

Analisis Kestabilan Lereng dengan Pendekatan Probabilitas Longsor pada Penambangan Batubara *Pit 8an East Block* PT Indominco Mandiri

Ilham Firmansyah¹, Barlian Dwinagara¹, Untung Sukanto¹, Bagus Wiyono¹, Tedy Agung Cahyadi¹

¹Jurusan Teknik Pertaambangan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

Korespondensi : ilhamfirmann30@gmail.com

ABSTRAK

Analisis Kestabilan rancangan lereng penambangan di *Pit 8AN East Block* PT. Indominco Mandiri mengacu pada peraturan lama, yaitu menggunakan Faktor Keamanan dalam menentukan lereng aman atau tidak. Sedangkan menurut Keputusan Menteri ESDM No. 1827 K/30/MEM Tahun 2018, penentuan lereng aman atau tidak berdasarkan pada Faktor Keamanan (FK) dan Probabilitas Longsor (PL). Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kestabilan rancangan lereng akhir penambangan (*final pit*) sehingga rancangan lereng tersebut dapat dikategorikan aman atau tidak aman. Berdasarkan penyelidikan geoteknik dan pengamatan di lapangan, didapatkan jenis longsoran yang terjadi adalah longsor busur untuk lereng *highwall* dan longsoran bidang untuk lereng *lowwall*. Analisis stabilitas lereng menggunakan metode kesetimbangan batas (Bishop Simplified) dibantu dengan *software Slide v.8.0 (Rocscience)*. Sedangkan untuk analisis probabilitas longsor menggunakan metode Monte Carlo. Berdasarkan hasil analisis, diketahui rancangan lereng akhir penambangan baik Lereng A maupun Lereng B dikategorikan aman. Variasi dilakukan terhadap rancangan kedua lereng akhir penambangan dengan menambah sudut lereng keseluruhan. Pada lereng A dengan menambah sudut lereng tunggal dan pada lereng B dengan mengurangi lebar *berm*. Sehingga, nilai faktor keamanan lereng tersebut berkurang menjadi lebih besar atau sama dengan 1,3 dan nilai probabilitas longsor bertambah sampai batas maksimal 10%. Dampak dari adanya optimasi lereng yaitu bertambahnya cadangan batubara. Kata kunci: Metode Kesetimbangan Batas, Faktor Keamanan, Probabilitas Longsor, Lereng A, Lereng B

ABSTRACT

The stability analysis of the design of the mining slope at Pit 8AN East Block PT. Indominco Mandiri refers to the old regulation, namely using the Safety Factor in determining the slopes are safe or not. Meanwhile, according to the Minister of Energy and Mineral Resources Decree No. 1827 K/30/MEM In 2018, the determination of safe slopes or not is based on the Safety Factor (SF) and the Probability of Failure (PoF). This research was conducted to analyze the stability of the final pit slope design so that the slope design can be categorized as safe or unsafe. Based on geotechnical investigations and field observations, the types of failure that occur are a circular failure for slopes highwall and plane failure for slopes lowwall. Slope stability analysis using the limit equilibrium method (Bishop Simplified) assisted by software Slide v.8.0 (Rocscience). Meanwhile, the probability of failure analysis uses the Monte Carlo method. Based on the analysis, it is known that the design of the final mining slope, both Slope A and Slope B, are categorized as safe. Variations were made to the design of the two final mining slopes by increasing the overall slope angle. On slope A by increasing the angle of the single-slope and on slope B by reducing the width of the berm. Thus, the value of the slope safety factor decreases to be more than or equal to 1.3, and the probability of failure value increases to a maximum limit of 10%. The impact of slope optimization is an increase in coal reserves. Keywords: Limit Equilibrium Method, Safety Factor, Probability of Failure, Slope A, Slope B

1. PENDAHULUAN

PT. Indominco Mandiri merupakan suatu badan usaha swasta yang bergerak dalam bidang usaha pertambangan batubara, terletak di Kota Bontang Kalimantan Timur. Lokasi tambang PT. Indominco Mandiri terbagi menjadi dua blok penambangan yaitu, Blok Barat (*West Block*) seluas 18.000 Ha dengan jumlah cadangan sebesar 60.000.000 ton dan Blok Timur (*East block*) seluas 7100 Ha dengan jumlah cadangan sebesar 106.200.000 ton. Penambangan yang dilakukan menggunakan sistem tambang terbuka sehingga membentuk lereng-lereng.

