

RANCANGAN LERENG TAMBANG BATU BARA TERBUKA DENGAN METODE PROBABILISTIK

Frans Rezal¹⁾, Muhamad Yusa²⁾, Gunawan Wibisono²⁾

1)Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

2)Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email : frans.rezal6100@student.unri.ac.id

ABSTRAK

Coal was a fossil fuel. The general sense was a combustible sedimentary rock, formed from the deposition of organic matter, primarily the remains of plants and were formed through the process of coalification. One of the coal deposits was in Bangko Tengah Suban Jeriji, Muara Enim Regency, South Sumatra Province. This research examines the design of the mine pit geometry by taking into account safety and economic factors with probabilistic methods. The geometry of mining that was used in this design include high levels of 18 meters and a width of berm 29 meters. The result of analysis show slopes for the single slope 1:0.50 for overburden, interburden, and underburden, 1:0.75 for seam D, and 1:1.00 for seam E. The overall slope have a depth of 200 meters with an angle of 27° for Highwall and 12° for Lowwall. The Safety factor obtained in this design are 2.101 with PoF 0% for Highwall and 3.575 with PoF 0% for Lowwall. There are 4 inter-ramp on this design with safety factor 1.260, 1.569, 3.495, and 3.455. All of inter-ramp have PoF 0%. The value of the stripping ratio of this design is 12.812.

Keyword: Single Slope, Overall slope, FK, PoF.

PENDAHULUAN

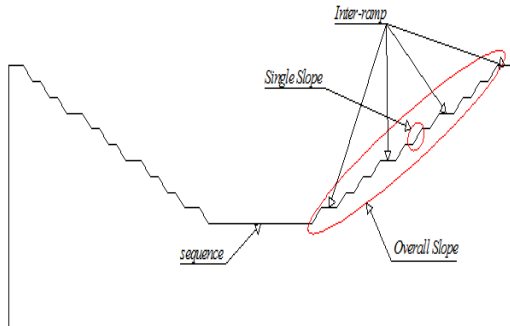
Latar Belakang

Batu bara adalah salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Batu bara berada di bawah permukaan tanah, maka dalam pengambilan batu bara diperlukan penambangan. Jenis-jenis pertambangan secara umum terbagi menjadi tiga, yaitu tambang terbuka (*surface mining*), tambang bawah tanah (*underground mining*), dan tambang bawah air (*underwater mining*). Pada tambang terbuka terdapat beberapa metode pelaksanaan, yaitu: *open pit*, *quarry*, *strip mine*, dan *alluvial mine*. Metode *open pit* biasanya diterapkan untuk menambang endapan-endapan bijih, menggunakan siklus operasi penambangan konvensional, yaitu:

pemecahan batuan dengan pemboran dan peledakan, penanganan material galian, pemuatan, dan pengangkutan. Metode *open pit* membutuhkan perancangan lereng-lereng yang memperhatikan analisis stabilitas faktor keamanan (FK) dan faktor kegagalan (*probability of failure/PoF*).

Perancangan yang dilakukan dapat berupa rancangan (*design*) *pit* yang terdiri dari lereng tunggal setiap lapisan (*single slope*), jalan truk untuk mengangkut material galian (*inter-ramp*), dan lereng keseluruhan (*overall slope*) untuk jangka waktu tertentu secara aman dan menguntungkan. Rancangan *pit* ini akan memberikan gambaran mengenai bentuk akhir tambang untuk jangka waktu tertentu berdasarkan penyebaran batubara. *Design pit* menjadi dasar dalam menentukan urutan penambangan (*sequence*). Tujuan dari pembuatan *sequence* untuk mengetahui batasan dari

penambangan batubara agar kegiatan penambangan dapat terkendali dan target produksi dapat tercapai (Hustrulid, 2013). Bagian-bagian *pit* dapat dilihat pada Gambar 1



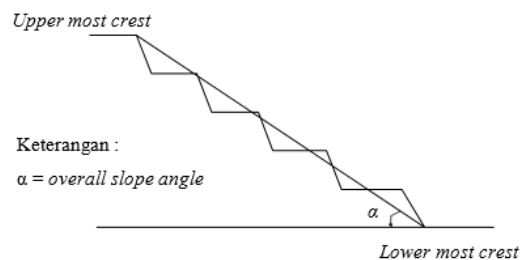
Gambar 1 Bagian – Bagian *Pit* Tambang Batu Bara

Data-data yang digunakan sebagai dasar untuk perancangan adalah data sekunder yang diperoleh dari PT Bukit Asam (Persero) Tbk. Data-data tersebut berupa peta letak titik bor batuan, gambar penampang, stratigrafi batuan, dan data hasil lab sampel batuan. Data-data tersebut digunakan dalam perancangan desain tambang sementara dalam pemenuhan penyediaan bahan bakar PLTU di Sumatera Selatan. Rancangan *pit* dibuat menggunakan metode probabilistik untuk setiap segmen yang dianalisis karena adanya variasi data parameter dari sampel batuan. Standar pada rancangan lereng mengacu pada Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 Tahun 2018 mengenai probabilitas kegagalan (*probability of failure*) yang diizinkan pada setiap segmen baik itu *single slope*, *inter-ramp*, dan *overall slope*. PoF adalah jumlah banyak nilai FK yang didapat dari banyak percobaan variasi data sampel batuan yang memiliki nilai FK kurang dari 1. Pada faktor keamanan untuk rancangan lereng mengacu juga pada SNI-8460-2017 dengan FK minimum sebesar 1,3. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis terhadap rancangan lereng batu bara terbuka dengan metode Probabilistik.

TINJAUAN PUSTAKA

Geometri Lereng

Lereng merupakan permukaan tanah atau batuan terbuka yang memiliki ketinggian dan membentuk kemiringan dengan bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami maupun buatan manusia. Pada penambangan lereng dapat dibagi menjadi beberapa jenis yaitu lereng tunggal, lereng *inter-ramp* dan lereng keseluruhan (Nuryanto, 2017). Lereng tunggal (*single slope*) merupakan lereng yang dibentuk oleh satu jenjang atau terbentuk oleh *crest* dan *toe*. Lereng keseluruhan (*overall slope*) merupakan lereng yang dibentuk oleh keseluruhan jenjang yang dapat dilihat pada Gambar 2 Kemiringan ini diukur dari *crest* paling atas sampai dengan *toe* paling akhir dari *front* penambangan. Kemiringan lereng sangat dipengaruhi oleh karakteristik batuan dan kegiatan peledakan (Hustrulid, 2013).



