

KAJIAN KESTABILAN LERENG *HIGHWALL* BERDASARKAN ANALISIS PROBABILITAS DI PT.TA TABANG KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA PROVINSI KALIMANTAN TIMUR

*Muhammad Bima Saputra, Alpiana, Joni Safaat Adiansyah

Fakultas Teknik, Program Studi DIII Teknologi Pertambangan, Universitas Muhammadiyah Mataram

*sbima2145@gmail.com, alpiana061010@gmail.com, joni.adiansyah@gmail.com

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima: 30-08-2019

Disetujui: 12-10-2019

Kata Kunci:

Geoteknik
Lereng penambangan
Batubara
Faktor Keamanan
Analisis Probabilitas

Keywords:

Geotechnical
mining slope
Coal
Safety Factors
Probability Analysis

ABSTRAK

Kestabilan lereng tambang terbuka pada industri pertambangan merupakan salah satu isu penting, semakin lebar dan dalam tambang terbuka tersebut dilakukan penggalian, semakin besar resiko yang akan muncul atau semakin meningkatkan ketidakpastian pada faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng tambang terbuka tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah memberikan rekomendasi desain geometri lereng tunggal, lereng keseluruhan yang optimum untuk *plan* pit, dan mengetahui parameter masukan yang paling berpengaruh terhadap kestabilan rencana lereng penambangan. Metode yang digunakan adalah metode probabilitas dengan menggunakan aplikasi *software slide 6.0*. Hasil analisis lereng menunjukkan desain dari geometri lereng tunggal dengan tinggi 10 meter dengan sudut 60° material *overburden* dan material *coal*. Selain itu untuk dengan tinggi 90 meter menghasilkan 2 rekomendasi yaitu, pertama dengan sudut keseluruhan 32° dengan lebar *berm* 5 meter memiliki nilai FK (mean) 1,453 dan nilai PK 2,80%. Kedua, sudut lereng keseluruhan 28° dengan lebar *berm* 10 meter memiliki nilai FK (mean) 1,671 dan nilai PK 3,80%. Berdasarkan hasil analisis sensitifitas pada lereng keseluruhan didapatkan parameter masukan yang paling berpengaruh adalah *internal friction angle* material *overburden* pada sudut keseluruhan 32° dengan nilai FK <1,0 dan pada sudut keseluruhan 28° dengan nilai FK <0,9.

ABSTRACT

The slope stability in the mining industry in the open pit mine is one of the major issues. The wider and deeper the open pit mine, the greater risk will slope occur or it will increase the uncertainty for factors affecting the stability of the open pit mine. The purpose of the study is to recommend the single slope geometry design, the optimum overall slope for the plan pit, and to find the most important input parameters for the slope stability plan of the mining. The method used is the probability method by using the software slide 6.0. Slope analysis results show the design of a single slope geometry with a height of 10 meters with an angle of 60° for overburden and coal material. In addition, the height of 90 meters generates two recommendations as follows first, an overall angle of 32° with a berm of 5 meters has an FK value (mean) 1.453 and a PK value of 2.80%. Second, the overall slope angle of 28° with a berm of 10 meters has an FK (mean) value of 1.671 and a PK value of 3.80%. Based on the results of sensitivity analysis on the overall slope, the most influential input parameter is the internal friction angle of the material overburden at an overall angle of 32° with FK values <1.0 and at an overall angle of 28° with FK values <0.9

A. LATAR BELAKANG

Kestabilan lereng tambang terbuka pada industri pertambangan merupakan salah satu isu penting, hal ini berkaitan dengan peningkatan produksi perusahaan tambang di Indonesia, akibatnya perusahaan tambang

tersebut melakukan pelebaran dan pendalaman penggalian[1]. Semakin lebar dan dalam tambang terbuka tersebut dilakukan penggalian, maka tentunya akan semakin besar resiko yang akan muncul atau semakin meningkatkan ketidakpastian pada faktor-

faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng tambang terbuka tersebut [2].

