



Analisis Kestabilan Lereng untuk Rencana Pit Tambang Batubara PT. XYZ

Muhammad Dhafin Razaqa, Iswandaru*, Zaenal

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

ARTICLE INFO

Article history :

Received : 8/10/2024

Revised : 17/12/2024

Published : 30/12/2024



Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

Volume : 4

No. : 2

Halaman : 151 - 162

Terbitan : Desember 2024

Terakreditasi Sinta [Peringkat 5](#)
berdasarkan Ristekdikti
No. 177/E/KPT/2024

ABSTRAK

Penambangan terbuka memiliki risiko ketidakstabilan massa batuan, sehingga analisis kestabilan lereng menjadi krusial. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi jenis serta sifat fisik dan mekanik batuan penyusun lereng, sekaligus merekomendasikan geometri lereng yang stabil berdasarkan faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran. Data sifat fisik (densitas natural dan saturated) dan sifat mekanik (kohesi dan sudut gesek dalam) dianalisis menggunakan Limit Equilibrium Method (LEM) dan Monte Carlo untuk probabilitas kelongsoran. Analisis dilakukan pada lereng tunggal dengan tinggi 5, 8, dan 10-meter serta kemiringan 40-60°, sedangkan lereng keseluruhan menggunakan sudut 20-50° pada berbagai elevasi. Untuk lereng timbunan, analisis mencakup tinggi 10-40 meter dengan kemiringan 19, 21, dan 23°. Hasilnya, geometri lereng tunggal yang direkomendasikan adalah sandstone (tinggi 8 m, sudut 55°), siltstone dan claystone (tinggi 10 m, sudut 45°), serta carbonaceous claystone dan coal (tinggi 10 m, sudut 60°). Geometri lereng keseluruhan yang disarankan meliputi sudut 35° untuk high wall dan low wall pit Selatan (elevasi 0 mdpl), 28° untuk high wall pit Utara (elevasi -30 mdpl), dan 32° untuk low wall pit Utara (elevasi -20 mdpl). Untuk lereng timbunan, direkomendasikan geometri dengan tinggi 40 meter dan sudut 21°. Analisis ini memberikan acuan penting bagi perencanaan tambang yang aman dan efisien.

Kata Kunci : Kestabilan Lereng, Geometri Lereng, Faktor Keamanan.

ABSTRACT

Open-pit coal mining poses risks of rock mass instability, necessitating slope stability analysis. This study aimed to evaluate rock types, physical and mechanical properties, and recommend slope geometries based on safety factors and failure probabilities. Data included rock densities, shear strength (cohesion and friction angle), and analyses using the Limit Equilibrium Method (LEM) and Monte Carlo Method. Single slope stability was analyzed for heights of 5, 8, and 10 meters with angles of 40-60°, while overall slope stability considered angles of 20-50° at varying elevations and heights. Disposal slope stability was examined for heights of 10-40 meters with slopes of 19, 21, and 23°. Recommendations include single slope geometries for sandstone (8 m height, 55° angle), siltstone and claystone (10 m height, 45° angle), and carbonaceous claystone and coal (10 m height, 60° angle). Overall slope recommendations are 35° for South pit high and low walls at 0 mdpl, 28° for North pit high wall at -30 mdpl, and 32° for North pit low wall at -20 mdpl. For disposal slopes, a geometry of 40 m height with a 21° angle is suggested.

Keywords: Slope Stability, Slope Geometry, Safety Factor.

Copyright© 2024 The Author(s).

A. Pendahuluan

Kegiatan penambangan merupakan suatu kegiatan yang umumnya terdiri dari proses penggalian, pemuatan, dan pengangkutan material. Suatu aktivitas penambangan akan menyebabkan perubahan tegangan pada massa batuan sehingga menimbulkan ketidakstabilan yang dapat menyebabkan terjadinya kelongsoran pada lereng tambang. Oleh karena itu, untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu dilakukan analisis geoteknik khususnya mengenai kestabilan lereng (Arif, 2016).

Analisis kestabilan lereng merupakan suatu analisis yang dilakukan untuk mengetahui faktor keamanan dan potensi kelongsoran pada suatu lereng. Pada tahap perencanaan tambang, analisis kestabilan lereng dilakukan untuk merancang geometri lereng yang optimal dan stabil untuk diterapkan pada area penambangan. Hal ini sangat diperlukan untuk mencegah terjadinya kelongsoran yang dapat menyebabkan kecelakaan kerja serta menghambat keberlangsungan aktivitas penambangan (Rana Antariksa D et al., 2021).

PT XYZ sebagai salah satu perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan berencana untuk melakukan penambangan batubara di Kecamatan Loa Janan (Yuliadi, 2021). Daerah tersebut tersusun atas formasi batuan sedimen serta memiliki kondisi topografi berupa perbukitan bergelombang sehingga kegiatan penambangan akan dilakukan menggunakan sistem tambang terbuka dengan Metode *Contour Mining* (Dimas Gumelar et al., 2024; Erlan Adiya Jamil et al., 2024). Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis kestabilan lereng untuk rencana *pit* PT XYZ untuk dapat memperoleh rekomendasi geometri lereng yang aman dan paling optimal untuk digunakan (Iswandaru, 2022).