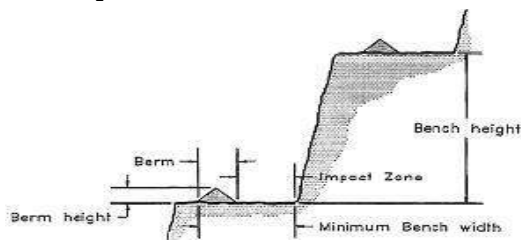
Gambar 2 Overall Slope Angel

Sumber : Hustrulid, 2013

Safety Bench

Safety bench dapat disebut juga jenjang penangkap (*catch bench*) dan dapat merujuk pada *berm*. Fungsi dari *safety bench* atau *berm* ini adalah untuk mengumpulkan material tanah yang jatuh dari *bench* di atasnya dan menahanya agar tidak terjadi longsoran yang fatal (Hustrulid, 2013). Sebagai tambahan pada jenjang penangkap, tumpukan material bongkahan (*berm*) biasanya sering terdapat di sepanjang *crest*. Terdapatnya tumpukan tersebut maka akan terbentuk suatu saluran antara tumpukan dan kaki lereng (*toe*) untuk

menangkap batuan yang jatuh. *Impact zone* merupakan area yang terkena dampak dari jatuhnya material (Hustrulid, 2013) yang dapat dilihat pada Gambar 3. Semakin tinggi *bench* maka semakin lebar *catch bench* yang diperlukan. Rekomendasi dimensi *catch bench* dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2 *Catch Bench*
Sumber : Hustrulid, 2013

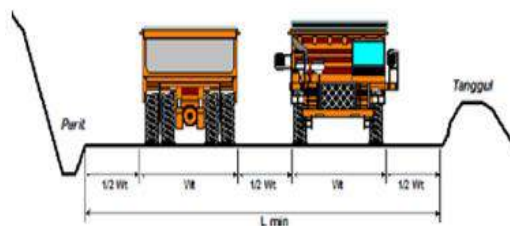
Tabel 1 Rekomendasi Dimensi *Catch Bench*

<i>Bench Height</i>	<i>Impact Zone</i>	<i>Berm Height</i>	<i>Berm Width</i>	<i>Minimum Bench Width</i>
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
15	3,5	1,5	4	7,5
30	4,5	2	5,5	10
45	5	3	8	13

Sumber : Hustrulid, 2013

Geometri Jalur Angkut

Geometri jalan angkut sangat berpengaruh terhadap kelancaran kegiatan penambangan. Geometri jalan angkut tambang perlu disesuaikan dengan ukuran serta spesifikasi alat angkut yang dioperasikan. Pembuatan jalan angkut diperlukan untuk transportasi dalam pengangkutan peralatan ataupun pengangkutan batubara dan *overburden* agar proses penambangan berjalan dengan lancar (Saputra, 2013). Penentuan lebar jalan angkut minimum untuk jalan lurus sebagaimana pada Gambar 3.



Gambar 3 Jalur Angkut
Sumber : Caterpillar, 2012

Perhitungan lebar jalan angkut minimum tambang (L) dapat menggunakan rumus berikut ini, dengan n merupakan jumlah lajur rencana dan Wt adalah lebar truk yang akan digunakan untuk mengangkut hasil galian.

$$L = n \cdot Wt + (n + 1) (0,5 \cdot Wt) \quad (1)$$

Stripping Ratio

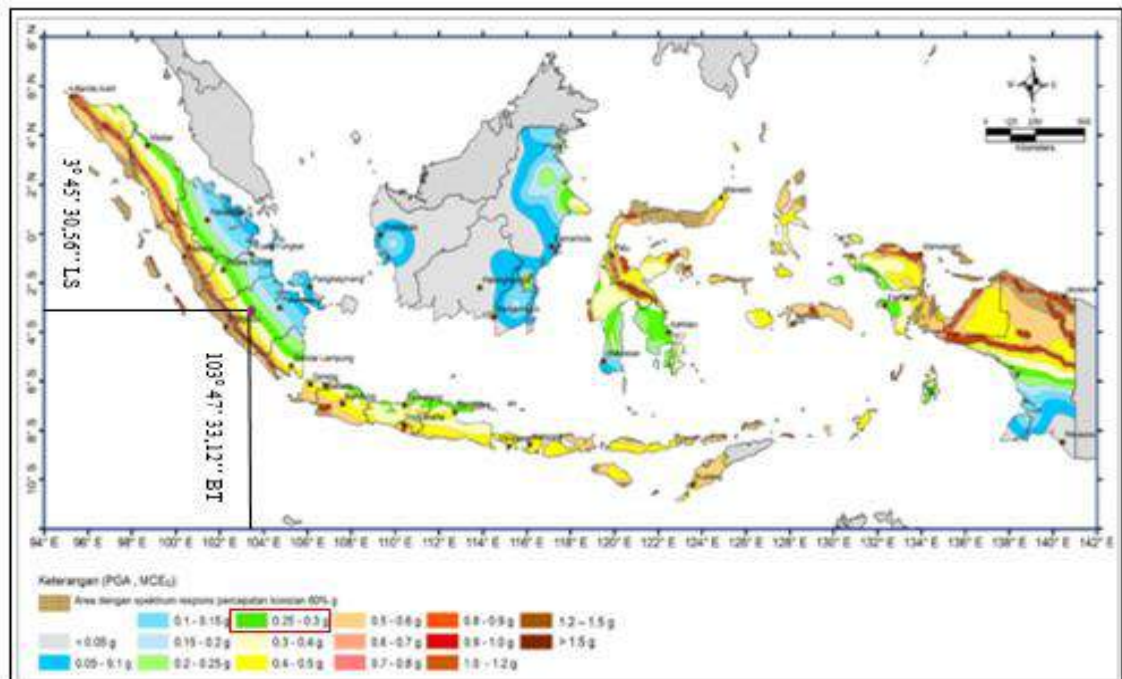
Nisbah pengupasan atau *stripping ratio* adalah perbandingan antara volume lapisan tanah penutup yang akan digali dengan jumlah tonase batubara yang akan diambil. *Stripping ratio* merupakan salah satu faktor yang sangat menentukan ekonomis tidaknya pengambilan suatu cadangan batubara. Semakin besar nilai *stripping ratio*, berarti semakin banyak *overburden* yang harus digali untuk mengambil batubara, sehingga *cost* atau biaya yang diperlukan juga semakin besar (Thompson, 2005). Berikut rumus perhitungan *stripping ratio*.

$$\text{Stripping Ratio} = \frac{\text{Tanah Penutup (bcm)}}{\text{Batu Bara (ton)}} \quad (2)$$

BCM adalah singkatan *Bank Cubic Meter* yang menandakan besar volume tanah dalam kondisi asli atau tak terganggu.

Data Gempa

Data gempa yang digunakan adalah gaya seismik. Data seismik diambil dari buku Peta Gempa (SNI-1726-2019) dan (Buku Peta Gempa, 2017). Gaya seismik adalah rambatan energi yang disebabkan oleh adanya gangguan pada kerak bumi, misalnya adanya patahan atau adanya ledakan. Besaran gaya seismik yang terjadi di setiap daerah memiliki nilai yang berbeda-beda tergantung dari seberapa kuat gangguan akibat dari pergerakan dari kerak bumi. Nilai PGA gempa maksimum di lokasi penelitian adalah 0,25 g sampai dengan 0,3 g sebagaimana pada Gambar 4.



Gambar 4 Nilai PGA Gempa Maksimum di Wilayah Indonesia
Sumber : Buku Peta Gempa, 2017

Kelas situs yang digunakan adalah kelas situs SB (batuan). Berdasarkan kelas situs tersebut dapat diperoleh nilai F_{PGA} .