Faktor-faktor yang mempengaruhi kelongsoran lereng mencakup sifat fisik dan mekanik batuan, kondisi air tanah, karakterisasi massa batuan, struktur yang ada pada batuan serta geometri lereng. Banyaknya faktor yang mempengaruhi dalam analisis kestabilan suatu lereng, serta terdapatnya sejumlah ketidakpastian terhadap faktor tersebut, membuat indikator kestabilan lereng yang digunakan saat ini faktor keamanan (FK) tidak mampu memberikan desain teoritis yang aman dalam desain praktek suatu lereng. Hal ini terlihat dari beberapa lereng yang diteliti oleh Hoek & Bray, dimana masih terjadi longsor pada lereng yang memiliki kriteria faktor keamanan yang dapat diterima serta didapatkan beberapa lereng yang masih stabil pada kriteria faktor keamanan yang tidak dapat diterima. Atau dengan kata lain, ada lereng aman longsor dan ada lereng tidak aman tidak longsor [2].

Longsoran merupakan suatu bencana alam yang sering terjadi pada lereng – lereng alami maupun buatan kebanyakan longsor terjadi pada saat tekanan air tanah meningkat yang mengakibatkan penurunan kuat geser tanah (c), dan sudut geser dalam (α) yang menyebabkan kelongsoran [3]. Pada saat merancang suatu tambang terbuka maka dilakukan suatu analisis terhadap kestabilan lereng yang terjadi karena proses penubunan atau penggalian sehingga dapat memberikan keamanan pada rancangan tersebut. Stabilitas dari suatu lereng biasanya menjadi masalah yang membutuhkan perhatian yang lebih bagi kelangsungan operasi penambangan setiap harinya.

Kajian geoteknik untuk penentuan geometri lereng meliputi kegiatan pengambilan sample dengan pemboran di lapangan, pengujian *properties* tanah dan batuan di laboratorium, pengolahan data dari lapangan dan laboratorium, serta analisis komprehensif terhadap seluruh data yang diperoleh [4].

Menurut [1], 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. Pada proses ini nilai parameter masukan dan faktor keamanan akan dikarakterisasi distribusi nilai masing-masing. Di samping itu juga pendekatan ini dapat melihat faktor yang paling mempengaruhi kestabilan lereng melalui analisis sensitivitas perubahan nilai setiap parameter masukan terhadap nilai faktor keamanan.

Penentuan sudut kemiringan lereng yang dapat diterima (*acceptable angle of slope*) adalah suatu parameter paling penting dalam perencanaan tambang terbuka. Namun ketidakpastian yang terkait dengan geometri lereng, sifat fisik dan mekanik batuan, kondisi pembebanan dan reliabilitas model mengakibatkan proses pemilihan sudut kemiringan lereng yang sesuai

menjadi lebih sulit. Hal menarik dari metode probabilistik adalah representasi yang eksplisit dari ketidakpastian dalam kajian stabilitas lereng. Nilai faktor keamanan disain lereng dapat dioptimasi dengan nilai probabilitas kelongsoran sehingga dapat memberikan tingkat keyakinan terhadap disain tersebut.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan jenis penelitian terapan (*applied research*) yaitu suatu kegiatan yang sistematis dan logis dalam rangka menemukan sesuatu yang baru atau aplikasi baru dari penelitian-penelitian yang telah pernah dilakukan selama ini. Berbeda dengan penelitian murni, penelitian terapan lebih menekankan pada penerapan ilmu, aplikasi ilmu, ataupun penggunaan ilmu untuk dan dalam masyarakat, ataupun untuk keperluan tertentu [5].

1. Analisis Data

Analisis kestabilan lereng penambangan dengan menggunakan probabilitas kelongsoran. Lereng yang dianalisis dengan nilai input data yang didapat dilapangan akan menghasilkan suatu nilai dimana hasil tersebut dapat di bandingkan dengan memenuhi nilai kemampooterimaan atau ambang batas tertentu. Pengolahan data hasil penyelidikan geoteknik dan pengujian conto geoteknik yang menggambarkan model dengan parameter yang ditetapkan [6].

TABEL 1.

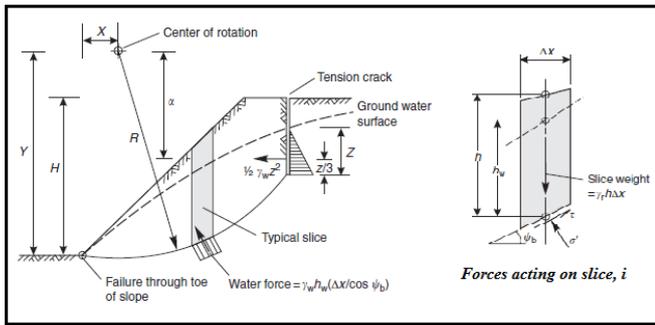
Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang

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%
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%

Sumber: keputusan-menteri-esdm-nomor-1827-k-30-mem-2018

2. Metode Analisis Yang Digunakan

Kestabilan lereng dianalisis menggunakan metode irisan dengan metode analisis *Bhisop* yang disederhanakan. Menurut [7]. Metode Bishop dipakai untuk menganalisis permukaan gelincir (*slip surface*) yang berbentuk lingkaran. Metode ini menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada irisan mempunyai resultan nol pada arah vertical.