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah: "Bagaimana geometri lereng yang direkomendasikan?".Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini diuraikan sebagai berikut: mengetahui batuan penyusun lereng pada lokasi penelitian, melakukan analisis kestabilan lereng dan menentukan rekomendasi geometri lereng tunggal, melakukan analisis kestabilan lereng dan menentukan rekomendasi geometri lereng keseluruhan, serta melakukan analisis kestabilan lereng dan menentukan rekomendasi geometri lereng timbunan (Hariyadi et al., 2018; Rai et al., 2014).

B. Metode Penelitian

Teknik Pengambilan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi data primer dan sekunder. Data primer meliputi data pengeboran geoteknik dan eksplorasi, hasil uji sifat fisik batuan, serta hasil uji sifat mekanik batuan berupa pengujian kuat geser dan kuat tekan (Djarwadi, 2012; Z.T. Bieniawski, 1984). Sementara itu, data sekunder meliputi peta topografi, peta geologi, kondisi water table menurut (Hoek & Bray, 1995), faktor kegempaan, serta kriteria faktor keamanan lereng.

Teknik Pengolahan Data

Teknik pengolahan data dalam penelitian ini terdiri dari uji normalitas data menggunakan Metode Shapiro-Wilk, pemodelan geometri lereng tunggal dan keseluruhan, serta perhitungan nilai faktor keamanan menggunakan Metode Kesetimbangan Batas Bishop dan probabilitas kelongsoran dengan Metode Monte Carlo (Azis, 2015).

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan Metode Komparatif yaitu dengan membandingkan hasil analisis kestabilan lereng dengan standar faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran berdasarkan Keputusan Menteri ESDM nomor 1827 K/30/MEM/2018 (Anonim, 2018).

C. Hasil dan Pembahasan

Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng dilakukan untuk memperoleh nilai faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran, sehingga dapat menentukan rekomendasi geometri lereng yang memenuhi kriteria kestabilan lereng. Analisis ini mencakup lereng tunggal, keseluruhan, dan timbunan dengan menggunakan Metode Kesetimbangan Batas Bishop serta probabilitas kelongsoran menggunakan Metode Monte Carlo.

Dalam analisis ini, terdapat beberapa parameter yang digunakan. Geometri lereng meliputi variasi tinggi dan kemiringan. Geometri lereng tunggal untuk litologi soil menggunakan tinggi 3 m, sementara untuk batuan digunakan tinggi 5, 8, dan 10 m dengan kemiringan 45°, 50°, 55°, dan 60°. Untuk lereng keseluruhan, geometri dibuat berdasarkan elevasi lantai pit dengan tinggi 20–110 m dan sudut kemiringan 20°–50°, disesuaikan dengan elevasi dan tinggi lereng. Sedangkan geometri lereng timbunan menggunakan tinggi 10–40 m dengan kemiringan 19°, 21°, dan 23°.

Input parameter dalam analisis ini meliputi hasil pengujian sifat fisik batuan seperti natural density dan saturated density, serta hasil pengujian kuat geser berupa kohesi dan sudut gesek dalam. Analisis kestabilan lereng tunggal dan timbunan menggunakan hasil uji kuat geser pada kondisi residu, sedangkan untuk lereng keseluruhan menggunakan kondisi peak. Parameter-parameter ini menjadi dasar dalam analisis kestabilan lereng yang dilakukan.

Tabel 1. Input Parameter Lereng Tunggal dan Keseluruhan

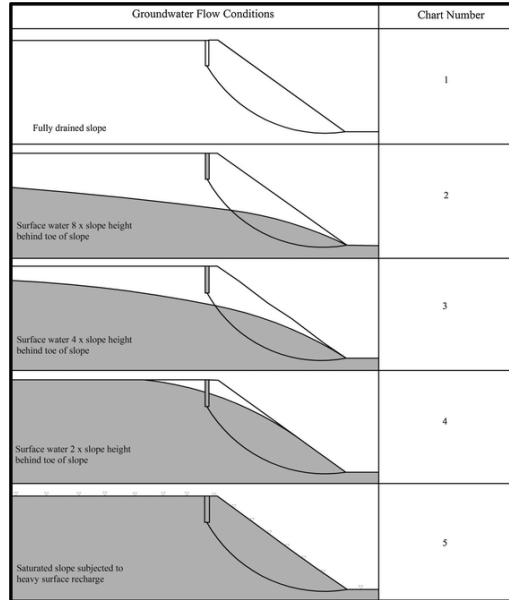
Parameter	Natural Density (kN/m ³)	Saturated Density (kN/m ³)	Kohesi Residu (kN/m ²)	Sudut Gesek Dalam Residu (°)	Kohesi Peak (kN/m ²)	Sudut Gesek Dalam Peak (°)
<i>Soil</i>						
<i>Properties</i>	13,621	17,603	23,507	32,700	23,507	32,700
<i>Sandstone</i>						
Maks	20,273	20,458	64,165	11,280	252,963	38,200
Min	17,035	19,302	16,671	8,260	61,870	27,570
Median	19,370	20,011	23,850	11,230	78,453	30,770
Rata-rata	18,905	19,898	31,666	10,644	133,160	32,226
Rel. min	1,870	0,596	14,994	2,384	71,290	4,656
Rel. Maks	1,368	0,560	32,499	0,636	119,803	5,974
Stdev	1,414	0,447	18,785	1,333	90,715	4,173
<i>Siltstone</i>						
Maks	17,508	19,562	83,994	19,270	471,308	22,330
Min	16,443	19,205	16,632	8,550	239,920	16,810
Median	16,983	19,273	27,233	10,000	305,359	19,620
Rata-rata	16,978	19,347	42,620	12,607	338,862	19,587
Rel. min	0,535	0,142	25,988	4,057	98,943	2,777
Rel. Maks	0,530	0,215	41,374	6,663	132,445	2,743
Stdev	0,533	0,189	36,221	5,816	119,277	2,760
<i>Claystone</i>						
Maks	21,352	21,951	71,039	19,260	403,240	42,840
Min	16,538	18,858	10,621	8,280	33,578	15,990
Median	17,635	19,457	27,640	11,350	131,184	26,555
Rata-rata	17,909	19,561	30,031	12,747	170,553	28,172
Rel. min	1,371	0,704	19,410	4,467	136,975	12,182
Rel. Maks	3,443	2,390	41,009	6,513	232,687	14,668
Stdev	1,239	0,742	17,580	3,990	112,387	8,926
<i>Carbonaceous Claystone</i>						
<i>Properties</i>	14,231	16,838	71,638	11,270	374,732	30,810
<i>Coal</i>						
<i>Properties</i>	12,800	15,967	58,580	33,380	169,410	33,770

