

# Stabilitas Lereng Tambang Terbuka Batubara Disertai Probabilitas Pada Highwall PT XYZ di Provinsi Sumatera Selatan

**Mukh. Qobul Ramdhani Saputra\*, Febri Hirnawan, Dono Guntoro**

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

\*qobulramdhani@yahoo.com

**Abstract.** In open mining activities, *slope* geometry is basically an important study because it can determine the balance between the digging volume and the level of *slope* safety. Determination of *slope* stability is influenced by factors, so an approach is needed through risk analysis in determining the stability of the mine *slope*, which is one of them with the probability of landslide probability, so as to determining the optimum geometry of single *slopes* and highwall *slopes* that meet stable criteria based on the value of *slope* safety factors and probability of landslide. This study uses analysis probability of slippage of the Monte-Carlo and Latin-Hypercube methods. *Slope* stability analysis is performed on a single *slope* with a geometry of 6, 8, 10 and 12 meters, while the *slope* criteria are 40°, 50°, 60°, and 70°. Whereas the overall *slope* is carried out on 2 sections of highwall with *slope* criteria 20°, 25°, 30°, 35°. The selected *slope* criteria is based on the Ministry of Energy and Mineral Resources No. 1827 K/ 30/ MEM/ 2018. From the results of the analysis of the *slope* stability on a single geometry *slope* is optimal in section A for claystone 6 m, *slope* 40°, sandstone 6 m, *slope* 60°, and siltstone 6 m, *slope* 40°. In section B for claystone 8 m, *slope* 70°, sandstone 6 m, *slope* 50°, and silt 5 m, *slope* 40°. While the coal has a height of 12 m and a *slope* of 70°. For the overall *slope* analysis the optimal geometry results for part A have a *slope* of 25° with a full *slope* of 33.608 m, and for part B having a *slope* of 20° with an overall *slope* height of 60.551 m.

**Keywords:** Slope Stability, Failure Probability, Safety Factor

**Abstrak.** Dalam kegiatan penambangan terbuka, geometri lereng pada dasarnya menjadi kajian penting karena dapat menentukan keseimbangan antara volume penggalian dan tingkat keamanan lereng. Penentuan kemantapan lereng dipengaruhi oleh faktor-faktor, dengan demikian diperlukan pendekatan melalui analisis risiko dalam menentukan kestabilan lereng tambang, yaitu salah satunya dengan metode probabilitas kelongsoran, sehingga didapatkan geometri optimum lereng tunggal maupun lereng *highwall* yang memenuhi kriteria stabil berdasarkan nilai faktor keamanan lereng dan probabilitas kelongsoran. Penelitian ini dilakukannya dengan analisis kesetimbangan

batas Bishop serta probabilitas kelongsoran metode Monte-Carlo dan Latin-Hypercube. Analisis kestabilan lereng dilakukan pada lereng tunggal dengan geometri tinggi 6, 8, 10 dan 12 meter, sedangkan variasi *slope* 40°, 50°, 60°, dan 70°. Sedangkan pada lereng *overall* dilakukan pada 2 *section highwall* dengan kriteria *slope* 20°, 25°, 30°, 35°. Kriteria lereng yang dipilih didasari oleh KEPMEN ESDM Nomor 1827 K/ 30/MEM/ 2018. Dari hasil analisis kestabilan lereng pada lereng single geometri optimal pada *section A* untuk batulempung 6 m, *slope* 40°, batupasir 6 m, *slope* 60°, dan batulanau 6 m, *slope* 40°. Pada *section B* untuk batulempung 8 m, *slope* 70°, batupasir 6 m, *slope* 50°, dan batulanau 6 m, *slope* 40°. Sedangkan pada batubara memiliki tinggi 12 m dan *slope* 70°. Untuk analisis kestabilan lereng *overall* didapatkan hasil geometri optimal untuk *section A* memiliki *slope* 25° dengan tinggi lereng keseluruhan 33,608 m, dan untuk *section B* memiliki *slope* 20° dengan tinggi lereng keseluruhan 60,551 m.

