

Kestabilan Lereng Optimal Tambang Batubara *Highwall* dan *Lowwall* disertai Probabilitas Kelongsorannya PT XYZ di Kecamatan Lahei Kabupaten Barito Utara Provinsi Kalimantan Tengah

Arswinda Radita*, Febri Hirnawan, Noor Fauzi

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

*raditaarwinda@gmail.com

Abstract. Slope stability is an important issue in the planning and operation of open mines. The design of a stable and precise slope geometry will have a large impact on the economy and the continuity of mine operation to maximize production. To find out the design of a stable slope, slope stability analyses are needed to get the number of safety factors from a particular slope shape. This company will open a new pit, so slope stability analyses along with probability of landslides resulting in optimal slope design is required. The study was conducted with the aim to identify the sequence of stratigraphic positions and physical-mechanical properties of rocks at the study site by rotary drilling, and to determine the stability of slope geometry of pits being based on design recommendations of highwall and lowwall overall pit slopes of optimal safety factors and lowest values of failure probabilities. In analyzing the stability of slopes required data from laboratory testing results, including data on physical and mechanical properties of rocks. These data are then tested for normality in order to match the variables using the Kolmogorov-Smirnov method using SPSS 26.0 Statistics Software. Slope stability analysis is performed using the Bishop boundary equilibrium method accompanied by probabilistic analysis using the Monte Carlo and Latin-Hypercube method using Slide 6.0 Software. Based on the results of the study, it can be seen that the constituent rocks at the study site consist of sandstone, claystone, siltstone and coal. Classification of rock strength is classified as very soft. Single safe slope geometries are $H = 15$ m and $\theta = 62^\circ$ for sandstone, $H = 10$ m and $\theta = 60^\circ$ for claystone, $H = 8$ m and $\theta = 60^\circ$ for siltstone and $H = 12$ m and $\theta = 60^\circ$ for coal. While the slope design recommendations for highwall A are $H = 95.79$ m and $\theta = 48^\circ$, highwall B is $H = 90.61$ m and $\theta = 35^\circ$, highwall C is $H = 95.00$ m and $\theta = 28^\circ$ and highwall D is $H = 78.30$ m and $\theta = 48^\circ$ and for lowwall A is $H = 105.64$ m and $\theta = 24^\circ$, lowwall B is $H = 94.00$ m and $\theta = 22^\circ$, lowwall C is $H = 113.66$ m and $\theta = 18^\circ$ and lowwall D is $H = 77.00$ m and $\theta = 40^\circ$.

Keywords: Slope Stability, Highwall, Lowwall, Factor of Safety, Failure Probability.

Abstrak. Kestabilan lereng merupakan faktor penting dalam perencanaan dan operasional tambang terbuka. Desain dari lereng yang stabil dan tepat akan mempunyai dampak yang besar terhadap keekonomian serta kontinuitas produksi tambang. Untuk mengetahui desain lereng yang stabil tersebut maka