Gambar 1 . Metode Bishop Disederhanakan

Faktor Keamanan (FK) ditentukan dengan persamaan 1 sebagai berikut :

$$FK = \frac{\sum X / (1 + Y / FS)}{\sum Z + Q} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan :

$$X = [c + (\gamma r \cdot h - \gamma_w \cdot h_w) \tan \phi] (\Delta x / \cos \psi_b)$$

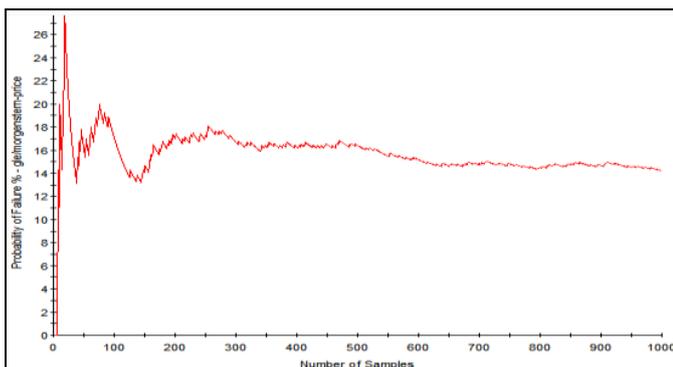
$$Y = \tan \psi_b \cdot \tan \phi$$

$$Z = \gamma r \cdot h \Delta x \sin \psi_b$$

$$Q = 1/2 \gamma_w z^2 (z/R)$$

3. Metode Sampling, Jumlah Sampel, Dan Tipe Analisis Yang Digunakan

Analisis probabilitas pada penelitian ini dijalankan menggunakan metode sampling *Monte Carlo*, metode yang umum digunakan dalam analisis probabilitas kestabilan lereng, dengan jumlah sampel ditentukan sebanyak 1000 buah. Sampel sebanyak 1000 dinilai sudah cukup mampu memberikan hasil perhitungan probabilitas kelongsoran yang konvergen [2].



Gambar 2. Convergence Plot Probabilitas Kelongsoran Untuk Jumlah Sampel 1000

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Observasi lapangan

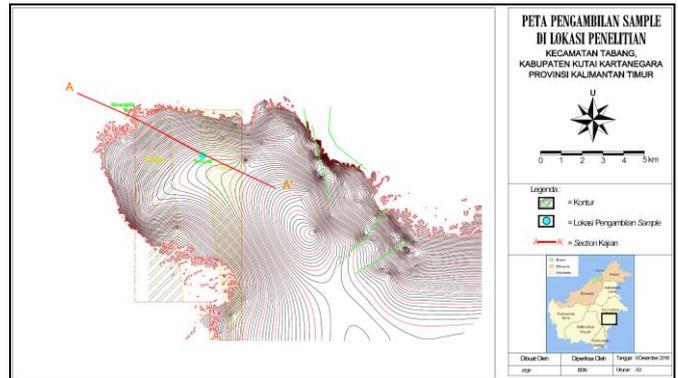
Observasi lapangan bertujuan untuk melakukan pemetaan, pengukuran dan pengambilan sampel langsung dilapangan. Ada tiga tahapan pokok yang telah dilaksanakan, yaitu:

- a. Pengeboran dan pengambilan sampel

Pengeboran geoteknik bertujuan untuk melakukan pengambilan sampel langsung di

lapangan, mengetahui karakteristik tanah dan batuan yang ada di bawah permukaan demi memenuhi keperluan pengujian di laboratorium.

Lokasi titik pengeboran ditentukan berdasarkan pada *pit boundary* yang telah direncanakan sesuai dengan penyebaran merata keseluruhan daerah wilayah yang telah ditentukan, antar titik bor ditentukan searah *strike dip* penyebaran batubara. Lokasi titik pengeboran geoteknik pada titik bor TA17_30GT dengan koordinat 40°67'23" N dan 26°83'4" E diperlihatkan oleh gambar 3 dibawah ini.