**Kata Kunci: Stabilitas Lereng, Probabilitas Kelongsoran, Faktor Keamanan**

## 1. Pendahuluan

Dalam kegiatan penambangan terbuka, geometri lereng pada dasarnya menjadi kajian penting karena dapat menentukan keseimbangan antara volume penggalian dan tingkat keamanan lereng. Dalam menghindari volume pengupasan yang tinggi, umumnya penambangan dilakukan dengan desain lereng yang cukup curam, yang berdampak terjadinya longsoran pada lereng.

Penentuan geometri lereng aman dapat menggunakan analisis stabilitas lereng kesetimbangan batas, akan tetapi jaminan keamanan yang didapatkan masih rendah akibat adanya ketidakpastian dari pengaruh faktor-faktor penyusun geometri lereng, karena secara alamiah setiap faktor tersebut memiliki variasi nilai dengan peluang yang sama (Masagus, dkk., 2011). Dengan demikian diperlukan pendekatan melalui analisis risiko untuk menunjang kestabilan lereng tambang, yaitu salah satunya dengan metode probabilitas kelongsoran, sehingga dapat meningkatkan jaminan pemilihan desain lereng yang aman dan efektif.

PT XYZ adalah salah satu tambang terbuka batubara yang terletak di Provinsi Sumatera Selatan. Dimana kegiatan penambangan mengalami perluasan dan diperlukan analisis kestabilan lereng terutama pada lereng *highwall* akibat kegiatan penambangan yang dilakukan dimulai dari *lowwall* menuju *highwall*. Oleh karena itu, dilakukan penelitian ini.

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik perlapisan batuan lokasi penelitian sebagai dasar untuk penentuan stabilitas lereng *highwall*.
2. Mengetahui klasifikasi kelas batuan berdasarkan uji kemampugaruan sebagai acuan pengerjaan tambang dan pemilihan metode stabilitas lereng.
3. Penetapan geometri optimum lereng tunggal yang memenuhi kriteria stabil berdasarkan nilai faktor keamanan lereng dan probabilitas kelongsoran.
4. Penetapan geometri optimum lereng *highwall* yang memenuhi kriteria stabil berdasarkan nilai faktor keamanan lereng dan probabilitas kelongsoran.

## 2. Landasan Teori

Geoteknik secara garis besar merupakan ilmu mengenai permasalahan kekuatan tanah dan batuan, sehingga berhubungan dengan kemampuan menahan beban pada lereng tambang. Sehingga dalam mengkaji geoteknik tambang diperlukan data yang benar dan teliti sehingga hasil yang diperoleh sesuai dengan yang diinginkan dan aman untuk dilakukan penambangan (Zakaria, 2009), baik secara Faktor Keamanan (FK) maupun Probabilitas Kelongsoran (PK).

Kriteria lereng aman yang dapat diterima (*Acceptance Criteria*) diatur dalam KEPMEN ESDM Nomor 1827 K/ 30/ MEM/ 2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik dapat dilihat pada **Tabel 1** sebagai berikut:

**Tabel 1 Kriteria Aman Lereng Tambang**

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (Consequences of Failure/ CoF)	Kriteria dapat diterima (Acceptance Criteria)		
		FK min (Statik)	FK min (Dinamik)	Probabilitas Longsor maks PoF [FK ≤ 1]
Tunggal/Jenjang (Bench)	Low - High	1,1	Tidak Ada	25 - 50 %
Inter-Ramp	Low	1,15 - 1,2	1,0	25%
	Medium	1,2	1,0	20%
	High	1,2 - 1,3	1,1	10%
Lereng Keseluruhan (Overall)	Low	1,2 - 1,3	1,0	15 -20%
	Medium	1,3	1,05	5 - 10%
	High	1,5	1,1	≤ 5%

Sumber: Kepmen 1827, 2018

### Kesetimbangan Batas Bishop

Salah satu metode kesetimbangan batas dan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode bishop. Metode ini mengabaikan gaya gesek antar irisan dan kemudian mengasumsikan bahwa gaya normal cukup untuk mendefinisikan gaya- gaya antar irisan. (Bishop, 1955). Gaya normal di dasar dan tiap irisan ditentukan dengan menjumlahkan gaya-gaya dalam arah vertikal, selain itu metode ini memiliki tingkat ketelitian yang cukup tinggi disebabkan *input* yang dimasukan dapat mewakili kondisi sebenarnya.