diperlukan analisis kestabilan lereng. Perusahaan tempat penelitian akan membuka *pit* baru sehingga diperlukan analisis kestabilan lereng disertai probabilitas kelongsoran untuk memperoleh desain lereng yang optimal. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui stratigrafi dan karakteristik batuan pada lokasi penelitian, mengetahui geometri lereng optimal pada lokasi penelitian serta menentukan rekomendasi desain pada lereng untuk *highwall* dan *lowwall* dengan nilai FK dan PK yang optimal. Dalam melakukan analisis kestabilan lereng diperlukan data hasil pengujian laboratorium, meliputi data sifat fisik dan sifat mekanik batuan. Data-data tersebut kemudian diuji normalitas dengan tujuan untuk mencocokkan variabel menggunakan metode Kolmogorov - Smirnov menggunakan *Software* Statistika SPSS 26.0. Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan metode kesetimbangan batas *Bishop* disertai analisis probabilistik dengan menggunakan metode Monte Carlo dan *Latin – Hypercube* menggunakan *Software Slide* 6.0. Berdasarkan hasil penelitian, dapat diketahui bahwa batuan penyusun pada lokasi penelitian terdiri dari *sandstone*, *claystone*, *siltstone* dan *coal*. Klasifikasi kekuatan batuan tergolong sangat lunak. Geometri lereng tunggal yang aman yaitu $H = 15$ m dan $\theta = 62^\circ$ untuk *sandstone*, $H = 10$ m dan $\theta = 60^\circ$ untuk *claystone*, $H = 8$ m dan $\theta = 60^\circ$ untuk *siltstone* dan $H = 12$ m dan $\theta = 60^\circ$ untuk *coal*. Sedangkan rekomendasi desain lereng untuk *highwall* A yaitu $H = 95,79$ m dan $\theta = 48^\circ$, *highwall* B yaitu $H = 90,61$ m dan $\theta = 35^\circ$, *highwall* C yaitu $H = 95,00$ m dan $\theta = 28^\circ$ dan *highwall* D yaitu $H = 78,30$ m dan $\theta = 48^\circ$ dan untuk *lowwall* A yaitu $H = 105,64$ m dan $\theta = 24^\circ$, *lowwall* B yaitu $H = 94,00$ m dan $\theta = 22^\circ$, *lowwall* C yaitu $H = 113,66$ m dan $\theta = 18^\circ$ dan *lowwall* D yaitu $H = 77,00$ m dan $\theta = 40^\circ$.

Kata Kunci: Kestabilan Lereng, Highwall, Lowwall, Faktor Keamanan (FK), Probabilitas Kelongsoran (PK).

1. Pendahuluan

Analisis kestabilan lereng ditujukan untuk mendapatkan angka faktor keamanan dari suatu bentuk lereng tertentu. Dengan diketahuinya faktor keamanan maka akan memudahkan pekerjaan pembentukan atau perkuatan lereng untuk memastikan apakah lereng yang telah dibentuk mempunyai risiko longsor atau cukup stabil (Supandi, 2013). Nilai $FK < 1$ lereng dinyatakan tidak stabil dan $FK > 1$ lereng dinyatakan stabil tetapi kenyataannya masih terdapat lereng dengan $FK > 1$ mengalami kelongsoran. Hal ini disebabkan nilai FK diperoleh dari hasil analisis faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng yang memiliki sejumlah besaran ketidakpastian pada faktor tersebut. Kelemahan nilai FK yaitu menganggap nilai rata-rata parameter masukan sudah mewakili karakteristik dari masing-masing parameter masukan. Namun kenyataannya, seluruh parameter masukan mempunyai peluang yang sama untuk menghasilkan nilai FK tertentu.

Oleh karena itu, nilai FK lereng dapat dioptimasi dengan nilai PK, sehingga dapat memberikan tingkat keyakinan terhadap desain lereng tersebut (Masagus, dkk, 2011). Nilai PK dioptimasi dengan menggunakan metode probabilistik yang memberikan representasi eksplisit dari ketidakpastian dalam kajian stabilitas lereng (Masagus, dkk, 2011). PT XYZ merupakan salah satu tambang batubara yang terletak di Kecamatan Lahei berencana akan membuka *pit* baru. Kondisi massa batuan pada daerah ini tergolong lemah karena termasuk batuan sedimen seperti *sandstone*. Sehingga untuk menjamin keamanan serta kelancaran operasi penambangan yang akan dilakukan, maka terlebih dahulu diperlukan analisis kestabilan lereng disertai probabilitas kelongsoran untuk memperoleh desain lereng yang optimal.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, terdapat beberapa tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui susunan stratigrafi perlapisan batuan dan karakteristik fisik – mekanik batuan.
2. Mengetahui geometri lereng dalam keadaan stabil yang optimal.
3. Mengetahui sampai sejauh mana rekomendasi desain pada lereng untuk *highwall* dan *lowwall* dengan nilai FK dan PK yang optimal.