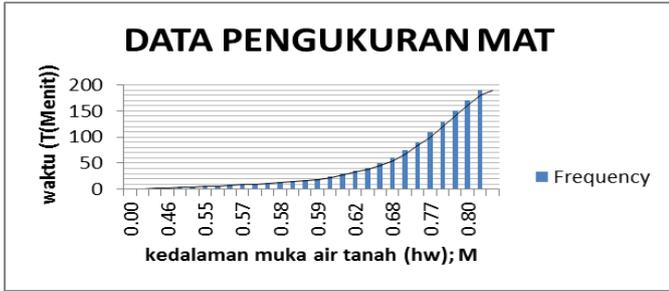


Gambar 3. Peta Lokasi Titik Bor Geoteknik PT.TA

Dari pengeboran titik bor geoteknik, diambil sampel untuk setiap lapisan tanah dan batuan sebagai representasi litologi di lapangan. Sampel diambil setiap range kedalaman 50m dengan jumlah dan panjang sampel yang dapat diambil 25-30 cm, pengambilan dipengaruhi oleh banyak jenis batuan, tebal lapisan, dan kondisi perlapasan batuan, semakin banyak jenis batuan, semakin banyak sampel yang perlu diambil. Semakin tebal dan baik kondisi batuan, utuh dan tidak adanya retak atau patah sampel yang keluar dari inner tube core barrel, maka sampel dapat diambil dalam jumlah cukup untuk keperluan pengujian dan sebagai sampel cadangan, sebaiknya untuk lapisan batuan yang tipis atau kondisi batuan yang buruk. Berikut merupakan table hasil pengeboran di lapangan yang dilakukan pada lubang bor TA17_30GT yang memiliki kedalaman hingga 237,40 m.

- b. Pengujian Muka Air Tanah (*Slug Test*)

Pengujian muka air tanah atau sering disebut dengan pengujian slug test adalah variasi uji akuifer yang mengamati perubahan muka air tanah (MAT) secara instan (baik peningkatan maupun penurunan) pada sumur produksi.



Gambar 4. Data Hasil Pengukuran Slug Test (MAT)

Pengujian ini dilakukan dalam kegiatan untuk mendapatkan perkiraan cepat nilai hidrolis dalam skala waktu menit, bukan jam atau hari. Benda yang disebut slug sendiri adalah sebatang besi yang dijatuhkan ke dalam sumur agar muka air tanah berubah, naik untuk kemudian turun kembali ke posisi semula. Pengukuran tersebut diukur atau dilaksanakan setelah 1 hari (24 jam) pembuatan konstruksi lubang bor selesai, dan landasan beton benar-benar kering. Data analisis digenapkan menjadi 1 meter, sebagai data masukan dalam analisis stabilitas lereng.

Berikut merupakan hasil dari pengujian slug test yang dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini:

c. pengujian labolatorium
 Pengujian labolatorium ini dimaksudkan untuk mendapatkan data-data dari berbagai jenis batuan yang telah didapatkan dari lapangan yang akan digunakan sebagai data masukan dalam analisis stabilitas lereng. Tujuan pengujian agar memperoleh nilai dari bermacam pengujian secara akurat. Pengujian di bagi menjadi dua bagian yaitu, Sifat Fisik dan mekanik.

Dalam pengujian sifat fisik dan mekanik ini, untuk masing-masing sampel sudah mempunyai ketentuan-ketentuan untuk panjang sampel dan jumlah sampel yang akan di uji, seperti yang terlihat pada Tabel 2 dan tabel 3.

TABEL 2.

Panjang Sampel Batuan Berdasarkan Jenis Pengujian

No	Jenis Pengujian	Panjang Sampel (cm)
1	Sifat Fisik	4-6
2	Kuat Geser Langsung	8-10
3	Kuat Tekan Unaksial	12-13

TABEL 3.

Banyaknya sampel batuan per litologi berdasarkan jenis pengujian

No	Jenis Pengujian	Jumlah Sampel
1	Sifat Fisik	1 Buah
2	Kuat Geser Langsung	3 Buah
3	Kuat Tekan Unaksial	1 Buah

2. Permodelan Geoteknik

Setelah observai lapangan dan pengujian labolatorium, maka data yang diperoleh dari kegiatan tersebut akan menjadi masukkan (*input data*) dalam

permodelan geoteknik. Permodelan goeteknik tidak lepas dari dua hal penting yaitu data masukan dan langkah-langkah permodelan. Permodelan goeteknik ini diaplikasikan pada lereng tunggal dan lereng keseluruhan yang untuk selanjutnya akan ditentukan masing-masing nilai faktor keamanan (FK) dan probabilitas keamanan (PK), didapatkan parameter masukan yang berpengaruh pada rencana lereng tambang. Berikut ini tinggi dan sudut lereng yang akan digunakan dalam menentukan faktor keamanan lereng tunggal dan keseluruhan.