Tabel 2. Input Parameter Lereng Timbunan

Natural Density (kN/m ³)	Saturated Density (kN/m ³)	Kohesi Residu (kN/m ²)	Sudut Gesek Dalam Residu (°)
20,860	21,420	69,790	17,066

Kondisi Muka Air Tanah

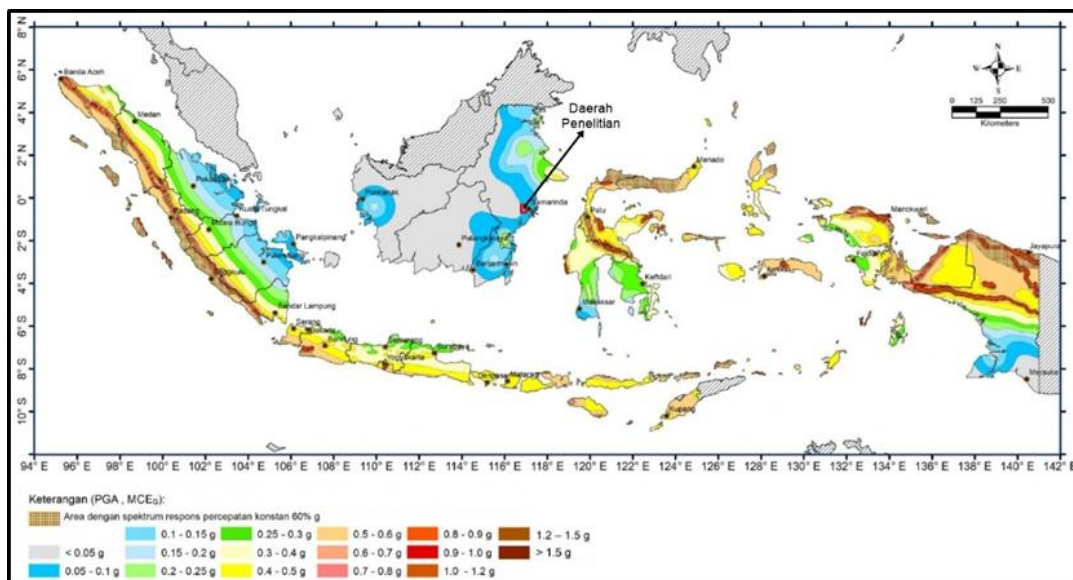
Dalam analisis kestabilan lereng tunggal, kondisi muka air tanah diasumsikan berdasarkan kriteria Hoek & Bray pada kondisi MAT 5. Sementara itu, dalam analisis kestabilan lereng keseluruhan dan timbunan pemodelan dilakukan pada kondisi MAT 3 dan 5 dengan rekomendasi berdasarkan hasil analisis pada kondisi MAT 5. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi kemungkinan terburuk yang dapat terjadi (Reza Alfikri et al., 2024).



Gambar 1. Kondisi Muka Air Tanah

Faktor Kegempaan

Nilai faktor kegempaan yang digunakan pada penelitian ini disesuaikan dengan faktor kegempaan daerah penelitian berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 (Anonim, 2017). Berdasarkan peta tersebut, diperoleh nilai faktor kegempaan pada daerah penelitian sebesar 0,1 g (Supriatna, 1995).



Gambar 2. Faktor Kegempaan Daerah Penelitian

Kriteria Kestabilan Lereng

Kriteria kestabilan lereng tunggal yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada Kepmen ESDM 1827 K/30/MEM/2018. Berdasarkan kriteria tersebut, nilai faktor keamanan minimum pada kondisi statis untuk lereng tunggal adalah 1,1 dengan probabilitas longsor maksimum 25-50% dan tidak ada ketentuan faktor keamanan minimum pada kondisi dinamis (Hedianto et al., 2024). Sementara itu, untuk lereng keseluruhan kriteria yang digunakan adalah kriteria dengan tingkat keparahan longsor menengah dengan nilai faktor keamanan minimum pada kondisi statis sebesar 1,3, faktor keamanan minimum pada kondisi dinamis sebesar 1,05, serta probabilitas longsor maksimum 10%.