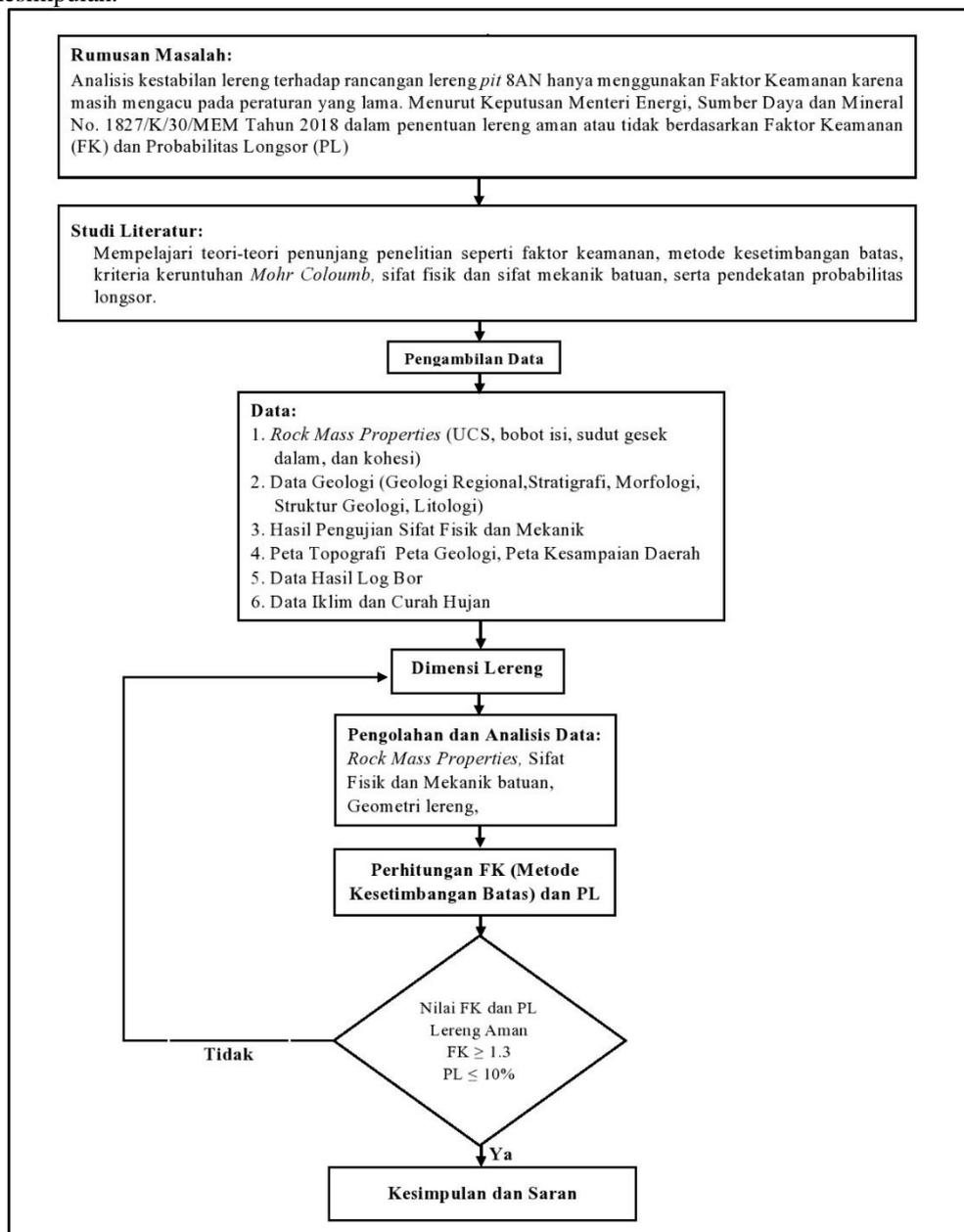
Analisis kestabilan lereng pada rancangan akhir lereng *highwall* dan *lowwall* di *Pit 8AN* masih mengacu pada peraturan lama, yaitu menggunakan Faktor Keamanan dalam menentukan lereng aman atau tidak. Sedangkan menurut Keputusan Menteri ESDM No. 1827 K/30/MEM Tahun 2018, penentuan lereng aman atau tidak berdasarkan pada Faktor Keamanan (FK) dan Probabilitas Longsor (PL). Kemudian sehubungan dengan lereng akhir yang telah direncanakan, terdapat konsekuensi pembentukan lereng berupa penegakkan atau pelandaian lereng berdasarkan pada FK dan PL. Oleh karena itu, diperlukan perhitungan dan analisis ulang terhadap geometri lereng yang telah direncanakan tersebut.