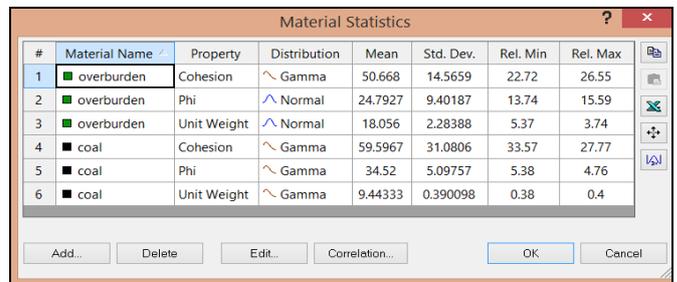
TABEL 4

Tinggi dan Sudut Lereng Permodelan Geoteknik

No	Lereng	Tinggi (m)	Sudut lereng (°)
1	Tunggal (<i>single slope</i>)	10	60
			65
			70
		15	60
			65
			70
2	Keseluruhan (<i>overall slope</i>)	90	Lebar Berm (m)
			5 10

Sebelum melakukan permodelan geoteknik, diperlukan data-data untuk mendukung dalam permodelan. Dari hasil uji labolatorium, akan ditentukan *properties* yang menjadi input model, material diasumsikan menjadi lapisan penutup (*overburden*). Pengolahan data terhadap parameter masukan analisis probabilitas yakni *cohesion*, *internal friction angle*, dan *density*. Dalam proses ini, perhitungan dibantu dengan menggunakan perangkat lunak (*software*).

Properties material meliputi *cohesion*, *internal friction angle*, dan *density*. Variable properties material dipaparkan dari hasil karakterisasi parameter masukan, dimana masukan untuk *overburden*, *cohesion* diasumsikan berdistribusi gamma, *internal friction angle*, dan *density* diasumsikan normal, masukan untuk *coal*, *cohesion*, *internal friction angle*, dan *density* diasumsikan berdistribusi gamma.



Gambar 5. Input Bentuk Dan Parameter PDF Properties Material Dari Hasil Karakterisasi Parameter Masukan

3. Analisis Lereng Tunggal (*single slope*)

Analisis kemandapan lereng tunggal merupakan salah satu bentuk dari permodelan geoteknik yang

bertujuan untuk mengetahui faktor keamanan dari lereng tunggal yang bersifat jangka pendek, berdasarkan tinggi jenjang dan besar sudut lereng yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil karakterisasi terhadap parameter masukan yang mencakup nilai relatifi minimum, nilai relatif maksimum, standar deviasi dan jenis fungsi distribusi masukan dalam analisis kestabilan lereng tunggal. Untuk parameter masukan lain seperti muka air tanah digunakan nilai asumsi yang telah dilakukan pengukuran. Analisis kemantapan lereng tunggal dengan menggunakan pendekatan probabilitas ini didasarkan pada dua kondisi lereng yaitu, kondisi setengah jenuh dan jenuh.

TABEL 5.
Analisis Lereng Tunggal *Overburden* Tinggi 10 Meter

Analisis Lereng Tunggal Setengah Jenuh Dan Jenuh <i>Overburden</i>				
Tinggi	10 m			
Sudut	60°	65°	70°	75°
Lereng Tunggal Setengah Jenuh				
Faktor Keamanan [FS (mean)]	2.20	2.08	1.93	1.82
Probabilitas Longsor (PF %)	0.00	0.00	0.10	0.50
Lereng Tunggal Jenuh				
Faktor Keamanan [FS (mean)]	2.20	2.08	1.93	1.82
Probabilitas Longsor (PF %)	0.00	0.00	0.10	0.50

TABEL 6.
Analisis Lereng Tunggal *coal* Tinggi 10 Meter
Analisis Lereng Tunggal Setengah Jenuh Dan Jenuh Batubara (Coal)