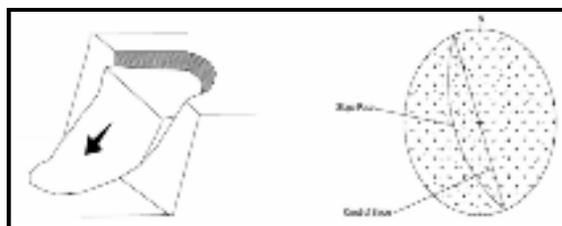
2. Landasan Teori

Dalam dunia pertambangan, umumnya tambang terbuka akan selalu berkaitan dengan masalah kelerengan. Oleh karena itu, diperlukan suatu analisis kestabilan lereng agar dapat meningkatkan keekonomian dan keselamatan pada suatu tambang. Masalah stabilitas lereng tambang umumnya ditemukan pada penggalian tambang terbuka, bendungan untuk cadangan air kerja, tempat penimbunan limbah buangan atau *tailing disposal* dan penimbunan bijih atau *stockyard*.

Adapun faktor yang mempengaruhi dalam analisis kestabilan lereng, antara lain:

1. Geometri lereng, yaitu tinggi dan kemiringan lereng.
2. Struktur geologi pada lokasi penelitian, terdapat struktur geologi sekunder yaitu sesar naik.
3. Sifat fisik-mekanik, yaitu kuat geser dan bobot isi massa batuan pembentuk lereng.
4. Kondisi air tanah dalam massa batuan lereng.
5. Kegempaan, berdasarkan peta zonasi gempa Indonesia.

Lereng tambang yang tidak stabil akan mengalami longsoran hingga lereng menemukan titik keseimbangannya yang baru. Jenis atau bentuk longsoran lereng akan bergantung pada karakteristik jenis material penyusun dan juga struktur geologi yang berkembang di daerah tersebut. Salah satunya yaitu longsoran busur. Longsoran busur merupakan longsoran yang sering terjadi pada lereng yang tersusun oleh batuan lunak – agak keras (<10 MPa) dan di lereng-lereng timbunan. Adapun bentuk bidang gelincir dari longsoran ini akan menyerupai busur jika digambarkan pada penampang melintang. Kondisi umum longsoran busur dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kondisi Umum Longsoran Busur

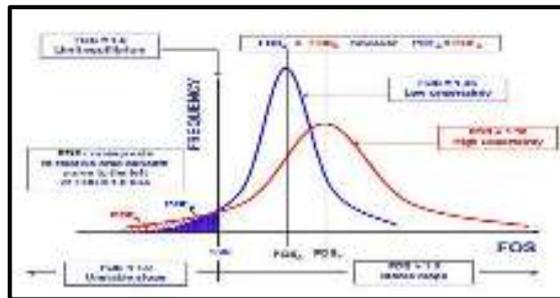
Dalam geoteknik, analisis statistika yang digunakan yaitu analisis univarian. Analisis univarian merupakan analisis terhadap banyak data tanpa memperhatikan lokasi tempat pengambilan datanya. Uji normalitas digunakan untuk mengetahui data yang akan dianalisis berdistribusi normal atau tidak. Secara fundamental, data yang berdistribusi normal dapat diketahui melalui bentuk histogram seperti lonceng. Uji normalitas yang digunakan untuk mengetahui distribusi data yaitu Kolmogorov – Smirnov.

Analisis kestabilan lereng dilakukan agar memperoleh desain lereng yang optimum. Ada banyak metode yang dapat digunakan dalam menganalisis kestabilan lereng, tergantung data, *software* untuk mendesain, tingkat ketelitian perhitungan yang diperlukan serta hasil yang diinginkan. Semakin teliti data yang digunakan untuk perhitungan stabilitas lereng ini, maka hasil yang diperoleh akan semakin mendekati kenyataan sebenarnya (Arif, 2016). Beberapa metode yang digunakan, antara lain:

1. Metode Keseimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*), salah satu metode keseimbangan batas yang terkenal yaitu metode irisan dengan Metode Analisis Bishop. Metode Bishop digunakan untuk menganalisis permukaan gelincir (*slip surface*) yang berbentuk busur lingkaran. Metode ini berasumsi bahwa gaya-gaya normal total bekerja

pada pusat alas potongan dan dapat ditentukan dengan menguraikan gaya pada potongan secara vertikal atau normal. Persyaratan keseimbangan dipakai pada potongan-potongan yang membentuk lereng tersebut. Metode Bishop menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal (*Bishop, 1955*).