Faktor Keamanan (FK) adalah ukuran deterministik rasio antara gaya penahan dan gaya penggerak dari sebuah sistem. Dalam konsep ini, kesetimbangan batas tercapai bila FK memiliki nilai 1,0. Bila nilai FK lebih dari 1 maka lereng tersebut stabil, tapi kalau nilai FK kurang dari 1 maka lereng tersebut tidak stabil [4]. Kemudian, probabilistik adalah suatu cara untuk menentukan nilai faktor keamanan suatu sistem rekayasa dengan memperlakukan nilai masukan sebagai variabel acak, dengan demikian nilai faktor keamanan sebagai rasio antara gaya penahan dan gaya penggerak merupakan juga variabel acak [1].

Analisis kestabilan lereng ini diharapkan akan memberikan hasil analisis kestabilan lereng dengan geometri lereng yang aman dan optimal berdasarkan nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor yang telah ditentukan ($FK \geq 1,3$ dan $PL \leq 10\%$).

2. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian dalam tulisan ini dapat dilihat pada Gambar 1. Tahapan penelitian ini yaitu diawali dari rumusan masalah, kemudian studi literature, pengambilan data, pengolahan dan analisis data, dan idakhiri dengan penarikan kesimpulan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini akan diolah dengan menggunakan metode kesetimbangan batas untuk mencari nilai Faktornya. Kemudian untuk mencari nilai probabilitas longsor menggunakan analisis statistik dan metode Monte Carlo.

2.1. Kesetimbangan Batas

Kesetimbangan Batas dapat didefinisikan sebagai rasio total gaya yang tersedia untuk menahan geser ke gaya total yang cenderung menyebabkan geser [9]. Faktor Keamanan (FK) dijelaskan oleh persamaan berikut:

$$FK = (c A + (W \cos \psi - U) \tan \phi) / (W \sin \psi + V) \quad (1)$$

Keterangan

c = kohesi

A = luas permukaan bidang

W = berat

ψ = sudut bidang miring

U = gaya angkat

ϕ = sudut gesek dalam

V = gaya total

Bila lereng berada pada titik longsor, kondisi kesetimbangan batas yang ada dimana kekuatan yang menahan dan penggerak sama maka $FK = 1$. Bila kemiringan stabil, gaya penahanan lebih besar dari pada gaya penggerak dan hasilnya faktor keamanan akan lebih besar dari satu.

2.2. Analisis Statistik

Analisis statistik bertujuan untuk mengetahui pemusatan dan kecenderungan pola penyebaran data-data yang akan diolah sehingga dapat menjelaskan korelasi dan kecenderungan data agar dapat ditentukan metode apa yang sesuai dengan pola penyebaran tersebut [5]. Parameter-parameter yang digunakan dalam analisis ini yaitu rata-rata, varians, standar deviasi, koefisien variansi, relatif minimal, dan relatif maksimal.

2.3. Uji Baik Suai

Penelitian ini menggunakan metode Kolmogorov-Smirnov (K-S) dalam Uji Baik Suai [8]. Metode ini membandingkan antara frekuensi kumulatif eksperimental dan teoritis dari jenis distribusi asumsi [3]. Jika perbedaan frekuensi tersebut cukup besar dibandingkan dengan suatu ukuran sampel tertentu, maka jenis distribusi teoritisnya tidak diterima.