Analisis Lereng Tunggal Setengah Jenuh Dan Jenuh Batubara (Coal)				
Tinggi	10 m			
Sudut	60°	65°	70°	75°
Lereng Tunggal Setengah Jenuh				
Faktor Keamanan [FS (mean)]	4.09	3.86	3.64	3.38
Probabilitas Longsor (PF%)	0.0	0.0	0.0	0.0
Lereng Tunggal Jenuh				
Faktor Keamanan [FS (mean)]	4.09	3.86	3.64	3.38
Probabilitas Longsor (PF%)	0.0	0.0	0.0	0.0

TABEL 7.
Analisis Lereng Tunggal *overburden* Tinggi 15 Meter
Analisis Lereng Tunggal Setengah Jenuh Dan Jenuh *Overburden*

Analisis Lereng Tunggal Setengah Jenuh Dan Jenuh <i>Overburden</i>				
Tinggi	15 m			
Sudut	60°	65°	70°	75°
Lereng Tunggal Setengah Jenuh				
Faktor Keamanan [FS (mean)]	1.44	1.33	1.23	1.21
Probabilitas Longsor (PF%)	4.60	9.90	19.4	20.0
Lereng Tunggal Jenuh				

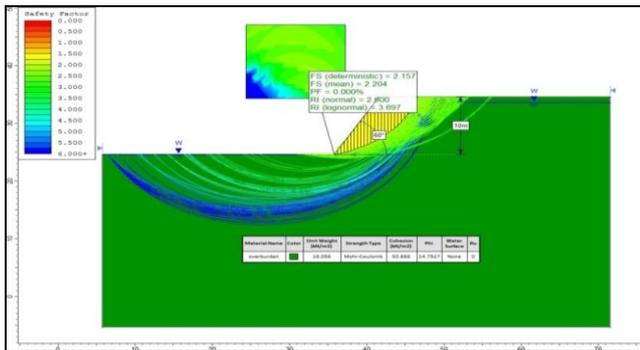
Faktor Keamanan [FS (mean)]	1.08	0.98	0.86	0.76
Probabilitas Longsor (PF%)	40.4	55.1	72.7	84.5

TABEL 8.
Analisis Lereng Tunggal *coal* Tinggi 15 Meter
Analisis Lereng Tunggal Setengah Jenuh Dan Jenuh *Coal*

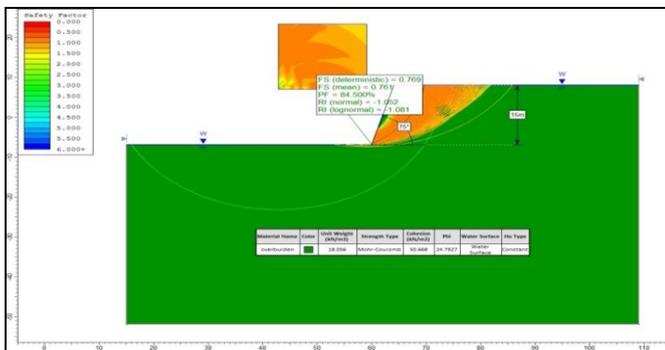
Analisis Lereng Tunggal Setengah Jenuh Dan Jenuh <i>Coal</i>				
Tinggi	15 m			
Sudut	60°	65°	70°	75°
Lereng Tunggal Setengah Jenuh				
Faktor Keamanan [FS (mean)]	2.13	2.04	1.99	1.84
Probabilitas Longsor (PF%)	0.0	0.0	0.0	1.2
Lereng Tunggal Jenuh				
Faktor Keamanan [FS (mean)]	1.40	1.24	1.1	0.90
Probabilitas Longsor (PF%)	29.3	40.2	48.6	58.7