2. Metode Probabilitas, merupakan pendekatan alternatif dalam menentukan kestabilan lereng, yang dapat menjawab kemungkinan lereng akan mengalami kelongsoran selain nilai faktor keamanan (FK). Hal menarik dari metode probabilitas adalah representasi yang eksplisit dari ketidakpastian pada setiap parameter yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng. Pada akhirnya nilai FK dapat dioptimasi dengan nilai Probabilitas Kelongsoran (PK) sehingga dapat memberikan tingkat keyakinan terhadap disain tersebut (*Masagus, dkk, 2011*). Konsep probabilitas kelongsoran dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Konsep Probabilitas Kelongsoran

Dalam Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik telah ditetapkan kriteria probabilitas kelongsoran (*Probability of Failure*) yang dapat diterima (*Acceptance Criteria*). Kriteria tersebut dapat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kriteria Probabilitas Kelongsoran

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/Jenang (Bench)	Low - High	1,1	Tidak Ada	25 - 50 %
Multi Jenang (Interramp)	Low	1,15 - 1,2	1,0	25%
	Medium	1,2	1,0	20%
	High	1,2 - 1,3	1,1	10%
Keseluruhan (Overall)	Low	1,2 - 1,3	1,0	15 -20%
	Medium	1,3	1,05	5 - 10%
	High	1,5	1,1	≤ 5%

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Kegiatan penelitian yang dilakukan dimulai dari pengeboran geoteknik di 6 titik pengeboran, antara lain GHPI – 02, GHPI – 03, GHPI – 04, GHPI – 05, GHPI – 11 dan GHPI – 12 untuk memperoleh sampel batuan. Kemudian sampel batuan akan diuji di laboratorium untuk mengetahui sifat fisik (*density*) dan mekanik (kuat geser dan kuat tekan). Dari kegiatan pengeboran geoteknik juga diperoleh *logbor* yang digunakan sebagai dasar pembuatan penampang geoteknik untuk pemodelan lereng yang akan dianalisis.

Analisis kestabilan lereng yang akan dilakukan terbagi menjadi 2 (dua), yaitu lereng tunggal dan lereng keseluruhan. Kedua lereng dianalisis menggunakan metode kesetimbangan batas (*Bishop*) sangat cocok digunakan untuk jenis batuan yang lunak dan metode probabilitas (Monte Carlo untuk lereng tunggal dan *Latin – Hypercube* untuk lereng keseluruhan).

Secara umum, *input* parameter dalam analisis kestabilan lereng yaitu *natural density*, *saturated density*, kohesi dan sudut gesek dalam (keadaan *peak* dan residu). *Input* parameter terbagi menjadi 2, yaitu *input* parameter geoteknik (nilai *mean*) dan *input* parameter estimasi probabilistik (diperoleh dari hasil pengujian normalitas berupa nilai *mean*, standar deviasi, relatif minimum dan relatif maksimum).

Analisis kestabilan lereng tunggal dan keseluruhan dilakukan pada beberapa ketinggian dan sudut geometri. Kondisi Muka Air Tanah (MAT) yang digunakan dalam analisis kestabilan lereng diasumsikan dalam kondisi jenuh (MAT 5) yang merupakan kondisi paling kritis. Sedangkan pembebanan yang digunakan berasal dari data kegempaan daerah penelitian sebesar 0,15 GPA.

Karakteristik dan Klasifikasi Batuan Penyusun

Karakteristik batuan penyusun didominasi oleh batu pasir kuarsa berbutir sedang mengandung sisipan batulempung karbonan, batulanau karbonan, berlapis tebal dan batupasir berbutir kasar – sedang. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium uji *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) dapat diketahui klasifikasi kekuatan batuan penyusun berdasarkan klasifikasi kuat tekan uniaksial menurut *Bieniawski* dan *Tamrock* untuk litologi *sandstone* memiliki nilai rata-rata kuat tekan sebesar 1,88 MPa, litologi *claystone* memiliki nilai rata-rata sebesar 1,58 MPa dan litologi *siltstone* memiliki nilai rata-rata sebesar 2,39 MPa. Ketiga termasuk dalam klasifikasi batuan sangat lunak.