Tabel 3. Kriteria Kestabilan Lereng Berdasarkan Kepmen ESDM No. 1827 Tahun 2018

Jenis Lereng	Keparahan Longsor	Kriteria Dapat Diterima		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor (PoF) (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	1,1	10%
Lereng Keseluruhan	Rendah	1,2-1,3	1,0	15-20%
	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3-1,5	1,1	5%

Hasil Analisis Kestabilan Lereng Tunggal

Berdasarkan analisis kestabilan lereng yang dilakukan, diperoleh rekomendasi geometri lereng tunggal pada 3 ketinggian lereng yaitu 5, 8, dan 10-meter untuk litologi batuan . Selain itu, diperoleh juga rekomendasi geometri lereng tunggal untuk *soil* dengan tinggi 3-meter dan kemiringan 60° (Wyllie & Mah, 2017). Pada litologi batuan, rekomendasi kemiringan lereng yang memenuhi kriteria kestabilan lereng pada ketinggian 5 meter adalah 60° untuk setiap litologi sedangkan pada ketinggian 8 meter rekomendasi kemiringan lereng yang memenuhi kriteria adalah 55° untuk litologi *sandstone* dan 60° untuk litologi lainnya. Pada ketinggian 10 meter, rekomendasi kemiringan lereng yang memenuhi kriteria adalah 45° untuk litologi *siltstone* dan *claystone* serta 60° untuk litologi *carbonaceous claystone* dan *coal*. Sementara itu, tidak ada rekomendasi untuk litologi *sandstone* pada tinggi 10-meter karena seluruh hasil analisis kestabilan lereng yang dilakukan tidak memenuhi kriteria kestabilan lereng. Berikut merupakan hasil analisis kestabilan lereng tunggal:

Tabel 4. Hasil Analisis Kestabilan Lereng Tunggal

Litologi	Geometri		Faktor Keamanan dan Probabilitas Kelongsoran			
	Tinggi (m)	Sudut (°)	FK (Statis)	PK (Statis)	FK (Dinamis)	PK (Dinamis)
<i>Soil</i>	3	40	3,229	0,00%	2,623	0,00%
		45	3,012	0,00%	2,486	0,00%
		50	2,829	0,00%	2,359	0,00%
		55	2,625	0,00%	2,238	0,00%
		60	2,427	0,00%	2,074	0,00%
<i>Sandstone</i>	5	40	1,985	10,00%	1,572	20,30%
		45	1,894	12,90%	1,527	22,60%
		50	1,803	15,60%	1,462	25,20%
		55	1,720	18,50%	1,403	27,40%
		60	1,624	21,40%	1,338	30,20%

Litologi	Geometri		Faktor Keamanan dan Probabilitas Kelongsoran			
	Tinggi (m)	Sudut (°)	FK (Statis)	PK (Statis)	FK (Dinamis)	PK (Dinamis)
<i>Siltstone</i>	8	40	1,319	29,30%	1,050	49,40%
		45	1,242	35,30%	1,009	53,00%
		50	1,169	41,50%	0,966	55,70%
		55	1,105	46,90%	0,915	60,30%
		60	1,026	51,80%	0,870	64,70%
	10	40	1,086	47,10%	0,874	65,80%
		45	1,017	52,40%	0,832	71,10%
		50	0,955	56,40%	0,793	47,20%
		55	0,902	61,50%	0,755	78,70%
		60	0,830	69,80%	0,706	83,70%
	5	40	2,273	17,80%	1,775	21,10%
		45	2,170	19,10%	1,741	23,70%
		50	2,074	20,60%	1,675	25,50%
		55	1,974	21,70%	1,613	26,90%
		60	1,860	23,20%	1,541	28,70%
	8	40	1,495	28,60%	1,192	40,10%
		45	1,414	31,00%	1,146	42,50%
		50	1,340	34,20%	1,101	44,80%
		55	1,256	39,10%	1,046	47,10%
		60	1,186	41,70%	0,991	50,80%
	10	40	1,237	38,80%	0,989	50,60%
		45	1,157	41,80%	0,947	53,90%
		50	1,092	45,10%	0,905	57,90%
		55	1,032	48,20%	0,858	62,00%
60		0,957	53,10%	0,813	66,10%	
5	40	2,244	5,00%	1,778	13,40%	
	45	2,139	6,70%	1,722	16,10%	
	50	2,040	9,30%	1,653	17,60%	
	55	1,946	11,60%	1,587	20,20%	
	60	1,825	15,10%	1,513	23,70%	
<i>Claystone</i>	8	40	1,484	22,00%	1,188	38,40%
		45	1,398	27,00%	1,137	41,50%
		50	1,322	31,30%	1,090	44,70%
		55	1,251	36,94%	1,035	49,80%
		60	1,162	42,00%	0,978	55,20%
	10	40	1,228	36,30%	0,988	53,90%
		45	1,151	41,20%	0,941	59,20%
		50	1,081	45,50%	0,897	63,70%
		55	1,014	51,60%	0,855	66,70%
		60	0,940	59,30%	0,800	72,70%
<i>Carbonaceous Claystone</i>	5	40	5,242	0,00%	3,935	0,00%
		45	5,139	0,00%	3,948	0,00%
		50	4,928	0,00%	3,947	0,00%
		55	4,745	0,00%	3,804	0,00%
		60	4,516	0,00%	3,674	0,00%
<i>Carbonaceous Claystone</i>	8	40	3,377	0,00%	2,559	0,00%
		45	3,257	0,00%	2,557	0,00%
		50	3,112	0,00%	2,507	0,00%
		55	2,983	0,00%	2,418	0,00%
		60	2,828	0,00%	2,322	0,00%
10	40	2,743	0,00%	2,100	0,00%	
	45	2,628	0,00%	2,095	0,00%	