Tabel 2 Nilai F_{PGA} Berdasarkan Kelas Situs

Kelas	PGA					
	≤0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1
SE	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1

Sumber : SNI-1726-2019

Berdasarkan Tabel 2 dengan kelas situs SB (batuan) didapat F_{PGA} dengan nilai PGA = 0,3 adalah 0,9. Sehingga, nilai percepatan tanah puncak berdasarkan kelas situs dapat dihitung berdasarkan Rumus di bawah ini:

$$PGA_M = PGA \times F_{PGA} \quad (3)$$

Dimana:

PGA_M = Nilai percepatan tanah puncak berdasarkan kelas situs

PGA = Percepatan tanah puncak terpetakan

F_{PGA} = Koefisien berdasarkan

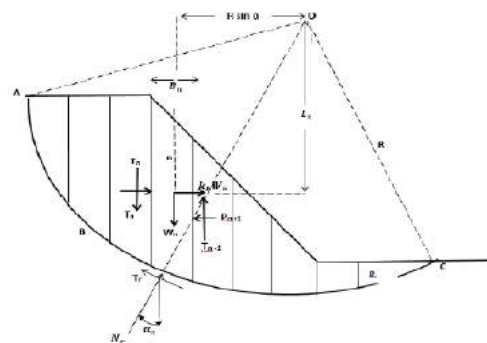
Perhitungan Angka Keamanan

Analisis dari kemantapan lereng tambang batubara terbuka dari penelitian

ini dibantu dengan menggunakan aplikasi *Geoslope* 2018 (*Slope/W*) dengan memakai metode analisis *bishop* dan model analisis material batuan dengan menggunakan *Mohr-coloumb*. Faktor Keamanan (FK), yang merupakan perbandingan antara gaya – gaya yang menahan, terhadap gaya – gaya yang menggerakkan tanah/batuan tersebut dan diformulasikan menjadi:

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \quad (2)$$

Gaya-gaya yang bekerja pada metode Bishop dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Gaya yang Bekerja Pada Setiap Irisan Metode Bishop
Sumber : *Geoslope*, 2008

Berikut rumus untuk mengalisis FK menggunakan metode Bishop.

$$FK = \frac{\sum_{n=1}^p (c.B_n \sec a + W_n \cos a_n \tan \varphi)}{\sum_{n=1}^p [W_n \sin a_n + Kh W_n (\frac{L_n}{R})]} \quad (4)$$

Dimana :

FK = Angka keamanan;

Kh = Koefisien gempa horizontal;

W = Luas tiap irisan;

c = Kohesi;

R = Jari-jari longsor;

h = Tinggi rata-rata irisan;

b = Lebar irisan;

x = Jarak horizontal dari pusat massa irisan terhadap pusat momen;

α = Kemiringan lereng;

Nilai Kh pada rumus di atas diperoleh dengan menggunakan rumus berikut:

$$Kh = 0,5 \left(\frac{a_d}{g} \right) \quad (5)$$

Dimana:

Kh = Koefisien seismik horizontal

a_d = Percepatan seismik

g = Gravitasi (9,81 m/s²)

Persyaratan Perancangan Geoteknik (SNI-8460-2017) merekomendasikan angka keamanan lereng batuan:

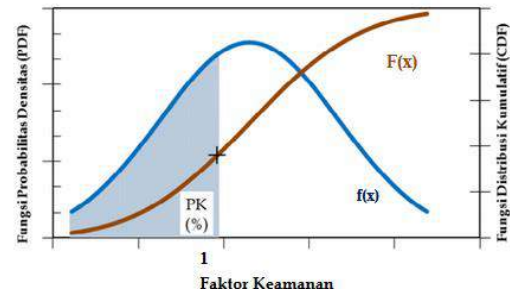
1. $FK \geq 1,5$: lereng batuan dengan kondisi permanen
2. $FK \geq 1,3$: lereng batuan dengan kondisi sementara

Sehingga, angka keamanan minimum yang digunakan adalah 1,3 karena lereng bersifat sementara.

Probabilitas Lereng Tambang

Distribusi Faktor Keamanan (FK) dideskripsikan dalam bentuk kurva fungsi densitas probabilitas (PDF, *Probability Density Function*) dan/atau fungsi distribusi kumulatif (CDF, *Cumulative Distribution Function*) yang dapat dilihat pada Gambar 6. Luas kurva yang diarsir merupakan area dengan nilai FK di bawah 1. Probabilitas Kelongsoran (PK) lereng ditentukan dari perbandingan antara luas area di bawah kurva dari distribusi nilai $FK < 1$ terhadap distribusi nilai FK 1 (Hoek, 1987). Untuk

kriteria kemampooterimaan kestabilan lereng menggunakan *acceptance criteria* dari Wesseloo and Read (2009) yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Konsep Probabilitas Kelongsoran
Sumber : Azizi, 2014

Tabel 3 Nilai FK dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (Consequences 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 $\leq$ 1)
Lereng Tunggal	Rendah s.d. Tinggi	1,1	Tidak ada	25 - 50%
	Rendah	1,15 - 1,2	1,0	25%
	Menengah	1,2 - 1,3	1,0	20%
Lereng Keseluruhan	Tinggi	1,2 - 1,3	1,1	10%
	Rendah	1,2 - 1,3	1,0	15 - 20%
	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3 - 1,5	1,1	5%

Sumber : Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827, 2018

Pada Tabel 3 terdapat beberapa jenis standar tingkat keamanan yang disesuaikan dengan jenis lereng tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi probabilitas pada penyebaran data penelitian ini adalah sebagai berikut:

Distribusi normal dengan rumus,

$$f(x) = \frac{e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (6)$$

Varian dan standart deviasi,

$$s^2 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)} \quad (7)$$

$$s = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}} \quad (8)$$

Dimana:

s = standar deviasi (simpangan baku)

s^2 = varian

x_i = nilai x ke-i

$\bar{x}$ = rata-rata

n = jumlah sampel

Koefisien kolerasi

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2}} \quad (9)$$

Dimana:

r = koefisien kolerasi

X_i = nilai X ke-I

Y_i = nilai Y ke-i

X = nilai kohesi

Y = nilai sudut geser

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di area Pertambangan Bangko Tengah Suban Jeriji, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan dengan pelaksana tambang yaitu PT Bukit Asam (Persero) Tbk. Secara Geografis Pertambangan PT Bukit Asam Tbk, terletak pada $3^{\circ} 45' 30,56''$ LS dan $103^{\circ} 47' 33,12''$ bujur timur dengan luas pertambangan berdasarkan IUP adalah 14.987 Ha pada tahun 2019. Lokasi pertambangan ini berjarak ± 200 kilometer dari Kota Palembang, jika menggunakan transportasi darat. Berikut Gambar 7 merupakan lokasi perencanaan lereng tambang .

Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan untuk analisis kemandapan lereng ini adalah sifat mekanik batuan yaitu berat jenis batuan, sudut geser dan kohesi. Data lain yang digunakan pada penelitian ini adalah data gempa yang diperoleh dari SNI.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian terdiri dari beberapa tahap, sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur berupa pembelajaran mengenai hal-hal analisis yang berkaitan dengan analisis stabilisasi lereng dan probabilitas kelongsoran lereng.