### Probabilitas Kelongsoran (PK)

Probabilitas kelongsoran merupakan suatu metode dalam menentukan nilai faktor keamanan (FK) suatu sistem rekayasa dengan cara memperlakukan nilai *input* sebagai variabel acak, sehingga nilai faktor keamanan yang dihasilkan dari perbandingan gaya penahan dengan gaya penggeraknya juga menjadi acak. Selain itu pendekatan ini juga melihat dari sensitivitas perubahan nilai setiap parameter input terhadap nilai faktor keamanan (Masagus, 2011).

Dalam menghitung probabilitas kelongsoran pada data berdistribusi normal, dapat menggunakan Rumus:

$$PF = \frac{(N-M)}{N} \times 100\%$$

Keterangan:

PF = Probabilitas kelongsoran (*Probability of failure*)

(N-M) = Jumlah nilai yang tidak memenuhi kriteria aman

M = Jumlah lereng yang memenuhi kriteria aman

N = Jumlah analisis yang dilakukan

Dalam penelitian ini metode probabilitas kelongsoran yang dilakukan menggunakan dua metode yaitu metode Monte-Carlo dan Latin-Hypercube.

### Uji Kemampugaruan

Kemampugaruan atau *rippability* merupakan suatu nilai batuan berdasarkan ukuran tingkat kemudahan batuan untuk digaru, nilai tersebut diperoleh berdasarkan hasil studi lapangan, geologi maupun geoteknik. Sistem klasifikasi kemampugaruan pada dasarnya memiliki bermacam-macam metode dan parameter yang digunakan.

Salah satu metode kemampugaruan yaitu melalui pembobotan dengan metode Weaver (1997), dimana dilakukan perancangan kemampugaruan berdasarkan sistem geomekanik yang dirancang oleh Bieniawski. Akan tetapi, dalam metode ini kondisi air tanah akan diabaikan dan nilai RQD (*rock quality designation*) diganti dengan nilai kecepatan rambat (seismik). Dengan menggunakan indeks dan penilaian pada kondisi yang berbeda-beda, maka indeks total akan dihitung sehingga metode penggalian dapat ditentukan. (Anonim, 1998).

**Tabel 2 Uji Kemampugaruan Weaver (1997)**

Rock Mass	I	II	III	IV	V
Description	Very Good Rock	Good Rock	Fair Rock	Poor Rock	Very Poor Rock
Seismic Velocity (m/s)	>2150	2150-1850	1850-1500	1500-1200	1200-450
Rating	26	24	20	12	5
Rock Hardness	Extremely Hard Rock	Very Hard Rock	Hard Rock	Soft Rock	Very Soft Rock
Rating	10	5	2	1	0
Rock Weathering	Unweathered	Slightly Weathered	Weathered	Highly Weathered	Completely Weathered
Rating	9	7	5	3	1
Discontinuity Spacing (mm)	>3000	3000-1000	1000-300	300-50	<50
Rating	30	25	20	10	5
Discontinuity Continuity	Non Continuous	Slightly Continuous	Continuous- No Gouge	Continuous Some Gouge	Continuous With Gouge
Rating	5	5	3	0	0
Joint Group	No Separation	Slightly Separation	Separation < 1 mm	Gouge < 5 mm	Gouge > 5 mm
Rating	5	5	4	3	1
Strike Dip and Orientation	Very Unfavourable	Unfavourable	Slightly Unfavourable	Favourable	Very Favourable
Rating	15	13	10	5	3
<b>Total Rating</b>					
Total Rating	100-90	90-70	70-50	50-25	<25
Rippability Assessment	Blasting	Extremely Hard Ripping and Blasting	Very Hard Ripping	Hard Ripping	Easy Ripping
Tractor Selection	-	DD9G/ D9G	D9/ D8	D8/ D7	D7
Horse Power	-	770/ 385	385/ 270	270/180	180
Kilowatts	-	570/ 290	290/ 200	200/ 135	135
<b>Keterangan Pembebanan Orientasi Kekar</b>					
Irrespective of Strike	Strike Perpendicular Ripping Direction			Strike Parallel to Ripping Direction	
	0-20	45-90	20-45	45-90	20-45
Unfavorable	Very Favorable	Favorable	Fair	Unfavorable	Unfavorable