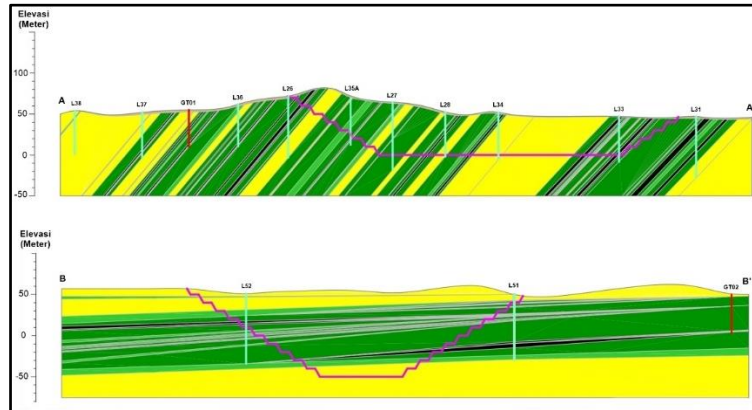
Litologi	Geometri		Faktor Keamanan dan Probabilitas Kelongsoran			
	Tinggi (m)	Sudut (°)	FK (Statis)	PK (Statis)	FK (Dinamis)	PK (Dinamis)
Coal	5	50	2,508	0,00%	2,026	0,00%
		55	2,397	0,00%	1,955	0,00%
		60	2,266	0,00%	1,871	0,00%
		40	4,698	0,00%	3,752	0,00%
		45	4,441	0,00%	3,606	0,00%
	8	50	4,193	0,00%	3,454	0,00%
		55	3,961	0,00%	3,281	0,00%
		60	3,681	0,00%	3,097	0,00%
		40	3,102	0,00%	2,529	0,00%
		45	2,888	0,00%	2,391	0,00%
	10	50	2,710	0,00%	2,265	0,00%
		55	2,507	0,00%	2,144	0,00%
		60	2,314	0,00%	1,981	0,00%
		40	2,566	0,00%	2,121	0,00%
		45	2,373	0,00%	1,984	0,00%
		50	2,210	0,00%	1,867	0,00%
		55	2,027	0,00%	1,750	0,00%
		60	1,868	0,00%	1,611	0,00%

Rekomendasi

Hasil Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan

Analisis kestabilan lereng keseluruhan dilakukan terhadap lereng *high wall* dan *low wall* pada 2 *pit* yaitu *pit* Selatan dan Utara. Analisis kestabilan lereng *pit* Selatan dilakukan pada *section A-A'* sedangkan analisis kestabilan lereng *pit* Utara dilakukan pada *section B-B'*. Analisis kestabilan lereng keseluruhan *pit* Selatan dilakukan pada 3 elevasi yaitu 25, 0, serta -25 mdpl, baik untuk lereng *high wall* maupun *low wall*. Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng yang dilakukan, diperoleh rekomendasi geometri lereng *high wall* dengan sudut 43° pada elevasi 25 mdpl, 35° pada elevasi 0 mdpl, serta 33° pada elevasi -25 mdpl. Sementara itu, rekomendasi geometri lereng *low wall* yang diperoleh adalah 45° pada elevasi 25 mdpl, 35° pada elevasi 0 mdpl, serta 33° pada elevasi -25 mdpl. Untuk geometri lereng *low wall* pada elevasi 25 mdpl, sudut 45° dipilih karena memiliki kemiringan yang sama dengan lapisan batubara batua (Hasibuan & Rahmad, 2019).

Analisis kestabilan lereng keseluruhan *pit* Utara dilakukan pada elevasi -3, -30, dan -50 mdpl untuk lereng *high wall* serta elevasi 15, -20, dan -50 untuk lereng *low wall*. Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng yang dilakukan, diperoleh rekomendasi geometri lereng *high wall* dengan sudut 44° pada elevasi -3 mdpl, 28° pada elevasi -30 mdpl, serta 24° pada elevasi -50 mdpl. Sementara itu, rekomendasi geometri lereng *low wall* yang diperoleh adalah 50° pada elevasi 15 mdpl, 30° pada elevasi -20 mdpl, serta 23° pada elevasi -50 mdpl. Untuk geometri lereng *low wall* pada elevasi 15 mdpl, tidak dilakukan analisis lebih lanjut pada sudut lebih dari 50° karena geometri lereng tunggal yang direkomendasikan hampir tidak memungkinkan untuk membentuk lereng keseluruhan dengan sudut lebih dari 50° (Saputra & Qobul, 2020).