Berdasarkan hasil klasifikasi batuan penyusun daerah penelitian, dapat diketahui secara umum batuan tergolong batuan sangat lunak (1 – 25 MPa) sehingga metode yang digunakan dalam analisis kestabilan lereng menggunakan *Software Slide 6.0* dilakukan dengan metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*). Metode ini sangat cocok digunakan untuk klasifikasi batuan yang tergolong lunak (10 MPa).

Analisis Kestabilan Lereng Tunggal (*Single Slope*)

Analisis kestabilan lereng tunggal menggunakan nilai residu, hal ini dikarenakan lereng dekat dengan permukaan sehingga dipengaruhi oleh kegiatan penambangan (gali, muat dan angkut), gempa dan pengaruh iklim serta cuaca.

Berdasarkan analisis kestabilan lereng tunggal yang telah dilakukan maka geometri lereng yang direkomendasikan menurut ketetapan KEPMEN ESDM No. 1827/K/MEM/2018 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekomendasi Geometri Lereng Tunggal

Litologi	Tinggi (m)	Sudut (°)	FK _{statis}	PK (%)	FK _{dinamis}	PK (%)
<i>Sandstone</i>	15	62	1,76	25,40	1,48	32,80
<i>Claystone</i>	10	60	1,33	33,23	1,13	45,30
<i>Siltstone</i>	8	60	1,33	33,90	1,11	47,60
<i>Coal</i>	12	60	4,30	0,00	3,67	0,00

Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan (*Overall Slope*)

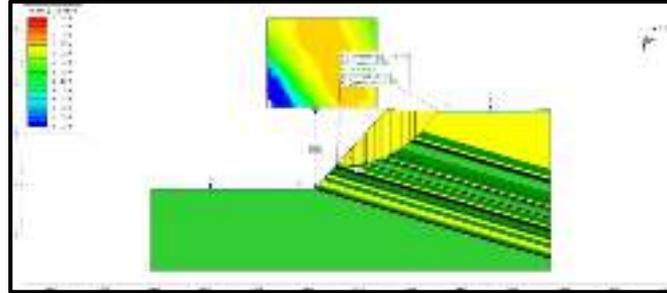
Analisis kestabilan lereng keseluruhan dilakukan pada *section* A, B, C dan D menggunakan *Software Slide 6.0* dilakukan dengan metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) disertai analisis probabilitas kelongsoran dengan metode *Latin – Hypercube* hal ini dikarenakan metode ini cocok digunakan untuk analisis *overall slope* yang mana memiliki litologi berlapis. Analisis kestabilan lereng keseluruhan menggunakan nilai *peak* hal ini dikarenakan lereng tidak dekat dengan permukaan sehingga tidak dipengaruhi faktor dari luar.

Berdasarkan analisis kestabilan lereng keseluruhan *highwall* yang telah dilakukan pada sudut 48° sampai 18° maka diperoleh rekomendasi geometri lereng menurut ketetapan KEPMEN ESDM No. 1827/K/MEM/2018 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekomendasi Geometri Lereng Keseluruhan *Highwall*

Section	Tinggi (m)	Sudut ($^{\circ}$)	Elevasi (Mdpl)	FK _{statis}	PK (%)	FK _{dinamis}	PK (%)
A	95,79	48	-20	1,45	0,10	1,14	12,00
B	90,61	35	-40	1,40	2,20	1,06	38,50
C	95,00	28	-40	1,46	0,60	1,06	39,40
D	78,30	48	-20	1,71	0,00	1,37	0,20

Contoh rekomendasi lereng keseluruhan untuk highwall dapat dilihat pada Gambar 3.