Sumber: Anonim, 1998

Kecepatan gelombang seismik yang digunakan bisa didapatkan dari hasil mengkonversi nilai *unconfined compressive strength* (UCS) batuan menggunakan persamaan Karpuz.

Secara matematis dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_f = 953 \sigma_c^{0,225}$$

Keterangan:

$V_f$  = Cepat rambat gelombang seismik (m/s)

$\sigma_c$  = Nilai UCS (Mpa)

### Hasil Penelitian

Kegiatan pengeboran geoteknik dilakukan di blok penambangan baru dengan batuan penyusun berupa batubara, batulempung lanauan, batulanau lempungan dan batupasir lanauan.

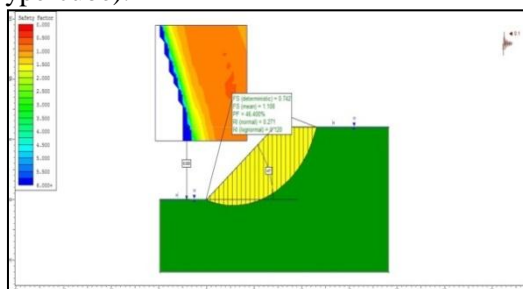
### Data Penelitian

Total pengeboran geoteknik berjumlah 10 titik bor, dengan kedalaman yang cukup besar hingga lebih dari 100 meter dan yang paling dalam mencapai 271 meter. Dari hasil pengeboran geoteknik ini didapatkan sampel sebanyak 94 buah dengan berdistribusi normal baik secara deskriptif maupun analitik (metode Kolmogorov-Smirnov). Kemudian sampel dilakukan pengujian untuk mendapatkan data sifat fisik (densitas natural dan densitas jenuh) dan pengujian sifat meknik melalui uji kuat geser (kohesi dan sudut gesek dalam).

### Pengolahan Data Penelitian

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan simulasi melalui software analisis lereng, dengan kriteria sebagai berikut:

- Geometri lereng tunggal: Tinggi 6 m, 8 m, 10 m, dan 12 m; Sudut 40°, 50°, 60° dan 70°.
- Geometri lereng *overall*: Sudut 20°, 25°, 30° dan 35°.
- MAT: Asumsi menggunakan MAT keadaan jenuh (Hoek & Bray, 1981).
- Beban Dinamis: 0,1g (Peta Zonasi Gempa Indonesia, 2017).
- Metode analisis: Metode kesetimbangan batas (Bishop); Metode probabilistik (Monte-Carlo dan Latin-Hypercube).



**Sumber: Hasil pengolahan data, 2019**

Gambar 1

Contoh Simulasi Model Lereng Tunggal

**3. Hasil Penelitian dan Pembahasan**

Dari hasil uji kemampuan secara umum batuan penyusun lokasi penelitian dapat dikelompokkan menjadi kelas III atau *fair rock* di mana berdasarkan kelas kemampuan tergolong sebagai batuan *very hard ripping*, akan tetapi tidak memerlukan peledakan untuk memberaikannya melainkan dapat menggunakan alat *tractor D9/D8* dengan spesifikasi *horse power 385/ 270* dan *kilowatts 290/ 200*.