2. Pengumpulan Data

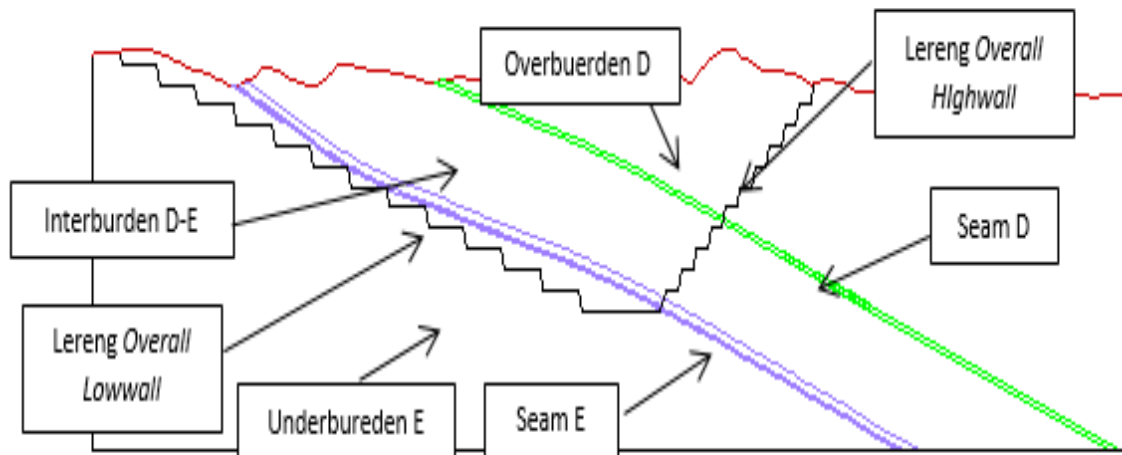
Data batuan yang diperoleh PT Bukit Asam (Persero) Tbk kemudian digolongkan sesuai kebutuhan analisis lereng berdasarkan kedudukan batu bara.

3. Layout Penampang

Layout penampang merupakan gambar tampak samping dari lapisan batuan yang dibagi menjadi beberapa lapisan, yaitu lapisan *overburden*, *seam D*, *interburden D-E*, *Seam E*, dan *underburden E*. Layout penampang dapat dilihat pada Gambar 8.



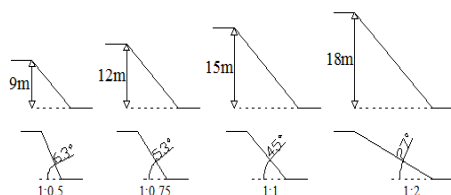
Gambar 7 Lokasi Penelitian Ditinjau dari Peta Sumatera Selatan



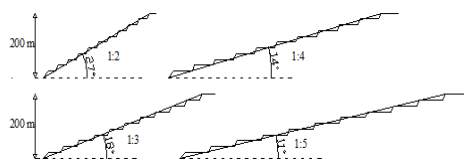
Gambar 8 Layout Penampang

4. Pemodelan Lereng

Pembuatan model geometri lereng tunggal dibuat tiap-tiap perlapisan dengan 4 model tinggi, yaitu: 9, 12, 15, dan 18 meter dengan kemiringan lereng berdasarkan rasio tinggi jejang terhadap lebar jenjang, yaitu; 1:2 (26°), 1:1 (45°), 1:0,75 (53°) dan 1:0,5 (63°). Variasi sudut *overall slope* yaitu: 1:2 (27°), 1:3 (19°), 1:4 (14°), dan 1:5 (12°) dengan kedalaman lereng keseluruhan yaitu 200 meter. Bentuk variasi pemodelan *single slope* dan *overall slope* dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9 Pemodelan *single slope*



Gambar 10 Pemodelan *single slope*

5. Input Data

Data yang di-input pada Geoslope 2018 dapat dilihat pada Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7

Tabel 4 Data Parameter Input Overburden D

Stratigrafi	Statistik	Berat Isi	Kohesi	Angle of Internal Friction
		γ_{sat} kN/m ³	(Cp) kPa	(ϕ p) Deg
Overburden D	Min	17,51	42,93	23,38
	Maks	21,25	120,90	74,45
	Rerata	18,99	83,17	39,89
	Median	18,33	86,86	29,73
	Std Dev	1,371	24,021	20,572

Koefisien kolerasi *C-phi* pada lapisan *overburden D* adalah -0,432

Tabel 5 Data Parameter Input Seam D dan Seam E

Stratigrafi	Statistik	Berat Isi	Kohesi	Angle of Internal Friction
		γ_{sat} kN/m ³	(C) kPa	(ϕ) Deg
Seam D	Min	8,32	-	-
	Maks	8,46	-	-
	Rerata	8,39	85,60	22,41
	Median	8,39	-	-
	Std Dev	0,099	-	-
Seam E	Min	8,58	-	-
	Maks	12,68	-	-
	Rerata	9,57	62,11	28,21
	Median	9,12	-	-
	Std Dev	1,398	-	-

Tabel 6 Data Parameter Input Interburden D-E

Stratigrafi	Statistik	Berat Isi	Kohesi	Angle of Internal Friction
		γ_{sat} kN/m ³	(Cp) kPa	(ϕ p) Deg
Interburden D-E	Min	15,72	24,76	15,10
	Maks	22,14	239,89	30,60
	Rerata	20,33	70,98	22,78
	Median	20,85	62,59	23,27
	Std Dev	1,635	46,059	5,165

Koefisien kolerasi $C\text{-}\phi$ pada lapisan *interburden* D-E adalah 0,501

Tabel 7 Data Parameter Input Underburden E

Stratigrafi	Statistik	Berat Isi	Kohesi	Angle of Internal Friction
		γ_{sat}	(C_p)	(ϕ_p)
		kN/m^3	kPa	Deg
Underburden E	Min	18,22	32,35	16,04
	Maks	22,47	125,18	30,43
	Rerata	20,82	70,31	24,37
	Median	21,51	56,51	24,50
	Std Dev	1,482	34,938	4,994

Koefisien kolerasi $C\text{-}\phi$ pada lapisan *interburden* D-E adalah 0,268

6. Simulasi dan Analisis Lereng
Simulasi dan analisis lereng pada penelitian ini menggunakan aplikasi *Geoslope 2018 (Slope/W)*. Simulasi dilakukan dengan menerapkan skema pada setiap lereng tunggal sebanyak 50 sampel, *inter-ramp* sebanyak 100 sampel, dan lereng keseluruhan sebanyak 100 sampel.
7. Verifikasi Faktor Keamanan (FK) dan Probabilitas Kelongsoran (PK)
Verifikasi ini bertujuan untuk mengetahui apakah lereng tersebut aman atau tidak, dengan FK untuk lereng tunggal adalah $\geq 1,3$ dengan $PK \leq 10\%$, FK lereng *inter-ramp* $\geq 1,3$ dengan $PK \leq 10\%$, dan lereng keseluruhan adalah $FK \geq 1,3$ dengan $PK \leq 10\%$.
8. Perhitungan *Stripping Ratio*
Perhitungan *stripping ratio* dilakukan untuk melihat faktor ekonomis atau tidaknya dilakukan penambangan batu bara. Nilai *stripping ratio* yang biasa digunakan berkisar 5 – 10.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis yang didapatkan berupa nilai faktor keamanan, probabilitas, dan nilai *stripping ratio*.