Gambar 3. Penampang Geoteknik PT XYZ

Tabel 5. Hasil Analisis Kestabilan Lereng High Wall Pit Selatan

Geometri			MAT 5				MAT 3			
Elevasi (mdpl)	Sudut (°)	Tinggi (m)	FK (Statis)	PK (Statis)	FK (Dinamis)	PK (Dinamis)	FK (Statis)	PK (Statis)	FK (Dinamis)	PK (Dinamis)
Desain Awal (RL 0)	33	71,76	1,431	5,50%	1,199	23,40%	1,937	0,00%	1,583	0,50%
	35	49,13	1,831	0,40%	1,515	5,50%	2,311	0,00%	1,885	0,00%
25	40	51,82	1,583	3,10%	1,334	15,80%	2,113	0,00%	1,747	0,20%
	43	53,34	1,512	5,40%	1,275	19,60%	2,151	0,00%	1,772	0,00%
	45	54,21	1,412	11,80%	1,199	27,30%	1,997	0,00%	1,667	0,30%
	50	55,97	1,247	25,00%	1,070	41,60%	1,838	0,00%	1,550	1,60%
0	30	70,52	1,642	0,30%	1,376	6,40%	1,989	0,00%	1,632	0,20%
	35	73,16	1,341	9,90%	1,137	29,20%	1,912	0,00%	1,566	1,60%
	40	77,07	1,168	29,00%	0,988	53,00%	1,639	0,20%	1,359	6,40%
	45	80,41	1,058	42,90%	0,897	71,30%	1,564	1,30%	1,300	9,20%
	25	90,77	1,949	0,00%	1,597	1,40%	2,052	0,00%	1,669	0,40%
-25	30	95,04	1,599	1,30%	1,375	16,10%	1,876	0,00%	1,559	4,30%
	33	96,67	1,388	9,34%	1,231	26,90%	1,769	0,80%	1,453	8,90%
	35	98,47	1,309	14,00%	1,153	32,90%	1,571	1,41%	1,342	8,80%
	40	103,80	1,102	39,70%	0,938	60,30%	1,391	6,30%	1,225	24,80%

Tabel 6. Hasil Analisis Kestabilan Lereng Low Wall Pit Selatan

Geometri			MAT 5				MAT 3			
Elevasi (mdpl)	Sudut (°)	Tinggi (m)	FK (Statis)	PK (Statis)	FK (Dinamis)	PK (Dinamis)	FK (Statis)	PK (Statis)	FK (Dinamis)	PK (Dinamis)
Desain Awal (RL 0)	35	46,33	1,996	9,00%	1,565	14,50%	2,316	0,70%	1,845	4,10%
	35	20,58	4,194	0,00%	3,104	0,30%	4,955	0,00%	3,340	0,00%
25	40	20,54	3,908	0,30%	2,902	0,50%	4,707	0,00%	3,317	0,00%
	45	20,56	3,712	0,50%	2,837	1,30%	4,571	0,00%	3,475	0,00%
	50	20,59	3,307	0,50%	2,602	4,10%	4,162	0,00%	3,259	0,20%

Geometri			MAT 5				MAT 3			
Elevasi (mdpl)	Sudut (°)	Tinggi (m)	FK (Statis)	PK (Statis)	FK (Dinamis)	PK (Dinamis)	FK (Statis)	PK (Statis)	FK (Dinamis)	PK (Dinamis)
0	30	46,98	2,054	6,50%	1,670	15,30%	2,415	1,00%	1,941	5,70%
	35	46,03	1,840	8,90%	1,517	18,50%	2,267	0,80%	1,846	5,00%
	40	45,61	1,653	15,40%	1,373	23,30%	2,030	3,90%	1,648	8,00%
	45	45,55	1,565	15,50%	1,340	31,50%	1,936	3,40%	1,622	8,70%
	25	69,98	1,569	0,30%	1,260	9,90%	1,785	0,00%	1,417	1,70%
-25	30	71,36	1,496	3,10%	1,209	17,30%	1,707	0,00%	1,370	3,10%
	33	72,11	1,448	5,70%	1,172	26,00%	1,623	0,00%	1,320	9,20%
	35	71,85	1,346	18,60%	1,172	37,20%	1,586	4,50%	1,358	22,30%
	40	70,78	1,196	38,30%	1,001	51,50%	1,489	17,50%	1,231	32,20%


Tabel 7. Hasil Analisis Kestabilan Lereng *High Wall Pit* Utara

Geometri			MAT 5				MAT 3			
Elevasi (mdpl)	Sudut (°)	Tinggi (m)	FK (Statis)	PK (Statis)	FK (Dinamis)	PK (Dinamis)	FK (Statis)	PK (Statis)	FK (Dinamis)	PK (Dinamis)
Desain Awal (RL-50)	33	107,00	1,012	48,40%	0,858	85,90%	1,258	7,40%	1,046	38,70%
	35	59,40	1,553	0,60%	1,275	11,60%	1,761	0,00%	1,437	3,20%
-3	40	57,66	1,489	3,10%	1,209	16,00%	1,753	0,30%	1,411	1,30%
	44	56,48	1,390	9,80%	1,179	25,50%	1,646	0,50%	1,381	5,10%
	45	56,22	1,371	10,30%	1,145	23,10%	1,670	0,30%	1,397	3,30%
	50	55,21	1,264	12,00%	1,080	35,00%	1,580	0,00%	1,333	3,30%
	25	86,75	1,565	4,00%	1,247	20,70%	1,827	0,00%	1,437	6,50%
-30	28	87,79	1,444	10,00%	1,156	29,90%	1,707	1,10%	1,378	10,30%
	30	88,02	1,345	16,30%	1,115	35,60%	1,599	2,70%	1,305	15,40%
	35	87,13	1,227	26,00%	1,018	48,60%	1,515	5,30%	1,262	18,60%
	40	84,64	1,124	36,90%	0,928	63,60%	1,452	7,80%	1,193	23,50%
	20	107,00	1,511	0,20%	1,185	11,50%	1,687	0,00%	1,317	1,60%
-50	24	107,00	1,315	2,90%	1,059	35,10%	1,498	0,20%	1,206	9,40%
	25	107,01	1,261	7,10%	1,035	40,50%	1,428	0,40%	1,156	14,50%
	30	107,45	1,102	26,00%	0,918	74,50%	1,332	1,90%	1,097	24,60%
	35	106,24	0,976	55,90%	0,836	91,00%	1,240	7,20%	1,051	37,30%