Untuk sampel berjumlah n, hal pertama yang perlu dilakukan menyusun urutan himpunan data sampel dari terendah, sehingga akan membentuk suatu fungsi frekuensi kumulatif tangga sebagai berikut:

$$D_n = \max |F(x) - F^*(x)| \quad (2)$$

Keterangan

D_n = variabel acak yang distribusinya tergantung pada n

$F(x)$ = frekuensi kumulatif eksperimental

$F^*(x)$ = frekuensi kumulatif teoritis

Dalam uji K-S, selisih maksimum antara $F^*(x)$ dan $F(x)$ untuk seluruh rentang X merupakan pengukur perbedaan antara model teoritis dan data pengamatan. Selisih maksimum ditunjukkan oleh persamaan 2.

Level of significance α	0,10	0,05	0,01
Critical value	$(1.22) / (\sqrt{n})$	$(1.36) / (\sqrt{n})$	$(1.63) / (\sqrt{n})$

2.4. Fungsi Distribusi Data

Distribusi data yang digunakan dalam penelitian ini adalah distribusi normal, lognormal, dan gamma, karena distribusi-distribusi tersebut merupakan distribusi yang sering digunakan dalam geoteknik [9].

2.5. Metode Monte Carlo

Pada metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*) nilai FK merupakan rasio antara gaya penahanan dan gaya penggerak, masing-masing parameter merupakan fungsi dari variabel acak yang bersifat tak tentu (*uncertain*) dan berdistribusi probabilitas tertentu. Oleh karena itu, penggunaan simulasi Monte Carlo sangat cocok untuk menyelesaikan permasalahan ketidakpastian pada nilai FK hingga akhirnya akan didapatkan nilai probabilitas longsor [2].

2.6. Kriteria Penerimaan

Pada penelitian ini digunakan jenis lereng keseluruhan dan tingkat konsekuensi longsor menengah. Pada tingkat konsekuensi longsor menengah, konsekuensi yang terjadi apabila terjadi longsor adalah cedera berat manusia, kerusakan sarana dan prasarana pertambangan dari 25% (dua puluh lima persen) sampai 50% (lima

puluh persen), terhentinya produksi lebih dari 12 (dua belas) jam sampai kurang dari 24 (dua puluh empat) jam, cadangan tertimbun tetapi masih diambil; dan/atau, kerusakan lingkungan di dalam wilayah IUP (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang [6]

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≤1)
Lereng Tunggal	Rendah s.d. Tinggi	1,1	Tidak ada	25-50%
Inter - Ramp	Rendah	1,15-1,2	1,0	25%
	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%

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1. Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Batuan

Data sifat fisik dan sifat mekanik dapat dilihat di Tabel 2 sampai Tabel 4. Khusus untuk Sifat mekanik material batubara, yaitu nilai kohesi dan sudut gesek dalam menggunakan referensi berdasarkan studi kasus PT. MN di Kalimantan Timur (Tabel 4) dikarenakan pada lokasi penelitian tidak melakukan uji sifat mekanik dan hanya melakukan pengujian sifat fisik sampel batubara. Selain itu, batuan pada lokasi penelitian berada pada satu formasi batuan yang sama yaitu Formasi Pulaubalang.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Uji Laboratorium untuk Material Batulumpur
Sumber: Departemen Geologi PT. Indominco Mandiri, 2017 [7]

No.	LUBANG BOR	SAMPLE NO.	LITHOLOGY	INDEX PROPERTIES	DIRECT SHEAR	
				Natural Density	C peak	Φ peak
				kN/m ³	kPa	°
1	2410G	2410G spl.4.5	Mudstone	16,690	200,45	57,23
2	2410G	2410G spl.6.7.8	Mudstone	16,390	184,09	51,34
3	2410G	2410G spl.9.10	Mudstone	15,420	240,55	44,31
4	2410G	2410G spl.14	Mudstone	14,020	122,30	54,67
5	2410G	2410G spl.15	Mudstone	14,150	225,28	48,81
6	2410G	2410G spl.16	Mudstone	18,550	165,85	47,60
7	2410G	2410G spl.20	Mudstone	18,710	192,67	50,94
8	2410G	2410G spl.24	Mudstone	17,450	112,64	54,67
9	2410G	2410G spl.25.26	Mudstone	17,800	373,15	40,99
10	2520G	2520G spl.16.17	Mudstone	14,900	240,55	42,88
11	2520G	2520G spl.18.19	Mudstone	18,510	481,09	49,97
12	2520G	2520G spl.28	Mudstone	17,160	320,73	38,99
13	2520G	2520G spl.30.31	Mudstone	16,160	360,82	43,96
14	2520G	2520G spl.34.35.36	Mudstone	16,400	360,82	35,08
15	2520G	2520G spl.38.39	Mudstone	15,960	320,73	32,01
16	2520G	2520G spl.46.47	Mudstone	14,150	160,36	59,22
17	2522G	2522G spl.21	Mudstone	16,310	200,00	61,47