Dengan demikian dalam kegiatan penambangan tidak banyak menimbulkan gangguan pada lereng, sehingga tidak mempengaruhi pada analisis kestabilan lereng yang dilakukan.

**Tabel 3 Hasil Rating Uji Kemampuan**

<i>Lithology</i>	Deskripsi	<i>Total Rating</i>
Batubara	Permukaan kekar kasar, bukaan <1mm, dindingnya segar, arah bidang diskontinu relatif searah dengan arah bukaan, nilai <i>dip</i> maksimum 25°	54
Batulempung lanauan, Batupasir lanauan dan Batulanau lempungan	Permukaan kekar kasar, bukaan <1mm, dindingnya segar, arah bidang diskontinu relatif searah dengan arah bukaan, nilai <i>dip</i> maksimum 25°	51

Sumber: Hasil pengolahan data, 2019

Dari analisis stabilitas lereng tunggal didapatkan hasil berikut:

1. *Section A***Tabel 4 Rekapitulasi Lereng Tunggal Section A**

Sudut (°)	Ketinggian Lereng (m)	Nilai			
		FK (Dinamik)	PK (%)	FK (Statik)	PK (%)
<b>Metode Monte-Carlo</b>					
<b>Batulempung lanauan</b>					
40	6	1,108	46,400	1,322	30,700
	8	0,888	67,300	1,065	50,100
	10	0,747	84,000	0,891	67,200
	12	0,655	92,400	0,777	80,900
<b>Batupasir lanauan</b>					
60	6	1,109	46,400	1,243	35,223
	8	0,868	68,400	0,978	56,900
	10	0,724	85,400	0,815	74,000
	12	0,628	93,700	0,712	87,100
<b>Batulanau lempungan</b>					
40	6	1,041	48,600	1,213	23,500
	8	0,837	82,400	0,999	54,800
	10	0,726	94,800	0,861	79,400
	12	0,649	98,200	0,770	90,800
<b>Metode Latin-Hypercube</b>					
<b>Batulempung lanauan</b>					
40	6	1,115	45,800	1,331	29,400
	8	0,894	66,300	1,074	48,700
	10	0,751	82,700	0,897	66,400
	12	0,653	93,100	0,782	79,700
<b>Batupasir lanauan</b>					
60	6	1,132	44,200	1,247	33,970
	8	0,880	67,000	0,991	55,800
	10	0,733	83,600	0,825	74,300
	12	0,636	92,700	0,721	85,100
<b>Batulanau lempungan</b>					
40	6	1,044	48,400	1,216	22,900
	8	0,839	80,400	1,002	54,500
	10	0,728	94,500	0,863	77,700
	12	0,651	98,300	0,773	90,200

Sumber: Hasil pengolahan data, 2019

2. Section B

**Tabel 5 Rekapitulasi Lereng Tunggal Section B**

Metode Monte-Carlo					
Sudut (°)	Ketinggian Lereng (m)	Nilai			
		FK (Dinamik)	PK (%)	FK (Statik)	PK (%)
Metode Monte-Carlo					
Batulempung lanauan					
70	6	1,510	8,500	1,568	2,192
	8	1,146	38,244	1,216	30,269
	10	0,938	64,000	0,999	56,112
	12	0,801	82,300	0,867	73,173
Batupasir lanauan					
50	6	1,099	44,300	1,262	25,600
	8	0,882	71,400	1,025	54,000
	10	0,734	90,000	0,853	76,000
	12	0,650	96,100	0,747	89,400
Batulanau lempungan					
40	5	1,137	33,900	1,344	13,900
	6	1,007	53,400	1,186	28,700
	8	0,759	89,000	0,897	71,300
	10	0,638	97,700	0,762	89,200
	12	0,562	99,400	0,672	96,700
Metode Latin-Hypercube					
Batulempung lanauan					
70	6	1,522	8,800	1,571	3,553
	8	1,169	37,100	1,218	30,738
	10	0,943	63,976	0,999	56,552
	12	0,808	80,300	0,874	74,074
Batupasir lanauan					
50	6	1,090	45,000	1,251	27,400
	8	0,874	72,800	1,016	54,700
	10	0,728	90,700	0,845	77,500
	12	0,644	96,600	0,740	89,900
Batulanau lempungan					
40	5	1,144	34,400	1,352	13,000
	6	1,006	52,600	1,194	28,200
	8	0,765	88,800	0,902	69,700
	10	0,649	97,900	0,767	88,700
	12	0,566	99,900	0,676	96,700