Berdasarkan analisis lereng tunggal diatas dapat diketahui bahwa nilai faktor keamanan pada ketinggian 10 meter dan 15 meter dengan menggunakan sudut lereng 60°, 65°, 70°, dan 75° yang dikondisikan pada kondisi lereng setengah jenuh dan jenuh, didapatkan nilai analisis faktor keamanan yang seragam untuk tinggi jenjang 10 meter dan tinggi jenjang 15 meter bervariasi. Seperti yang terlihat pada Tabel 6.5, 6.6, 6.7, dan 6.8 diatas dapat diketahui bahwa nilai faktor keamanan paling terbesar pada tinggi jenjang 10 meter dengan sudut 60°, nilai faktor keamanan *overburden* 2.20 dan *coal* mencapai 4.09. Sedangkan untuk nilai faktor keamanan terkecil pada sudut 75°, nilai faktor keamanan *overburden* 1.82 dan *coal* 3.38, hasil faktor keamanan yang di dapatkan seragam pada kondisi setengah jenuh dan jenuh. Berdasarkan hasil analisis probabilitas longsor (PF) pada pada tinggi jenjang 10 meter di dapatkan hasil analisis aman dan seragam untuk material *overburden* dan *coal* pada kondisi setengah jenuh dan jenuh, yaitu sudut 60° PF 0.0%, 65° PF 0,0%, 70° PF 0.10% dan sudut 75° PF 0,50%, secara keseluruhan sudut yang menjadi masukan menunjukkan dalam kondisi aman dari *acceptance Criteria* PF 25-50%. Pada lereng dengan tinggi jenjang 15 meter dapat diketahui nilai faktor keamanan paling terbesarnya pada kondisi setengah jenuh dengan sudut 60°, nilai faktor keamanan *overburden* 1.44 dan *coal* 2.13. Sedangkan untuk nilai faktor keamanan terkecil pada sudut 75°, nilai faktor keamanan *overburden* 1.21 dan *coal* 1.84, didapatkan hasil analisis yang bervariasi. Pada lereng kondisi jenuh, didapatkan nilai analisis terbesar dengan sudut 60°, nilai faktor keamanan *overburden* 1.08 dan *coal* 1.40. Sedangkan untuk nilai faktor keamanan terkecil pada sudut 75°, nilai *overburden* 0.76 dan *coal* 0.90. Berdasarkan hasil analisis

probabilitas longsor (PF) pada tinggi jenjang 15 meter di dapatkan hasil analisis lereng setengah jenuh *overburden* dari sudut 60° PF 4.60% sampai sudut 75° PF 20.0% menunjukkan dalam kondisi aman dari *acceptance Criteria* PF 25-50%. Hasil analisis lereng setengah jenuh *coal* dari sudut 60° PF 0.0% sampai sudut 75° PF 1.20%, menunjukkan masih dalam kondisi aman dari *acceptance Criteria* PF 25-50%. Hasil analisis kondisi lereng jenuh material *overburden* sudut 60° PF 40.40% masih pada kondisi *acceptance criteria* 25-50% dan pada sudut 65° PF 55.10% sampai sudut 75° PF 84.50%, menunjukkan dalam kondisi tidak aman melewati *acceptance Criteria* PF 25-50%. Hasil analisis kondisi lereng jenuh material *coal* sudut 60° PF 29.30% sampai sudut 70° PF 48.60% masih pada kondisi *acceptance criteria* PF 25-50%, dan sedangkan untuk sudut 75° PF 58.70%, menunjukkan dalam kondisi tidak aman melewati *acceptance criteria* PF 25-50%. Secara keseluruhan analisis probabilitas lereng tunggal tinggi 15 meter dalam kondisi jenuh berada dalam kondisi tidak aman dengan dengan dampak kelongsoran kecil sampai besar pada material *overburden* sudut 75° PF 84.50% dari *acceptance Criteria* 25-50%.



Gambar 6. Contoh Keluaran Analisis Lereng Tunggal Dengan Tinggi Lereng 10 Meter Dan Sudut 60° Dalam Kondisi Aman Pada Kondisi Lereng Setengah Jenuh.



Gambar 7. Contoh Keluaran Analisis Lereng Tunggal Dengan Tinggi Lereng 15 Meter Dan Sudut 75° Dalam Kondisi Tidak Aman Pada Kondisi Lereng Jenuh.

4. Analisis Lereng keseluruhan (overall slope)

Langkah awal dalam analisis kestabilan lereng adalah pembuatan model lereng. Model lereng yang diinput dalam analisis ini merupakan desain yang didapat dari hasil pemboran lapangan dan dibuat dengan kondisi strike dip batubara (*coal*). Kondisi layer batuan penyusun lereng sesuai dengan kondisi lithologi hasil pemboran, serta nilai input material propertis merupakan hasil dari pengujian sampel batuan di laboratorium dan hasil dari karakterisasi parameter masukan.

Hasil analisis kestabilan lereng TA17_30GT menggunakan pendekatan probabilitas ini menghasilkan faktor keamanan yang dimungkinkan membangkitkan nilai dengan kepastian probabilitas kelongsoran dan indeks reliabilitas lereng. Berikut hasil analisis lereng keseluruhan (*overall slope*) yang diasumsikan menjadi tanah penutup (*overburden*) dan batubara (*coal*).