No.	LUBANG BOR	SAMPLE NO.	LITHOLOGY	INDEX PROPERTIES	DIRECT SHEAR	
				Natural Density	C peak	Φ peak
				kN/m ³	kPa	°
18	2522G	2522G spl.22	Mudstone	17,080	241,00	54,32
19	2514G	2514G spl.19.20	Mudstone	15,660	320,73	58,11
20	2514G	2514G spl.21.22.23	Mudstone	16,560	280,64	58,39
21	2514G	2514G spl.28.29	Mudstone	14,740	248,77	58,67
22	2514G	2514G spl.32	Mudstone	14,520	394,31	59,22
23	2514G	2514G spl.37.38	Mudstone	18,880	360,82	57,23
Mean				16,355	265,58	50,44
Standar Deviasi				1,520	95,43	8,403
Maksimum				18,880	481,09	61,47
Minimum				14,020	112,63	32,00

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Uji Laboratorium untuk Material Batupasir
 Sumber: Departemen Geologi PT. Indominco Mandiri, 2017 [7]

No.	LUBANG BOR	SAMPLE NO.	LITHOLOGY	INDEX PROPERTIES	DIRECT SHEAR	
				Natural Density	C peak	ϕ peak
				kN/m ³	kPa	°
1	2410G	2410G spl.18	Sandstone	18,090	232,72	55,67
2	2410G	2410G spl.28.29	Sandstone	15,400	160,36	47,60
3	2520G	2520G spl.4	Sandstone	18,280	160,36	56,31
4	2520G	2520G spl.8	Sandstone	16,840	320,73	50,53
5	2520G	2520G spl.43	Sandstone	15,950	160,36	37,13
6	2522G	2522G spl.32	Sandstone	16,320	361,00	47,45
Mean				16,813	232,59	49,12
Standar Deviasi				1,163	89,339	7,006
Maksimum				18,280	361,00	56,31
Minimum				15,400	160,36	37,13

Tabel 4. *Material Properties* untuk Batubara
 Sumber: Irwandi Arief, 2016 [2]

No.	LUBANG BOR	SAMPLE NO.	LITHOLOGY	INDEX PROPERTIES	DIRECT SHEAR	
				Natural Density	C peak	ϕ peak
				kN/m ³	kPa	°
1	SSS 02	-	Coal	12,613	212,00	38,40

3.2. Geometri Lereng

Geometri rencangan lereng akhir yaitu pada lereng *highwall* A tinggi 141 m dan sudut lereng keseluruhan 41°, lereng *highwall* B tinggi 70,4 m dan sudut lereng keseluruhan 47°, lereng *lowwall* A tinggi 63,3 m dan sudut lereng keseluruhan 14°, lereng *lowwall* B tinggi 39 m dan sudut lereng keseluruhan 16°.

3.3. Hasil *Goodness of Fit Test*

Hasil *Goodness of Fit Test* ditunjukkan pada Tabel 5, hasil tersebut digunakan sebagai data masukan dalam perhitungan pendekatan probabilitas longsor.

Tabel 5. *Material Statistics* untuk Batulumpur dan Batupasir

No	Material Name	Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
----	---------------	----------	--------------	------	-----------	----------	----------

1	Mudstone	Cohesion	Gamma	251,63	85,41	139,00	142,68
2	Mudstone	Phi	Normal	40,71	8,49	18,71	10,76
3	Mudstone	Unit Weight	Normal	16,50	1,77	3,07	3,70
4	Sandstone	Cohesion	Gamma	247,04	91,72	86,67	113,96
5	Sandstone	Phi	Normal	37,68	6,77	10,55	7,99
6	Sandstone	Unit Weight	Gamma	16,34	0,71	0,94	0,86