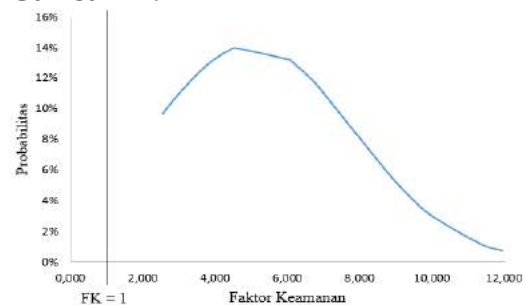
Lapisan Overburden D

Lapisan *overburden* D merupakan semua lapisan tanah atau batuan yang posisinya berada di atas batubara D. Hasil analisis *overburden* D dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 FK dan PK *Single Slope Overburden* D

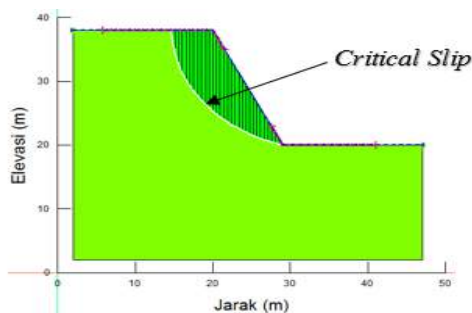
Lapisan Overburden D						
Geometri		Standar	FK			Probability of Failure
Tinggi (m)	Rasio	Deviasi	Rerata	Maks	Min	
9	1 : 0,50	3,665	7,230	16,170	4,014	0%
9	1 : 0,75	4,724	8,954	20,464	4,830	0%
9	1 : 1,00	6,293	11,150	26,500	5,690	0%
9	1 : 2,00	11,358	18,149	45,91	11,358	0%
12	1 : 0,50	3,324	6,220	14,355	3,322	0%
12	1 : 0,75	4,564	8,060	19,217	4,094	0%
12	1 : 1,00	5,981	10,047	24,671	4,859	0%
12	1 : 2,00	10,628	16,445	42,461	7,251	0%
15	1 : 0,50	3,707	5,553	13,100	2,869	0%
15	1 : 0,75	4,346	7,392	18,037	3,613	0%
15	1 : 1,00	5,696	9,268	23,215	4,328	0%
15	1 : 2,00	10,095	15,301	40,034	6,572	0%
18	1 : 0,50	2,826	5,002	11,948	2,533	0%
18	1 : 0,75	4,223	6,957	17,315	3,287	0%
18	1 : 1,00	5,409	8,632	21,890	3,940	0%
18	1 : 2,00	9,785	14,578	38,569	6,118	0%

Perencanaan *single slope* untuk *overburden* D menggunakan tinggi lereng 18 meter dengan rasio 1:0,50 (63°). FK minimum sebesar 2,533 dan probabilitas kegagalan sebesar 0% yang terjadi pada *critical slip* dan telah memenuhi syarat keamanan minimum berdasarkan Keputusan Menteri ESDM No. 1827 Tahun 2018, yaitu dengan faktor keamanan $< 1,1$ dan probabilitas kegagalan 20% - 50%. Grafik distribusi FK *overburden* D dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Distribusi FK *Overburden* D

Hasil simulasi *single slope overburden* D pada *Geoslope 2018* dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Simulasi Single Slope Overburden D

Lapisan Seam D dan Seam E

Lapisan *seam* D dan *seam* E merupakan lapisan batu bara. Hasil analisis *seam* D dan *seam* E dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9 FK dan PK Single Slope Seam D

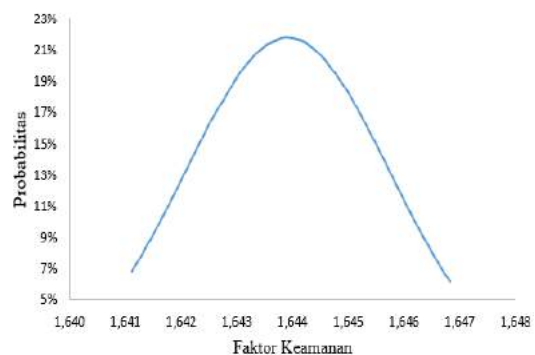
Lapisan Seam D						
Geometri		Standar	FK			Probability
Tinggi (m)	Rasio	Deviasi	Rerata	Maks	Min	of Failure
9	1 : 0,50	0,005	2,752	2,760	2,744	0%
9	1 : 0,75	0,006	3,077	3,086	3,068	0%
9	1 : 1,00	0,006	3,308	3,317	3,300	0%
9	1 : 2,00	0,005	3,797	3,805	3,790	0%
12	1 : 0,50	0,003	2,090	2,096	2,085	0%
12	1 : 0,75	0,004	2,364	2,370	2,359	0%
12	1 : 1,00	0,004	2,562	2,568	2,556	0%
12	1 : 2,00	0,003	3,032	3,037	3,028	0%
15	1 : 0,50	0,003	1,667	1,671	1,663	0%
15	1 : 0,75	0,003	1,914	1,946	1,938	0%
15	1 : 1,00	0,003	2,119	2,124	2,116	0%
15	1 : 2,00	0,002	2,594	2,597	2,591	0%
18	1 : 0,50	0,002	1,386	1,389	1,384	0%
18	1 : 0,75	0,002	1,644	1,647	1,641	0%
18	1 : 1,00	0,002	1,823	1,826	1,820	0%
18	1 : 2,00	0,001	2,295	2,296	2,293	0%

Tabel 10 FK dan PK Single Slope Seam E

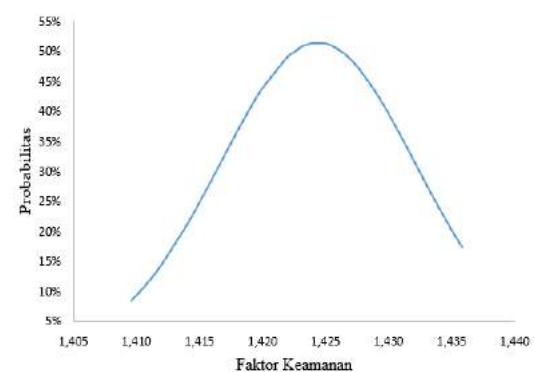
Lapisan Seam E						
Geometri		Standar	FK			Probability
Tinggi (m)	Rasio	Deviasi	Rerata	Maks	Min	of Failure
9	1 : 0,50	0,052	1,821	1,898	1,721	0%
9	1 : 0,75	0,054	2,132	2,213	2,029	0%
9	1 : 1,00	0,059	2,469	2,557	2,357	0%
9	1 : 2,00	0,037	3,007	3,062	2,936	0%
12	1 : 0,50	0,031	1,388	1,433	1,329	0%
12	1 : 0,75	0,031	1,695	1,636	1,742	0%
12	1 : 1,00	0,031	1,900	1,945	1,842	0%
12	1 : 2,00	0,014	2,499	2,519	2,473	0%
15	1 : 0,50	0,018	1,149	1,175	1,115	0%
15	1 : 0,75	0,018	1,407	1,433	1,373	0%
15	1 : 1,00	0,017	1,617	1,642	1,585	0%
15	1 : 2,00	0,001	2,201	2,203	2,200	0%
18	1 : 0,50	0,009	0,990	1,004	0,972	86%
18	1 : 0,75	0,010	1,225	1,239	1,206	0%
18	1 : 1,00	0,008	1,424	1,436	1,410	0%
18	1 : 2,00	0,009	1,988	2,006	1,974	0%

Perencanaan *single slope* untuk *seam* D menggunakan tinggi lereng 18 meter dengan rasio 1:0,75 (53°). FK minimum sebesar 1,641 dengan probabilitas kegagalan sebesar 0% yang terjadi pada *critical slip* untuk perencanaan *single slope seam* D. Perencanaan *single slope* untuk *seam* E menggunakan tinggi lereng 18 meter dengan rasio 1:1,00(45°). FK minimum sebesar 1,410 dengan probabilitas kegagalan sebesar 0% yang terjadi pada *critical slip* untuk perencanaan *single slope seam* E.

Kedua *single slope* tersebut telah memenuhi syarat keamanan minimum berdasarkan Keputusan Menteri ESDM No. 1827 Tahun 2018, yaitu dengan faktor keamanan < 1,1 dan probabilitas kegagalan 20% - 50%. Grafik distribusi FK *seam* D dan *seam* E dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14.