Sumber: Hasil pengolahan data, 2019

3. Batubara Section A dan B

**Tabel 6 Rekapitulasi Lereng Tunggal Batubara**

Sudut (°)	Ketinggian Lereng (m)	Nilai			
		FK (Dinamik)	PK (%)	FK (Statik)	PK (%)
Metode Monte-Carlo					
Batubara					
70	6	2,965	0,000	3,139	0,000
	8	2,216	0,000	2,307	0,000
	10	1,754	3,900	1,903	1,200
	12	1,477	10,300	1,600	5,400
Metode Latin-Hypercube					
Batubara					
70	6	2,975	0,000	3,148	0,000
	8	2,223	0,000	2,374	0,000
	10	1,761	3,400	1,900	1,400
	12	1,478	10,300	1,614	4,600

Sumber: Hasil pengolahan data, 2019

Adapun dari analisis stabilitas lereng *overall highwall* didapatkan hasil berikut:

1. Section A

**Tabel 7 Rekapitulasi Lereng Overall Section A**

Metode Monte-Carlo					
Elevasi (mdpl)	25°				
	FK (Dinamik)	PK (%)	FK (Statik)	PK (%)	H (m)
0	1,268	7,600	1,578	0,000	33,608
-10	1,103	23,600	1,431	0,100	39,840
-20	0,991	55,800	1,275	0,700	55,592
-30					
-40					
Metode Latin-Hypercube					
0	1,271	7,200	1,581	0,100	33,608
-10	1,104	21,200	1,434	0,200	39,840
-20	0,985	57,700	1,276	1,100	55,592
-30					
-40					

Sumber: Hasil pengolahan data, 2019

2. Section B

**Tabel 8 Rekapitulasi Lereng Overall Section B**

Metode Monte-Carlo					
Elevasi (mdpl)	20°				H (m)
	FK (Dinamik)	PK (%)	FK (Statik)	PK (%)	
0	1,425	0,000	1,847	0,000	32,872
-10	1,249	0,300	1,605	0,000	46,346
-20	1,182	4,300	1,531	0,000	46,994
-30	1,156	7,100	1,491	0,000	60,551
-40	1,105	16,800	1,460	0,000	68,204
-50	1,053	31,100	1,396	0,000	84,395
Metode Latin-Hypercube					
0	1,426	0,000	1,848	0,000	32,872
-10	1,250	0,100	1,605	0,000	46,346
-20	1,183	4,300	1,532	0,000	46,994
-30	1,157	8,900	1,491	0,000	60,551
-40	1,105	17,000	1,460	0,000	68,204
-50	1,053	31,800	1,396	0,000	84,395

Sumber: Hasil pengolahan data, 2019

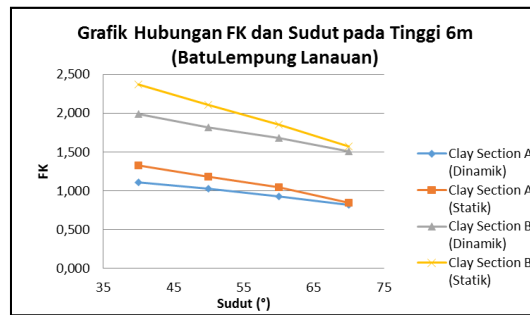
Keterangan:

- = Lereng stabil (sesuai kriteria)
- = Tidak dilakukan analisis (Lereng sudah tidak stabil)

Dari hasil rekapitulasi analisis kestabilan lereng yang telah dilakukan, dapat dibuat grafik hubungan, sebagai berikut:

1. Pengaruh Geometri Lereng Terhadap Faktor Keamanan

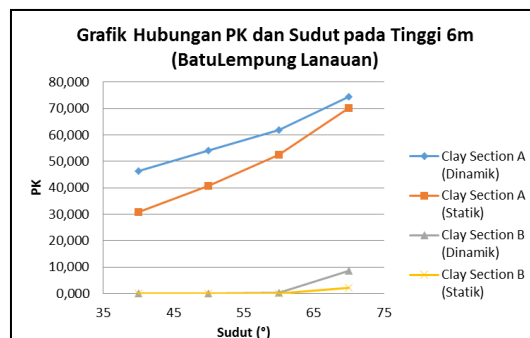
Dapat dilihat semakin tinggi sudut yang dibentuk maka nilai FK akan semakin turun, hal ini dikarenakan lereng yang terjal dapat mengakibatkan pembebanan dari batuan semakin besar.



Gambar 2 Geometri Terhadap FK Lereng Single

2. Pengaruh Geometri Lereng Terhadap Probabilitas Ke-longsoran

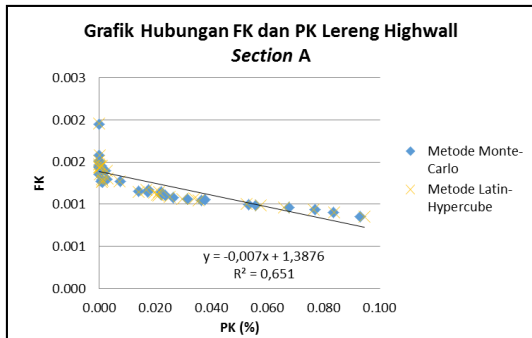
Dapat dilihat semakin tinggi sudut yang dibentuk maka nilai PK akan semakin naik, hal ini dikarenakan lereng yang terjal dapat mengakibatkan peluang yang lebih besar terhadap kelongsoran.



Gambar 3 Geometri Terhadap PK Lereng Single

3. Pengaruh Faktor Keamanan Terhadap Probabilitas Ke-longsoran

Dari grafik dapat terlihat bahwa seluruh data memiliki sebaran membentuk garis linier negatif, di mana semakin tinggi nilai faktor keamanan maka persentase nilai probabilitas kelongsoran akan semakin kecil, hal ini disebabkan akibat tingginya nilai keamanan lereng maka kemungkinan terjadinya longsoran semakin kecil.



**Gambar 4 Hubungan FK Terhadap PK**

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada lokasi penelitian memiliki batuan penyusun utama berupa batulempung lanauan, batupasir lanauan dan batulanau lempungan yang berselang-seling, batuan memiliki perlapisan dengan kedudukan *strike* N 314°E dan *dip* 15-25°. Batubara pada lokasi penelitian terdiri dari 7 *seam* batubara dengan ketebalan terbesar pada *seam* C hingga mencapai tebal 14 m dan menjadi acuan analisis lereng *highwall*.
2. Dari hasil uji kemampugaruan berdasarkan metode Weaver (1975), seluruh batuan penyusun lokasi penelitian dapat dikelompokkan menjadi kelas III atau *fair rock* di mana berdasarkan kelas kemampugaruan tergolong sebagai batuan *very hard ripping*, dengan nilai *rating* untuk batubara sebesar 54 dan batuan sampingnya sebesar 51, batuan dapat diberaiakan dengan menggunakan alat *tractor* D9/D8 dengan spesifikasi *horse power* 385/270 dan *kilowatts* 290/200 dan batuan tidak memerlukan peledakan yang dapat mengganggu kestabilan lereng. Dari keseluruhan batuan pada lokasi termasuk batuan lunak maka metode stabilitas lereng yang digunakan yaitu metode kesetimbangan batas.
3. Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng single didapatkan geometri optimal sebagai berikut:
  - a. Pada *section A*, batulempung lanauan memiliki ketinggian 6 meter, *slope* 40°, batupasir lanauan memiliki ketinggian 6 meter, *slope* 60°, batulanau lempungan memiliki ketinggian 6 meter, *slope* 40°, sedangkan untuk batubara memiliki ketinggian 12 meter, *slope* 70°.
  - b. Pada *section B*, batulempung lanauan memiliki ketinggian 8 meter, *slope* 70°, batupasir lanauan memiliki ketinggian 6 meter, *slope* 50°, pada batulanau lempungan memiliki variasi ketinggian yang berbeda yaitu tinggi 5 meter, *slope* 40°, sedangkan untuk batubara memiliki geometri yang sama dengan *section A*.
4. Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng *overall (highwall)* didapatkan geometri optimal sebagai berikut:
  - a. Pada *section A*, memiliki geometri optimal pada *slope* 25° memiliki tinggi lereng keseluruhan 33,608 meter.
  - b. Pada *section B*, memiliki geometri optimal pada *slope* 20° memiliki tinggi lereng keseluruhan 60,551 meter.