3.4. Perhitungan Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor

Tabel 6 Hasil Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan

Nama	Lereng	Sudut Lereng Keseluruhan (°)	Tinggi Lereng (m)	FK (deterministic)	FK (mean)	PL (%)
Lereng A	Highwall	41	141,5	1,39	1,4	3,8
Lereng B	Highwall	47	70,43	1,76	1,78	3,2
Lereng A	Lowwall	14	63,3	4,66	4,77	0
Lereng B	Lowwall	16	39,2	7,57	7,67	0

3.5. Optimasi Rancangan Lereng

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng menggunakan perhitungan faktor keamanan dan probabilitas longsor (Tabel 6), diketahui untuk keempat lereng dikategorikan aman. Oleh karena itu, pada lereng *highwall* A dan B dapat dilakukan optimasi geometri lereng, sedangkan untuk lereng *lowwall* A dan B tidak dilakukan karena menyesuaikan dengan bentuk lapisan batubara yang sudah ditambang.

Optimasi lereng dilakukan dengan variasi terhadap sudut lereng keseluruhan (Tabel 7 dan Tabel 8), pada lereng A dilakukan dengan menegakkan sudut lereng tunggal, sedangkan pada lereng B dilakukan dengan mengurangi lebar *berm*. Perubahan sudut lereng tunggal ini berdasarkan pengamatan lokasi penelitian yang menunjukkan lereng sudah dilakukan penambangan. Selain itu analisis lereng aktual pada juga menunjukkan bahwa lereng tunggal 51° dengan batuan terlemah memiliki nilai FK 7,7 dan PL 0%. Hasil analisis menunjukkan lereng tunggal lereng aktual termasuk dalam kategori aman. Sehingga dapat dilakukan optimasi dengan cara mengubah lereng tunggal.

Tabel 7. Nilai FK dan PL Variasi Sudut Lereng Keseluruhan pada Lereng A

Nama	Lereng	Sudut Lereng Keseluruhan (°)	Sudut Lereng Tunggal (°)	Tinggi Lereng (m)	FK (deterministic)	FK (mean)	PL (%)
A	Highwall	41	55	141,5	1,39	1,4	3,8
	Variasi 1	42	57	141,5	1,365	1,37	3,8
	Variasi 2	43	59	141,5	1,32	1,33	5
	Variasi 3	45	61	141,5	1,31	1,31	5,2
	Variasi 4	46	63	141,5	1,3	1,3	7,2
	Variasi 5	47	65	141,5	1,27	1,28	10,4

Tabel 8. Nilai FK dan PL Variasi Sudut Lereng Keseluruhan pada Lereng B

Nama	Lereng	Sudut Lereng Keseluruhan (°)	Lebar Berm	Tinggi Lereng (m)	FK (deterministic)	FK (mean)	PL (%)
B	Highwall	47	5,09	70,43	1,76	1,78	3,2
	Variasi 1	49	4,5	70,43	1,62	1,64	6,4
	Variasi 2	51	4	70,43	1,52	1,54	7,8
	Variasi 3	52	3,8	70,43	1,49	1,51	8,6
	Variasi 4	53	3,5	70,43	1,44	1,46	10,2

Keterangan

- : Lereng awal
- : Lereng variasi dibawah batas kriteria aman
- : Lereng variasi melewati batas kriteria aman