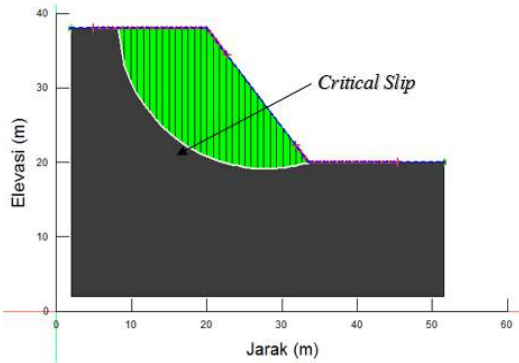


Gambar 13 Distribusi FK Seam D



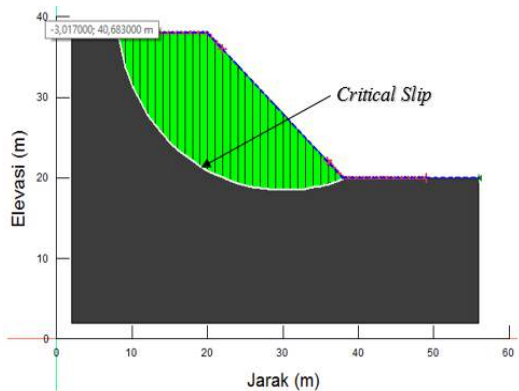
Gambar 14 Distribusi FK Seam E

Gambar hasil simulasi *single slope seam* D pada *Geoslope 2018* dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15 Simulasi Single Slope Seam D

Gambar hasil simulasi *single slope seam E* pada *Geoslope 2018* dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16 Simulasi Single Slope Seam E

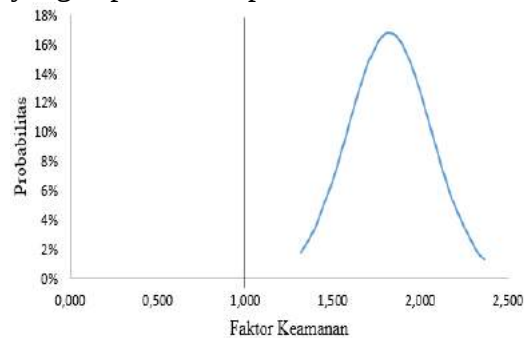
Lapisan Interburden D-E

Lapisan *interburden D-E* adalah semua lapisan tanah atau batuan yang posisinya berada di antara batu bara D dan batu bara E. Hasil analisis *interburden D* dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11 FK dan PK Single Slope Interburden D-E

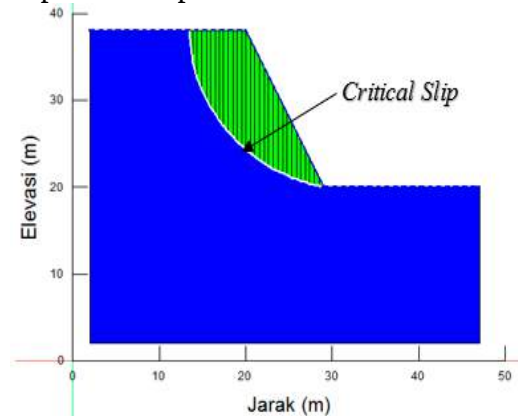
Lapisan Interburden D-E						
Geometri		Standar	FK			Probability of Failure
Tinggi (m)	Rasio	Deviasi	Rerata	Maks	Min	
9	1 : 0,50	0,409	3,034	3,981	2,159	0%
9	1 : 0,75	0,505	3,805	4,944	2,735	0%
9	1 : 1,00	0,527	3,971	5,160	2,855	0%
9	1 : 2,00	0,694	5,367	6,865	3,927	0%
12	1 : 0,50	0,324	2,438	3,183	1,745	0%
12	1 : 0,75	0,525	3,685	4,820	2,380	0%
12	1 : 1,00	0,429	3,283	4,237	2,635	0%
12	1 : 2,00	0,594	4,640	5,884	3,430	0%
15	1 : 0,50	0,273	2,083	2,707	1,501	0%
15	1 : 0,75	0,325	2,496	3,222	1,810	0%
15	1 : 1,00	0,372	2,875	3,691	2,098	0%
15	1 : 2,00	0,527	4,140	5,225	3,077	0%
18	1 : 0,50	0,238	1,821	2,363	1,314	0%
18	1 : 0,75	0,286	2,204	2,839	1,603	0%
18	1 : 1,00	0,332	2,583	3,301	1,894	0%
18	1 : 2,00	0,481	3,790	4,766	2,829	0%

Perencanaan *single slope interburden D-E* menggunakan tinggi lereng 18 meter dengan rasio 1:0,50 (63^0). FK minimum sebesar 1,314 dan probabilitas kegagalan sebesar 0% yang terjadi pada *critical slip* dan telah memenuhi syarat keamanan minimum berdasarkan Keputusan Menteri ESDM No. 1827 Tahun 2018, yaitu dengan faktor keamanan $< 1,1$ dan probabilitas kegagalan 20% - 50%. Grafik distribusi FK *interburden D-E* yang dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17 Distribusi FK Interburden D-E

Gambar hasil simulasi *single slope interburden D-E* pada *Geoslope 2018* dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18 Simulasi Single Slope Interburden D-E

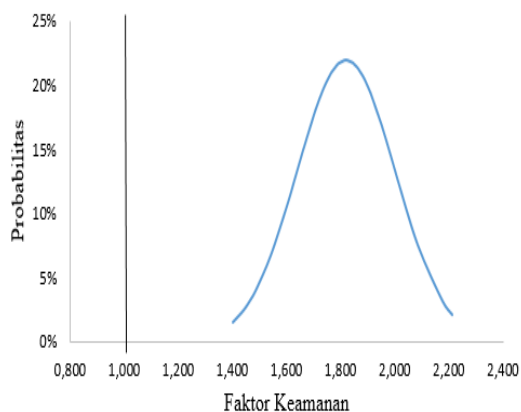
Lapisan Underburden E

Lapisan *underburden E* adalah semua lapisan tanah atau batuan yang posisinya berada di bawah batu bara E. Hasil analisis *underburden E* dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12 FK dan PK *Single Slope Underburden E*

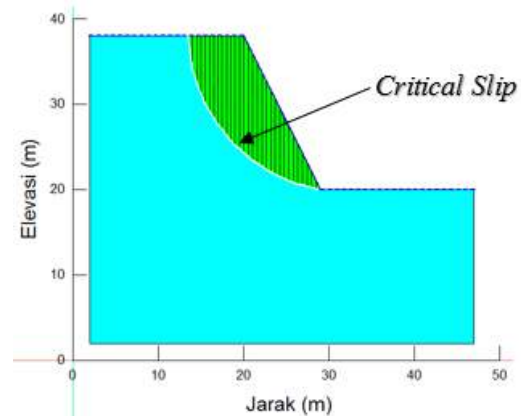
Lapisan <i>Underburden E</i>						
Geometri		Standar	FK			Probability of Failure
Tinggi (m)	Rasio	Deviasi	Rerata	Maks	Min	
9	1 : 0,50	0,298	2,901	3,562	2,217	0%
9	1 : 0,75	0,351	3,459	4,219	2,652	0%
9	1 : 1,00	0,393	3,901	4,745	2,997	0%
9	1 : 2,00	0,553	5,502	6,634	4,262	0%
12	1 : 0,50	0,239	2,371	2,893	1,818	0%
12	1 : 0,75	0,287	2,862	3,479	2,202	0%
12	1 : 1,00	0,327	3,269	3,963	2,519	0%
12	1 : 2,00	0,477	4,718	5,674	3,663	0%
15	1 : 0,50	0,206	2,056	2,502	1,580	0%
15	1 : 0,75	0,245	2,452	2,978	1,889	0%
15	1 : 1,00	0,287	2,872	3,474	2,218	0%
15	1 : 2,00	0,429	4,209	5,054	3,274	0%
18	1 : 0,50	0,181	1,820	2,213	1,401	0%
18	1 : 0,75	0,220	2,208	2,676	1,704	0%
18	1 : 1,00	0,262	2,615	3,157	2,025	0%
18	1 : 2,00	0,399	3,884	4,655	3,026	0%