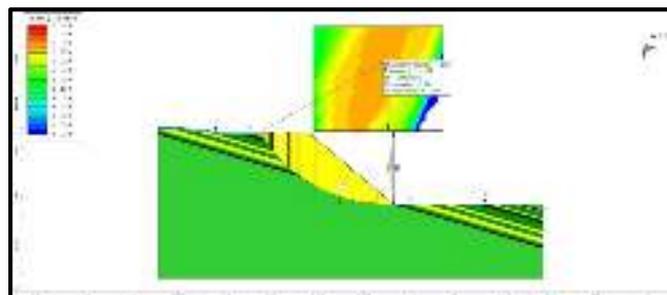
**Gambar 3.** Rekomendasi Lereng Keseluruhan untuk *Highwall*

Berdasarkan analisis kestabilan lereng keseluruhan *lowwall* yang telah dilakukan pada sudut 40° sampai 18° maka diperoleh rekomendasi geometri lereng menurut ketentuan KEPMEN ESDM No. 1827/K/MEM/2018 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekomendasi Geometri Lereng Keseluruhan *Lowwall*

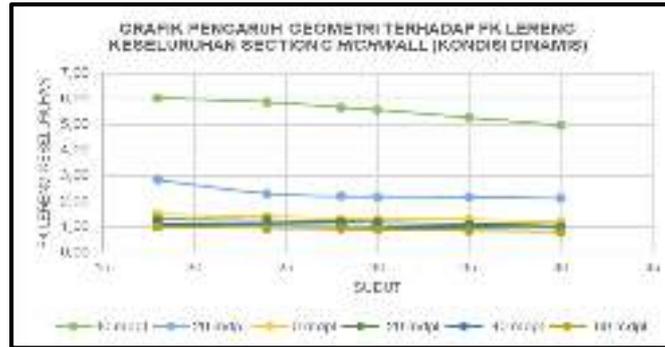
Section	Tinggi (m)	Sudut ($^{\circ}$)	Elevasi (Mdpl)	FK _{statis}	PK (%)	FK _{dinamis}	PK (%)
A	105,64	24	-20	1,49	0,20	1,04	37,40
B	94,00	22	-40	1,53	7,50	1,05	46,70
C	113,66	18	-60	1,65	4,00	1,06	43,10
D	77,00	40	-20	1,44	9,50	1,10	36,20

Contoh rekomendasi lereng keseluruhan untuk *highwall* dapat dilihat pada Gambar 4.

**Gambar 4.** Rekomendasi Lereng Keseluruhan untuk Lowwall

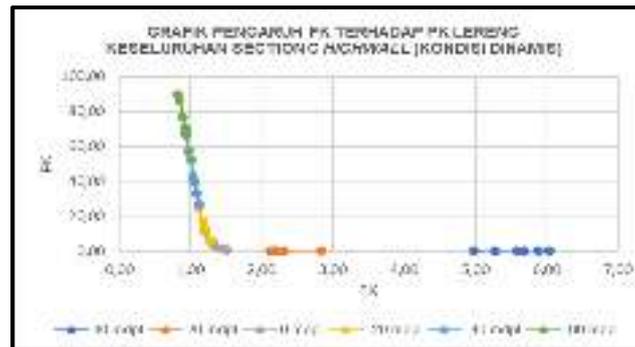
Pengaruh Geometri Lereng, FK dan PK

Berdasarkan analisis kestabilan lereng yang telah dilakukan yang bertujuan untuk memperoleh nilai Faktor Keamanan (FK) maka dapat diketahui bahwa pengaruh geometri lereng berbanding terbalik terhadap faktor keamanan lereng. Pada Gambar 5. Menunjukkan bahwa semakin rendah ketinggian dan semakin kecil sudut lereng artinya lereng akan landai sehingga nilai faktor keamanannya akan besar. Tetapi jika ketinggian dan sudut lereng semakin besar artinya lereng semakin terjal maka nilai faktor keamanan semakin kecil.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Geometri terhadap Faktor Keamanan (FK) Lereng Keseluruhan

Berdasarkan analisis probabilitas kelongsoran yang telah dilakukan, maka dapat diketahui bahwa nilai faktor keamanan berbanding terbalik terhadap probabilitas kelongsoran. Pada Gambar 6. Menunjukkan bahwa semakin besar nilai faktor keamanan maka kemungkinan untuk terjadinya longsor semakin kecil artinya nilai probabilitas kelongsorannya kecil. Tetapi jika nilai faktor keamanan semakin kecil maka kemungkinan terjadinya longsor akan semakin besar. Hal ini dikarenakan, angka faktor keamanan semakin kecil disebabkan ketinggian dan sudut lereng besar sehingga gaya penahan longsor akan semakin kecil jika dibandingkan dengan gaya penggerak yang terjadi. Oleh karena itu, potensi longsor akan semakin tinggi.