Tabel 8. Hasil Analisis Kestabilan Lereng *Low Wall Pit* Utara

Geometri			MAT 5				MAT 3			
Elevasi (mdpl)	Sudut (°)	Tinggi (m)	FK (Statis)	PK (Statis)	FK (Dinamis)	PK (Dinamis)	FK (Statis)	PK (Statis)	FK (Dinamis)	PK (Dinamis)
Desain Awal (RL-50)	34	98,21	1,100	31,60%	0,914	71,00%	1,491	0,90%	1,234	11,70%
	15	35	33,11	2,461	0,00%	2,001	1,70%	2,695	0,00%	2,139

Geometri			MAT 5				MAT 3			
Elevasi (mdpl)	Sudut (°)	Tinggi (m)	FK (Statis)	PK (Statis)	FK (Dinamis)	PK (Dinamis)	FK (Statis)	PK (Statis)	FK (Dinamis)	PK (Dinamis)
	40	34,17	2,412	0,00%	1,979	2,40%	2,753	0,00%	2,152	0,50%
	45	35,36	2,164	0,60%	1,828	4,30%	2,526	0,00%	2,108	0,50%
	50	36,54	2,056	0,90%	1,729	5,50%	2,473	0,00%	2,055	0,40%
	25	68,61	1,719	3,50%	1,355	15,40%	1,805	0,00%	1,426	0,20%
	30	67,06	1,560	7,20%	1,284	22,10%	1,760	0,00%	1,427	0,10%
-20	32	67,36	1,533	6,70%	1,252	24,30%	1,862	0,50%	1,507	6,50%
	35	68,44	1,444	13,10%	1,195	30,30%	1,779	0,90%	1,449	8,30%
	40	70,99	1,290	19,50%	1,089	39,90%	1,725	1,60%	1,424	9,30%
	20	111,60	1,437	0,70%	1,141	17,90%	1,676	0,00%	1,314	2,60%
	23	105,22	1,306	4,80%	1,061	35,80%	1,477	0,40%	1,182	11,80%
-50	25	101,19	1,264	9,10%	1,029	42,80%	1,433	0,90%	1,163	15,80%
	30	97,05	1,144	24,80%	0,949	63,40%	1,333	2,40%	1,114	25,10%
	35	98,97	1,014	47,50%	0,860	85,30%	1,285	5,70%	1,084	28,60%

 Rekomendasi

Hasil Analisis Kestabilan Lereng Timbunan

Penentuan parameter kekuatan batuan untuk material timbunan dilakukan menggunakan persentase *overburden* yang dihitung berdasarkan penampang *section A-A'* serta *section B-B'*. Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh komposisi material timbunan yang terdiri dari 27,5% *sandstone*, 5% *siltstone*, serta 67,5% *claystone*. Nilai tersebut selanjutnya dikalikan dengan nilai maksimum dari data hasil pengujian pada kondisi residual untuk setiap litologi batuan kemudian dijumlahkan untuk memperoleh parameter material timbunan. Penggunaan nilai maksimum tersebut dilakukan atas pertimbangan adanya faktor pemadatan ketika dilakukan proses penimbunan material. Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng timbunan, diperoleh rekomendasi geometri lereng timbunan dengan tinggi 40-meter dan kemiringan 21°.

Tabel 9. Hasil Analisis Kestabilan Lereng Timbunan

Geometri		MAT 5		MAT 3	
Tinggi (m)	Sudut (°)	FK (Statis)	FK (Dinamis)	FK (Statis)	FK (Dinamis)
10	19	3,891	2,761	4,105	2,912
	21	3,618	2,640	3,820	2,784
	23	3,424	2,522	3,625	2,666
20	19	2,241	1,640	2,442	1,781
	21	2,089	1,557	2,282	1,691
	23	1,965	1,479	2,137	1,601
30	19	1,691	1,255	1,865	1,375
	21	1,578	1,187	1,752	1,311
	23	1,480	1,131	1,647	1,252
40	19	1,416	1,062	1,602	1,190
	21	1,317	1,002	1,474	1,115
	23	1,227	0,951	1,382	1,061
50	19	1,249	0,947	1,407	1,057
	21	1,159	0,891	1,306	0,997
	23	1,074	0,838	1,261	0,973