Perencanaan *single slope underburden E* menggunakan tinggi lereng 18 meter dengan rasio 1:0,50 (63^0). FK minimum sebesar 1,401 dan probabilitas kegagalan sebesar 0% yang terjadi pada *critical slip* dan telah memenuhi syarat keamanan minimum berdasarkan Keputusan Menteri ESDM No. 1827 Tahun 2018, yaitu dengan faktor keamanan $< 1,1$ dan probabilitas kegagalan 20% - 50%. Grafik distribusi FK *underburden E* dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19 Distribusi FK *Underburden E*

Gambar hasil simulasi *single slope underburden E* pada *Geoslope 2018* dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20 Simulasi *Single Slope Underburden E*

Lebar Jalan Angkut

Parameter dalam perhitungan lebar jalan angkut :

1. Lebar dump truk (Wt) = 6 meter
2. Jumlah jalur (n) = 2 jalur

Penentuan lebar jalan angkut dapat dihitung dengan menggunakan ketentuan *The American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 L_{\min} &= n \cdot Wt + (n + 1) (0,5 \cdot Wt) \\
 &= (2 \times 6) + (2 + 1) (0,5 \times 6) \\
 &= 21 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Lebar parit dan tanggul adalah sebesar 2 meter untuk jalur angkut tambang yang bersumber pada evaluasi jalan angkut tambang berdasarkan geometri dan daya dukung pada lapisan tanah dasar. Penambahan lebar parit sebesar 2 meter dinilai cukup untuk mengalirkan air pada jalur tambang. Lebar jalan angkut minimum yang dipakai pada penelitian ini adalah 25 meter.

Stabilisasi *Inter-ramp*

Ramp adalah sebutan untuk jalan tambang yang posisinya berada pada tubuh lereng tambang terbuka dan berfungsi untuk jalur keluar – masuknya unit alat berat ke wilayah penambangan. Terdapat beban kendaraan pada analisis *ramp* sebesar 632 kPa (Saputra, e.l,2019) dengan jenis beban merata pada rancangan ini. Pada rancangan ini terdapat 4 *ramp*.

1. *Ramp 1*
 FK rerata = 1,435
 FK maks. = 1,602
 FK min. = 1,260
 Standar deviasi = 0,074
 Probabilitas kegagalan = 0%
 FK yang diambil yaitu FK minimum yang menandakan kondisi kritis yaitu sebesar 1,260 dengan probabilitas kegagalan 0% dan telah memenuhi syarat Keputusan Menteri ESDM No. 1827 Tahun 2018, yaitu dengan faktor keamanan < 1,1 dan probabilitas kegagalan 10%. *Ramp 1* dengan lebar 29 meter aman untuk digunakan.
2. *Ramp 2*
 FK rerata = 2,082
 FK maks. = 2,631
 FK min. = 1,569
 Standar deviasi = 0,257
 Probabilitas kegagalan = 0%
 FK yang diambil yaitu FK minimum yang menandakan kondisi kritis yaitu sebesar 1,569 dengan probabilitas kegagalan 0% dan telah memenuhi syarat Keputusan Menteri ESDM No. 1827 Tahun 2018, yaitu dengan faktor keamanan < 1,1 dan probabilitas kegagalan 10%. *Ramp 1* dengan lebar 29 meter aman untuk digunakan.
3. *Ramp 3*
 FK rerata = 12,806
 FK maks. = 73,878
 FK min. = 3,495
 Standar deviasi = 13,966
 Probabilitas kegagalan = 0%
 FK yang diambil yaitu FK minimum yang menandakan kondisi kritis yaitu sebesar 3,495 dengan probabilitas kegagalan 0% dan telah memenuhi syarat Keputusan Menteri ESDM No. 1827 Tahun 2018, yaitu dengan faktor keamanan < 1,1 dan probabilitas kegagalan

10%. *Ramp 1* dengan lebar 29 meter aman untuk digunakan.

4. *Ramp 4*
 FK rerata = 12,778
 FK maks. = 73,917
 FK min. = 3,455
 Standar deviasi = 13,979
 Probabilitas kegagalan = 0%
 FK yang diambil yaitu FK minimum yang menandakan kondisi kritis yaitu sebesar 3,455 dengan probabilitas kegagalan 0% dan telah memenuhi syarat Keputusan Menteri ESDM No. 1827 Tahun 2018, yaitu dengan faktor keamanan < 1,1 dan probabilitas kegagalan 10%. *Ramp 1* dengan lebar 29 meter aman untuk digunakan.

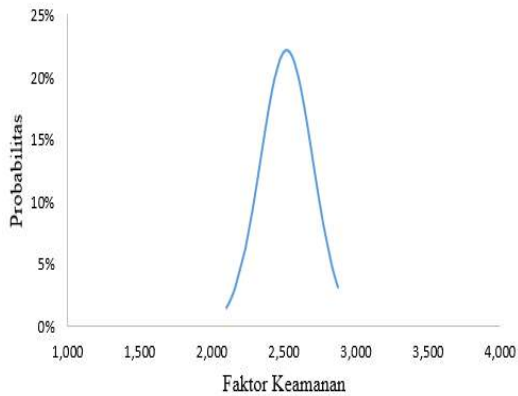
Analisis Lereng Keseluruhan

Hasil analisis kemantapan lereng keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13 FK dan PK *Overall Slope*

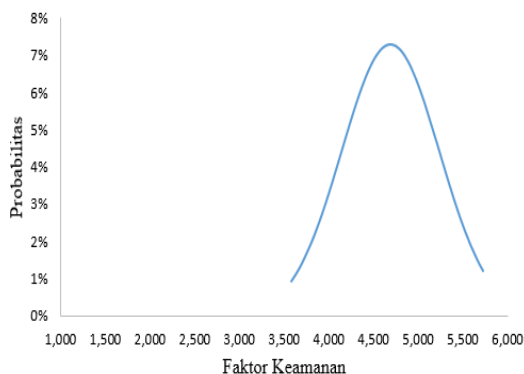
<i>Overall Slope</i>						
Geometri	Standar	FK			Probability	
Lereng	Sudut	Deviasi	Rerata	Maks	Min	of Failure
	27°	0,180	2,519	2,874	2,101	0%
<i>Highwall</i>	19°	0,344	4,026	4,708	3,250	0%
	14°	0,618	6,214	7,411	4,825	0%
	12°	0,754	7,668	9,144	5,936	0%
<i>Lowwall</i>	12°	0,547	4,685	3,575	5,721	0%

Diambil nilai FK minimal sebagai nilai kritis untuk lereng *overall* tersebut, maka perencanaan *overall slope* untuk *highwall* menggunakan sudut lereng dengan rasio kemiringan sudut 1:2 (27°) dan *lowwall* dengan rasio kemiringan sudut 1:5 (12°). FK minimum untuk *highwall* sebesar 2,101 dan probabilitas kegagalan sebesar 0% yang terjadi pada *critical slip* dan telah memenuhi syarat keamanan minimum berdasarkan Keputusan Menteri ESDM No. 1827 Tahun 2018, yaitu dengan faktor keamanan <1,05 dan probabilitas kegagalan <10%. Grafik distribusi FK *highwall* dapat dilihat pada Gambar 21.