3.6. Diskusi

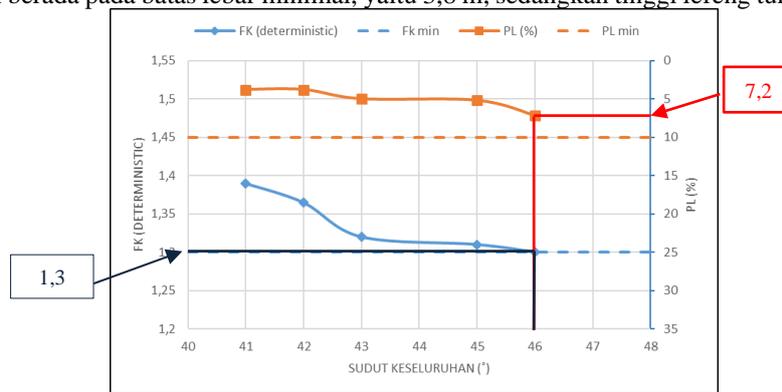
3.6.1. Analisis Stabilitas Lereng

Hasil analisis stabilitas lereng (Tabel 6) menunjukkan bahwa lereng-lereng tersebut termasuk dalam kategori aman. Kemudian berdasarkan analisis tersebut, terdapat peluang untuk melakukan optimasi sudut lereng keseluruhan dengan cara menegakkannya sampai pada batas FK dan PL yang ditentukan. Optimasi dilakukan dalam rangka untuk memaksimalkan *recovery* batubara pada *pit* 8AN. Penegakkan lereng dilakukan dengan cara menambah sudut lereng tunggal untuk lereng *highwall* A dan mengurangi lebar *berm* untuk lereng *highwall* B. Sedangkan untuk *lowwall*, baik lereng A maupun B tidak dilakukan penegakkan karena mengikuti dari bentuk *seam* batubara yang telah ditambang.

3.6.2. Variasi Sudut Lereng Keseluruhan

1. Lereng *Highwall* A

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng, lereng *highwall* A termasuk dalam kategori aman. Oleh karena itu, pada lereng A dapat dilakukan optimasi agar dapat memaksimalkan perolehan batubara dengan cara menegakkan sudut lereng keseluruhan. Penegakkan sudut lereng keseluruhan dalam hal ini adalah dengan cara memperbesar sudut lereng pada masing-masing lereng tunggal dengan tinggi lereng dan lebar *berm* tetap. Hal ini dikarenakan pada lereng A, lebar *berm* sudah berada pada batas lebar minimal, yaitu 3,8 m, sedangkan tinggi lereng tunggal 8 m tidak berubah.

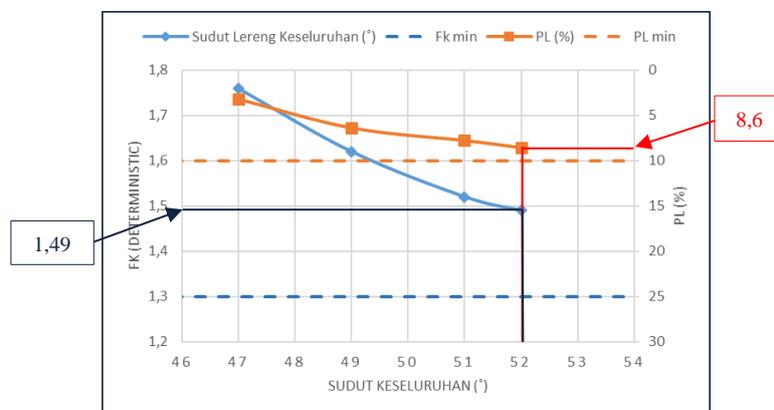


Gambar 2. Grafik Hubungan Sudut Lereng Keseluruhan, Nilai FK dan Nilai PL Lereng B

Variasi dilakukan dengan menambah sudut lereng tunggal dari sebelumnya 55° menjadi 63°, sehingga sudut kemiringan lereng keseluruhan bertambah dari 41° menjadi 46°. Gambar 5.1 menunjukkan hubungan antara sudut keseluruhan dengan nilai FK dan PL, yaitu bahwa semakin besar sudut lereng keseluruhan pada lereng A, maka nilai FK semakin kecil dan nilai PL semakin besar. Hasil dari optimasi ini yaitu nilai FK mengalami penurunan menjadi 1,3 dan nilai PL mengalami kenaikan menjadi 7,2%.

2. Lereng *Highwall* B

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng, lereng *highwall* B termasuk dalam kategori aman. Oleh karena itu, pada lereng B dapat dilakukan optimasi agar dapat memaksimalkan perolehan batubara dengan cara menegakkan sudut lereng keseluruhan. Penegakkan sudut lereng keseluruhan dalam hal ini adalah dengan cara memperkecil lebar *berm* pada masing-masing lereng tunggal dengan tinggi lereng dan sudut lereng tunggal tetap. Hal ini dikarenakan pada lereng B, sudut lereng tunggal sudah berada pada batas maksimal, yaitu 70°, sedangkan tinggi lereng tunggal 8 m tidak berubah.



