tertinggi untuk metode Janbu pada lubang bor FSP-DD-05GT yaitu sebesar 0,624 dengan litologi *Soil*. Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan selisih nilai rata-rata faktor keamanan pada lubang bor FSP-DD-05GT. Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan metode Bishop dan metode Janbu, dimana nilai selisih rata-rata faktor keamanan pada lubang bor tersebut sebesar 0,141.

KESIMPULAN

1. Geometri yang direkomendasikan untuk lereng tunggal (*single slope*), yaitu tinggi 5 meter dengan kemiringan lereng 70° pada lubang bor FSP-DD-05GT. Nilai rekomendasi tersebut didasarkan pada hasil analisis perangkat lunak *Slide2* dengan persentase kemungkinan longsoran 0,000 %.
2. Hasil analisis faktor keamanan yang dilakukan pada lereng tunggal, didapatkan nilai selisih terendah dengan menggunakan metode Janbu yaitu sebesar 0,005 pada litologi *Siltstone* 4, sedangkan nilai selisih tertinggi juga diperoleh dari hasil analisis dengan metode Janbu yaitu sebesar 0,624 dengan litologi *Soil*. Sedangkan nilai selisih rata-rata terendah yang diperoleh dari hasil analisis yang dilakukan dengan metode Bishop sebesar 0,068. Nilai selisih rata-rata tertinggi yang diperoleh dari hasil analisis yang dilakukan dengan metode Janbu sebesar 0,209 dengan perbandingan kedua selisih tertinggi dan terendah sebesar 0,141. Jadi metode Janbu memiliki selisih terbesar dalam mengeluarkan nilai faktor keamanan dibandingkan dengan metode Bishop.
3. Pada lereng *high wall* tidak ditemukan nilai geometri lereng yang direkomendasikan karena tidak didapatkan nilai faktor keamanan yang lebih sebesar dari 1,3, maka modifikasi lereng *high wall* dilakukan dengan cara membuat *intermediate berm* sehingga didapatkan geometri lereng *high wall* yang direkomendasikan, yaitu tinggi 115 meter dan sudut 28° dengan lebar jenjang *intermediate berm* minimum 25 meter dan maksimum 50 meter. Sehingga diperoleh nilai faktor keamanan yang sesuai persyaratan pada lereng *high wall* sebesar lebih dari 1,3 untuk setiap lubang bor, sedangkan pada lereng *low wall* nilai geometri yang direkomendasikan yaitu tinggi 115 meter dengan sudut kemiringan 3° sehingga diperoleh nilai faktor keamanan yang aman pada lereng *low wall* lebih besar dari 1,3 untuk setiap lubang bor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan terima kasih kepada PT Fajar Sakti Prima Kalimantan Timur atas kesempatan dan izin yang telah diberikan kepada kami. Selain itu, kami menghaturkan terima kasih pula kepada Laboratorium Mekanika Batuan, Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia atas izin penggunaan perangkat lunak *Slide2* dari *Rocscience*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, H., Anshariah, A., Munir, A. S., Umar, E. P., Nurwaskito, A., & Sanra, S. A. A. (2020). Evaluasi Geometri Jalan Angkut Tambang Pada Penambangan Batubara PT Sebuk Iron Lateritic Ores (SILO) Kalimantan Selatan. *Jurnal Geosapta*, 6(1), 1–11.
- Anderson, M. G., Richards, K. S. 1987. *Slope Stability Geotechnical Engineering and Geomorphology*.
- Arif, I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama.
- Cahyono, Y. D. G. (2022). Analisis Kestabilan Lereng Highwall berdasarkan Tingkat Kejenuhan dengan Metode Probabilitas pada Tambang Batubara PT X Kalimantan Timur. *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan*. 5(2), 37-42.
- Firmansyah, I., Dwinagara, B., Sukamto, U., Wiyono, B., & Cahyadi, T. A. (2020), Analisis Kestabilan Lereng dengan Pendekatan Probabilitas Longsor pada Penambangan Batubara Pit 8an East Block PT Indominco Mandiri. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XV Tahun 2020 (ReTII)*. 15(15), 227-234.
- Haeruddin, H., Anshariah, A., Nurwaskito, A., & Salam Munir, A. (2019). Kajian Sistem Penyaliran Tambang Batubara Bengalon Kabupaten Kutai Timur Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Geomine*, 7(1), 01–07.
- Indira, B., Dwinagara, B., Saptono, S., & Mardiah, M. (2022). Analisis Kestabilan Lereng pada Penambangan Batu Andesit PT Gunung Kulalet Kecamatan Baleendah, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. *Yogyakarta*. 8(1), 24-35.
- Karim, Y. I., Nawir, A., & Munir, A. S. (2021). Analisis probabilitas kelongsoran pada lereng Jalan Raya Km 88,4 Kecamatan Mallawa, Kabupaten Maros. *Jurnal Himasapta*, 6(2), 117–121.
- Munir, A. S. (2018). Kestabilan Lereng Menggunakan Program Slope/W Pada Pit GN-10 Pulau Gag Kabupaten Raja Ampat Papua Barat. *Jurnal Geomine*, 6(3), 157–162.
- Munir, A. S., Jafar, N., Anwar, H., Ajwad, Muh., Yusuf, F. N., Asmiani, N., & Martireni, A. P. (2021). Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Bishop pada Jalan Poros Maros-Bone Kilometer 84,1 Tompo Ladang Kabupaten Maros. *Jurnal Geomine*, 9(2), 150–167.
- Putrilia, B., Poalahi, S., Rembah, R., & Munir, A. S. (2022). Analisis Kestabilan Lereng pada Pit Bengkirai Tambang Terbuka Batubara di PT Guruh Putra Bersama Site Gunung Sari Kecamatan Tabang Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur. *Jurnal Geomine*, 10(2), 156-167.
- Rai, M. A., Kramadibrata, S., & Wattimena, R. K. (2014). *Mekanika Batuan*. Penerbit ITB.
- Rocscience Inc. Situs web korporat Rocscience, diakses tanggal 21 Oktober 2023. <https://www.rocscience.com/software/slide2>.
- Sahrul, S., & Astini, V. (2020). Analisis Deformasi Lereng Menggunakan Metode Monitoring pada Lereng Jalan Trans Provinsi Kilometer 18 Kolaka Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Geomine*. 7(3). 189.

- Sudinda, T. W. (2020), Analisis Kestabilan Lereng pada Lokasi Tambang Batubara Tanah Laut Kalimantan Selatan. *Jurnal ALAMI: Jurnal Teknologi Reduksi Risiko Bencana*, 4(2), 96-104.
- Wahyuni, S., Jafar, N., Anwar, H., & Munir, A. S. (2021). Analisis Kestabilan Lereng Disposal IPD PQRT Pit West Menggunakan Metode Bishop PT Buma Job Site Lati Kabupaten Berau Kalimantan Timur. *Jurnal Geosapta*, 7(1), 1-6.