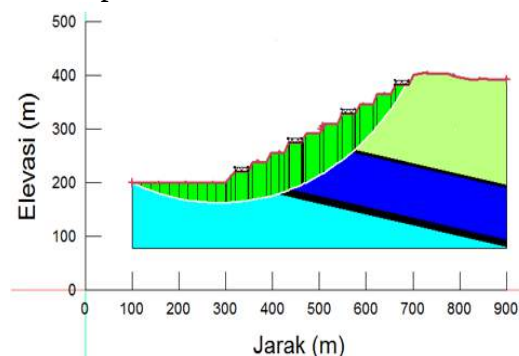
Gambar 21 Distribusi FK Highwall

FK minimum *lowwall* sebesar 3,575 dan probabilitas kegagalan sebesar 0% yang terjadi pada *critical slip* dan telah memenuhi syarat keamanan minimum berdasarkan Keputusan Menteri ESDM No. 1827 Tahun 2018, yaitu dengan faktor keamanan $<1,05$ dan probabilitas kegagalan $<10\%$. Grafik distribusi FK *lowwall* dapat dilihat pada Gambar 22.

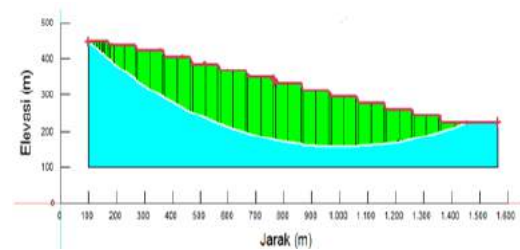


Gambar 22 Distribusi FK Lowwall

Gambar hasil simulasi *highwall* dan *lowwall* pada *Geoslope 2018* dapat dilihat pada Gambar 23 dan Gambar 24.



Gambar 23 Simulasi Overall Slope Highwall



Gambar 24 Simulasi Overall Slope Lowwall

Stripping Ratio

Berikut hasil *stripping ratio* dari tiap masing-masing sudut *overall* yang dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14 *Stripping Ratio* vs Sudut Kemiringan

Sudut Kemiringan	<i>Stripping Ratio</i>
27	12,812
19	14,979
14	15,495
12	17,178

Nilai rentang *stripping ratio* untuk menguntungkan atau tidak suatu penambangan batu bara dilakukan tergantung pada harga batu bara tersebut. Rentang *stripping ratio* yang biasa digunakan berkisar 5 – 10. Dapat dilihat dari perhitungan *stripping ratio* didapatkan nilai sebesar 12,812 dan tidak masuk ke dalam rentang tersebut. Hasil perhitungan *stripping ratio* dari tiap-tiap sudut kemiringan *overall* didapatkan persamaan garis linear, yaitu:

$$y = -0,2594x + 19,785 \quad (10)$$

Dimana,

y = nilai *stripping ratio*

x = Besar sudut kemiringan *overall*

Berdasarkan rumus di atas untuk mencari nilai *stripping ratio* sebesar 10 maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$y = -0,2594x + 19,785$$

$$10 = -0,2594x + 19,785$$

$$x = \frac{10 - 19,785}{-0,2594}$$

$$x = 37,72^\circ$$

Besar sudut *overall* yang diperlukan untuk mendapatkan nilai *stripping ratio* minimum sebesar 10, yaitu 37,72°.

KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian ini dengan mengkaji desain geometri galian (*pit*) tambang dengan memperhatikan faktor keamanan dan ekonomi dengan metode probabilistik. Geometri penambangan yang digunakan pada perancangan ini meliputi tinggi jenjang 18 meter dan lebar *berm* 29 meter. Kemiringan lereng tunggal 1:0,05 untuk *overburden*, *interburden*, serta *underburden*, 1:0,75 untuk *seam D*, dan 1:1,00 untuk *seam E*. Lereng keseluruhan mempunyai kedalaman 200 meter dengan sudut 27° untuk *Highwall* dan 12° untuk *Lowwall*. Faktor Keamanan yang diperoleh pada perancangan ini sebesar 2,101 dengan PoF 0% untuk *Highwall* dan 3,575 dengan PoF 0% untuk *Lowwall*. Terdapat 4 *inter-ramp* pada perancangan ini dengan nilai keamanan 1,260, 1,569, 3,495, dan 3,455. Semua *inter-ramp* memiliki PoF 0%. Nilai *stripping ratio* dari perancangan yang diperoleh adalah 12,812.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, R. K., Najib, N., & Nasrudin, A. (2018). Analisis Peningkatan Faktor Keamanan Lereng Pada Areal Bekas Tambang Pasir Dan Batu di Desa Ngablak, Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati. *Promine*, 5(1), 10–19. <https://doi.org/10.33019/promine.v5i1.113>
- Alpiana. (2011). Rancangan Desain Tambang Batubara di PT Bumi Bara Kencana di Desa Mahasa Kec Kapuas Hulu Kab Kapuas Kalimantan Tengah. *Media Bina Ilmiah*, pp. 23–28.
- Bukit Asam Tbk, PT. (2019). Uji Laboratorium Mekanika Tanah, Muara Enim, Sumatera Selatan.
- Hustrulid, W., Kuchta, M., Martin, R. (2013). *Open Pit Mine Planning and Design Volume 1 Fundamental Third Edition*. Leiden : Balkema.
- Indonesianto, Y. (2005). *Pemindahan Tanah Mekanis*. (Seri Tamba). Yogyakarta.
- Novian, R. (2008). Rancangan Penambangan Batu Granit di Daerah Kecamatan Rao Utara Kabupaten Pasaman Provinsi Sumatera Barat. Skripsi, Fakultas Teknologi Mineral : Universitas Pembangunan Nasional.
- Nurhidayat, Y. (2007). Rancangan Teknis Penambangan Batubara untuk *Pilot Mining Project Pt. United Coal* Indonesia Kecamatan Tering Kabupaten Kutai Barat Provinsi Kalimantan Timur. Skripsi, Fakultas Teknologi Mineral : Universitas Pembangunan Nasional.
- PSDMBP, P. S. D. M. B. dan P. B. (2018). "Formasi Muara Enim" Formasi Pembawa Batubara Di Cekungan Sumatera Selatan.
- Republik Indonesia. (2018). Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 Tahun 2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik.
- Saputra, D., Asof, M., Hastuti, E.W.D. (2013). Rancangan Teknis Penambangan Batubara di Blok Selatan PT.Dizamarta Powerindo Lahat Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmu Teknik*, 2(3).

Saputra, A. W., Saismana, U., Hakim, R. N., & Londong, C. (2019). Evaluasi Jalan angkut Tambang Berdasarkan Geometri dan Daya Dukung Lapisan Tanah Dasar.

Thompson, R. J. (2005). *Surface Strip Coal Mining Handbook*. Johannesburg: South African Colliery Manager Association.