Gambar 6. Grafik Pengaruh FK terhadap PK Lereng Keseluruhan

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, antara lain:

1. Susunan stratigrafi daerah penelitian terdiri dari *sandstone*, *claystone*, *siltstone* dan *coal*. Karakteristik batuan berdasarkan hasil pengujian *Uniaxial Compressive Strength* (UCS), klasifikasi kekuatan batuan penyusun tergolong sangat lunak berdasarkan klasifikasi kuat tekan menurut *Bieniawski* dan *Tamrock* dengan nilai sebesar 0,17 – 6,42 MPa, yang mana berdasarkan peta geologi regional daerah penelitian tersusun atas batuan sedimen didominasi oleh *sandstone* dan *claystone*.
2. Geometri lereng optimal yang digunakan untuk lereng tunggal yaitu ketinggian 15 m dan sudut 62° untuk litologi *sandstone*, ketinggian 10 m dan sudut 60° untuk litologi *claystone*, ketinggian 8 m dan sudut 60° untuk litologi *siltstone* serta ketinggian 12 m dan sudut 60° untuk litologi *coal* dengan rekomendasi geometri yang dapat diterapkan mengikuti geometri dengan tinggi dan sudut kemiringan terkecil yaitu ketinggian 8 m dan sudut 60°.
3. Rekomendasi desain lereng yang diperoleh berdasarkan Kepmen ESDM No. 1827/K/MEM/2018 untuk *highwall* dan *lowwall* dapat dilihat pada Tabel 3. Dan Tabel 4.

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., dkk, 2018, “Pengaruh Geometri Lereng Terhadap Perolehan Batubara Tertambang di PT Arutmin Indonesia Site Kintap Kalimantan Selatan”, Seminar Nasional Pakar ke 1, Jakarta.
- [5] Anonim, 2018, “Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik”, Kepmen 1827K/30/MEM/2018, Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral.
- [6] Arif, Irwandy, 2016, “Geoteknik Tambang”, Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- [7] Aririzki, 2015, “Uji Normalitas secara Analitik”, Jakarta.
- [8] Bhina, Krahn, 2013, “Uji Normalitas Secara Deskriptif”, Jakarta.
- [9] Bishop, A. W., 1955, “*The Use of Slip Surface in The Stability of Analysis Slopes*”, Geotechnique, Vol 5., London.
- [10] Hoek, E., Bray, J. W., 1981, “*Rock Slope Engineering*”, Institution of Mining and Metallurgy, London.
- [11] Hoek, E., Bray, J. W., 1987, “*Factor of Safety and Probability of Failure, Chapter 8 – Rock Engineering King, H. 1982, “A Guide to the Understanding of Ore Reserve Estimation*”, Australian Institute of Mining and Metallurgy, Australia.
- [12] Steffen, O.K.H., Contreras, L.F., Terbrugge, P.J., Venter, J., 2008. “*A Risk Evaluation Approach for Pit Slope Design*”, the 42th US Rock Mechanics Symposium and 2nd US-Canada Rock Mechanics Symposium, San Fransisco.
- [13] Supandi, 2013, “Pemodelan Parameter Geoteknik dalam Merespon Perubahan Desain Tambang Batubara dengan Sistem Tambang Terbuka”, STTNAS: Depok.
- [14] Supriatna, Sam, dkk., 1980. “Pemodelan Parameter Geoteknik dalam Merespon Perubahan Desain Tambang Batubara Dengan Sistem Tambang Terbuka”, SEMNAS Ke-8 : Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi, Yogyakarta.
- [15] Supriatna, dkk., 1995. “Peta Geologi Lembar Samarinda”, P3G, Bandung.