#### 5. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka terdapat saran sebagai berikut:

1. Untuk penentuan lithologi batuan sebaiknya dilakukan berdasarkan hasil pengujian *grain size analysis* dan dikorelasikan dengan nilai properti sifat fisik dan mekanik batuan, sehingga hasilnya lebih akurat.
2. Pada pelaksanaannya dapat dilakukan *dewatering* supaya kedalaman *pit* dapat lebih optimal, termasuk untuk kestabilan lereng tunggal batulanau *section B* memiliki jaminan keamanan yang lebih besar.



3. Untuk proses analisis lanjutan pada lereng *overall* dapat dilakukan analisis kestabilan lereng dengan batas penambangan *seam* D dan *seam* E, mengingat ketebalannya yang relatif besar untuk ditambang.

#### Daftar Pustaka

- [1]Aditiawarman, 2015, “Analisis Statistik”, Jakarta.
- [2]Adnan, Fadjar, 2008, “Aplikasi Simulasi Monte-Carlo dalam Estimasi Biaya Proyek”, Jurnal Smartek.
- [3]Ahmad, Masagus A., dkk, 2011, “Aplikasi Probabilistik Untuk Analisis Kestabilan Lereng Tunggal (Studi Kasus Di PT Tambang Batubara Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan)”, Prosiding TPT XX PERHAPI, Mataram.
- [4]Ahmad, Masagus A., 2014, “Pengembangan Metode Penentuan Reliabilitas Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara di Indonesia”, Disertasi Doktor pada Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [5]Ahmad, Masagus A., dkk, 2018, “Pengaruh Geometri Lereng Terhadap Perolehan Batubara Tertambang Di PT Arutmin Indonesia Site Kintap Kalimantan Selatan”, Seminar Nasional Pakar ke 1, Jakarta
- [6]Anonim, 1998, “*For the Tropical Engineering Field*”, Universitas Teknologi Malaysia.
- [7]Anonim, 2018, “Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik”, Kepmen 1827 K/ 30/ MEM/ 2018, Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral.
- [8]Bishop, A. W., 1955, “*The Use of Slip Surface in The Stability of Analysis Slopes*”, Geotechnique, Vol 5, London.
- [9]Hoek, dan Bray, 1981. “*Rock Slope Engineering 3rd*”. London: Institution of Mining and Metallurgy.
- [10]Nasrul, 2015, “Uji Normalitas Secara Deskriptif Soedarmo, D., & Purnomo, E. (1993)”, Mekanika Tanah. Malang: Kanisius.
- [11]Supandi, 2013, “Pemodelan Parameter Geoteknik dalam Merespon Perubahan Desain Tambang Batubara Sistem Tambang Terbuka”, SEMNAS Ke-8: Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi, Yogyakarta.
- [12]Zakaria, Zufaldi., 2009, “Analisis Stabilitas Lereng”, seri mata kuliah Geoteknik, Laboratorium Geologi Teknik Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran (*Tidak diterbitkan*), Bandung.