 Rekomendasi

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, batuan penyusun lereng di lokasi penelitian terdiri dari litologi sandstone, siltstone, claystone, carbonaceous claystone, dan coal. Analisis kestabilan lereng tunggal menunjukkan bahwa geometri yang direkomendasikan untuk tinggi 5-meter adalah sudut 60° untuk semua litologi. Untuk tinggi 8 meter, sudut yang direkomendasikan adalah 55° untuk sandstone dan 60° untuk litologi lainnya. Pada tinggi 10 meter, sudut yang disarankan adalah 45° untuk siltstone dan claystone, serta 60° untuk carbonaceous claystone dan coal. Sementara itu, untuk soil, rekomendasi geometri adalah tinggi 3 meter dengan kemiringan 60° . Hasil analisis kestabilan lereng keseluruhan merekomendasikan geometri high wall pit Selatan dengan sudut 43° pada elevasi 25 mdpl, 35° pada elevasi 0 mdpl, dan 33° pada elevasi -25 mdpl. Untuk low wall, sudut yang direkomendasikan adalah 45° pada elevasi 25 mdpl, 35° pada elevasi 0 mdpl, dan 33° pada elevasi -25 mdpl. Di pit Utara, geometri high wall direkomendasikan dengan sudut 44° pada elevasi -3 mdpl, 28° pada elevasi -30 mdpl, dan 24° pada elevasi -50 mdpl. Untuk low wall, sudut yang disarankan adalah 50° pada elevasi 15 mdpl, 32° pada elevasi -20 mdpl, dan 23° pada elevasi -50 mdpl. Analisis kestabilan lereng timbunan menghasilkan rekomendasi geometri dengan tinggi 40 meter dan sudut 21° .

Daftar Pustaka

- [1] Anonim. (2017). Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia. Pusat Studi Gempa Nasional .
- [2] Anonim. (2018). Keputusan Menteri ESDM 1827 K/30/MEM/2018. Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral.
- [3] Arif, I. (2016). Geoteknik Tambang: Mewujudkan Produksi Tambang Yang Berkelanjutan Dengan Menjaga Kestabilan Lereng. Gramedia Pustaka Utama.
- [4] Azis. (2015). Belajar Statistik Dengan SPSS Dan Manual.
- [5] Dimas Gumelar, Zaenal, & Elfida Moralista. (2024). Kajian Pengaruh Geometri Jalan Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Alat Angkut. Jurnal Riset Teknik Pertambangan, 31–40. <https://doi.org/10.29313/Jrtp.V4i1.3817>
- [6] Djarwadi, D. (2012). Pengantar Geoteknik. PT Pamapersada Nusantara.
- [7] Erlan Adiya Jamil, Indra Karna Wijaksana, & Zaenal. (2024). Kajian Geometri Dan Daya Dukung Perkerasan Jalan Pada Pengangkutan Batubara. Jurnal Riset Teknik Pertambangan, 73–82. <https://doi.org/10.29313/Jrtp.V4i1.3894>
- [8] Hariyadi, S., Program, M. T., Pertambangan, S. T., Teknik, F., Kartanegara, K., & Timur, K. (2018). Analisis Geoteknik Pada IUP PT Globalindo Inti Energi Di Kecamatan Loa Janan Dan Kecamatan Muara Jawa Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. In JGP.
- [9] Hasibuan, & Rahmad, J. (2019). Karakteristik Stabilitas Lereng High-Wall Tambang Batubara PT XYZ Di Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan. Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung.
- [10] Hediando, Enni Tri Mahyuni, Tri Utomo Taliding, & Agil Syahrul Ramadhan. (2024). Analisis Match Factor Pada Kegiatan Pemindahan Overburden Di PT. Ceria Nugraha Indotama. Jurnal Riset Teknik Pertambangan, 1–8. <https://doi.org/10.29313/Jrtp.V4i1.3287>
- [11] Hoek, E., & Bray, J. (1995). Rock Slope Engineering. The Institution Mining And Metallurgy.
- [12] Iswandar. (2022). Modul Praktikum Mekanika Batuan.
- [13] Rai, M. A., Kramadibrata, S., & Wattimena, R. K. (2014). Mekanika Batuan. Institut Teknologi Bandung.
- [14] Rana Antariksa D, Yuliadi, & Zaenal. (2021). Rancangan Geometri Rencana Lereng Akhir Waste Dump Terhadap Displacement Batuan Dasar Area Waste Dump PT X Kecamatan Palimanan, Kabupaten Cirebon, Provinsi Jawa Barat. Jurnal Riset Teknik Pertambangan, 1(1), 22–29. <https://doi.org/10.29313/Jrtp.V1i1.29>
- [15] Reza Alfikri, Dudi Nasrudin Usman, & Rully Nurhasan Ramadhani. (2024). Rencana Teknis Dan Biaya Reklamasi Periode Kedua Tambang Batuan Andesit. Jurnal Riset Teknik Pertambangan, 65–72. <https://doi.org/10.29313/Jrtp.V4i1.3884>

- [16] Rizky Noor Fitriadi, Iswandaru, & Elfida Moralista. (2024). Pengaruh Geometri Jalan Terhadap Produktivitas Alat Angkut. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 41–48. <https://doi.org/10.29313/Jrtp.V4i1.3821>
- [17] Saputra, & Qobul, M. (2020). Stabilitas Lereng Tambang Terbuka Batubara Disertai Probabilitas Pada Highwall PT XYZ Di Provinsi Sumatera Selatan. Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung.
- [18] Shoffan Shofa Hamdan Nurullah, Dono Guntoro, & Indra Karna Wijaksana. (2024). Pengaruh Geometri Jalan Terhadap Produktivitas Batubara Di Pit 2 Banko. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 83–92. <https://doi.org/10.29313/Jrtp.V4i1.3897>
- [19] Supriatna. (1995). Peta Geologi Lembar Samarinda. Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi.
- [20] Wyllie, D. C., & Mah, C. (2017). *Rock Slope Engineering Civil And Mining* (4th Edition).
- [21] Yuliadi. (2021). *Geoteknik Tambang*. UPT Publikasi Ilmiah Unisba.
- [22] Z.T. Bieniawski. (1984). *Rock Mechanics Design In Mining And Tunneling*.