Gambar 3. Grafik Hubungan Sudut Lereng Keseluruhan, Nilai FK dan Nilai PL Lereng B

Variasi dilakukan dengan mengurangi lebar *berm* lereng tunggal dari sebelumnya 5,09 m menjadi 3,8 m, sehingga sudut kemiringan lereng keseluruhan bertambah dari 47° menjadi 53°. Gambar 5.4 menunjukkan hubungan antara sudut keseluruhan dengan nilai FK dan PL, yaitu bahwa semakin besar sudut lereng keseluruhan pada lereng B, maka nilai FK semakin kecil dan nilai PL semakin besar. Hasil dari penambahan sudut lereng keseluruhan ini yaitu nilai FK mengalami penurunan menjadi 1,49 dan nilai PL mengalami kenaikan menjadi 8,6%.

3.6.3. Dampak Perubahan Geometri Lereng

Analisis kestabilan lereng yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pada lereng A dan B sayatan A-A' dalam kondisi aman. Kemudian pada lereng A dan lereng B dilakukan upaya optimasi dengan cara menegakkan lereng keseluruhan. Kegiatan optimasi yang dilakukan pada *highwall* lereng A dan lereng B ini memiliki dampak terhadap meningkatnya cadangan batubara. Penegakkan lereng yang dilakukan memungkinkan batubara yang seharusnya tidak ditambang menjadi bisa ditambang.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan mengenai analisis kestabilan lereng pada bab sebelumnya adalah sebagai berikut :

1. Rancangan lereng akhir penambangan pada *pit* 8AN yang terdiri dari lereng *highwall* A dan B, serta lereng *lowwall* A dan B termasuk dalam kategori aman.
2. Optimasi lereng dilakukan dengan variasi sudut kemiringan lereng keseluruhan, pada lereng *highwall* A dengan menambah sudut lereng tunggal dari 55° menjadi 63° sehingga sudut kemiringan lereng keseluruhan bertambah dari 41° menjadi 46°, sedangkan pada lereng *highwall* B dengan mengurangi lebar *berm* lereng dari 5,09 m menjadi 3,8 m sehingga sudut kemiringan lereng keseluruhan bertambah dari 47° menjadi 53°. Semakin besar sudut lereng keseluruhan, semakin kecil nilai FK (lereng A 1,39 menjadi 1,3 dan lereng B 1,76 menjadi 1,49) dan semakin besar nilai PL (lereng A 3,8% menjadi 7,2 % dan lereng B 3,2 % mejadi 8,6%).
3. Kegiatan optimasi yang dilakukan pada *highwall* lereng A dan lereng B memiliki dampak terhadap meningkatnya cadangan batubara.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih terhadap pihak kampus Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta dan PT. Indominco Mandiri yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Azizi, Masagus Ahmad., Rr Harminuke Eko Handayani., *Prosiding Seminar AVoER ke-3 tahun 2011*, Karakterisasi Parameter Masukan untuk Analisis Kestabilan Lereng Tunggal (Studi Kasus di PT. Tambang Batubara Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan). 2011: Hal 329.
- [2] Arif, Irwandi. Geoteknik Tambang Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta. 2016: hal 18-21 dan 55-56.
- [3] Cochran, William G. *Some Methods for Strengthening the Common X² tests*, The Johns Hopkins University. 1954: hal 420.
- [4] Hoek E., Bray J. *Rock Slope Engineering 3rd Edition*. Canada : Taylor & Francis Routledge. 1981; hal 22.
- [5] J. Supranto. Statistika Teori dan Aplikasi, Edisi Ketujuh, Jakarta, Penerbit Erlangga. 2008; hal 400.
- [6] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral., 2018., Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik, hal 57 dan 91.
- [7] PT. Indominco Mandiri. *Report on Coal Exploration PT. Indominco Mandiri*. 1992. Tidak Dipublikasikan
- [8] PT. Indominco Mandiri. *Report of Geology Department PT. Indominco Mandiri*. 2017. Tidak Dipublikasikan.
- [9] Togani, C.U, Rini K. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Semarang, Pemilihan Distribusi Probabilitas Pada Analisa Hujan dengan Metode *Goodness of Fit Test*. 2016: hal 143.
- [10] Willey, D.C., Mah, W.C. *Rock Slope Engineering (Civil and Mining)*, Spon Press, 4th edition, ISBN 0-203-49900, New York. 2004: hal 33-37.