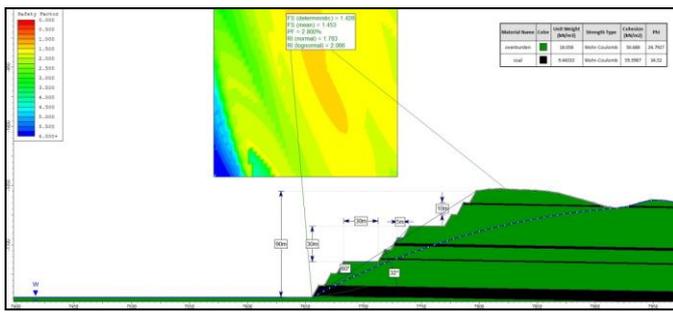
TABEL 9.

Hasil Analisis Lereng Keseluruhan

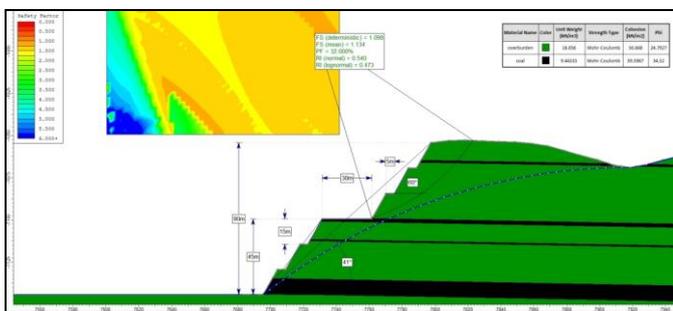
Tinggi (m) overall slope	Lebar Berm (m)	Tinggi jenjang (m)	Sudut (°) overall slope	FK (mean)	PK (%)	ket
90	5	10	32	1.453	2.80	AMAN
	5	15	41	1.134	32.0	TIDAK AMAN (dampak longsor n kecil)
	10	10	28	1.671	3.80	AMAN
	10	15	36	1.308	15.3	AMAN

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng menggunakan pendekatan probabilitas kelongsoran dengan kriteria FK dan PK berdasarkan Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik, analisis menunjukkan lereng *overall slope* tinggi jenjang 10 meter, lebar *berm* 5 meter, dengan sudut *overall slope* 32° dalam kondisi AMAN dengan hasil analisis faktor keamanan (mean) 1.453 dan probabilitas kelongsoran 2.80% artinya lereng dalam kondisi DAPAT DIANDALKAN Gambar 10. Analisis lereng *overall slope* tinggi jenjang 15 meter, lebar *berm* 5 meter, dengan sudut *overall slope* 41° dalam kondisi TIDAK AMAN dengan hasil analisis faktor keamanan (mean) 1.134 dan probabilitas kelongsoran 32.0% artinya lereng dalam kondisi TIDAK BISA DIANDALKAN dengan dampak kelongsoran resiko kecil Gambar 11. Analisis lereng *overall slope* tinggi jenjang 10 meter, lebar *berm* 10 meter, dengan sudut *overall slope* 28° dalam kondisi AMAN dengan hasil analisis faktor keamanan (mean) 1.671 dan probabilitas kelongsoran 3.80% artinya lereng dalam kondisi DAPAT DIANDALKAN Gambar 12. Analisis lereng *overall slope* tinggi jenjang 15 meter, lebar *berm* 10 meter, dengan sudut *overall slope* 36° dalam kondisi AMAN dengan hasil analisis

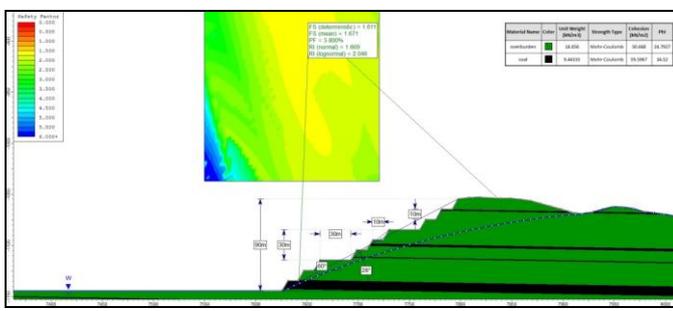
faktor keamanan (mean) 1.308 dan probabilitas kelongsoran 15.3% artinya lereng dalam kondisi DAPAT DIANDALKAN Gambar 13.



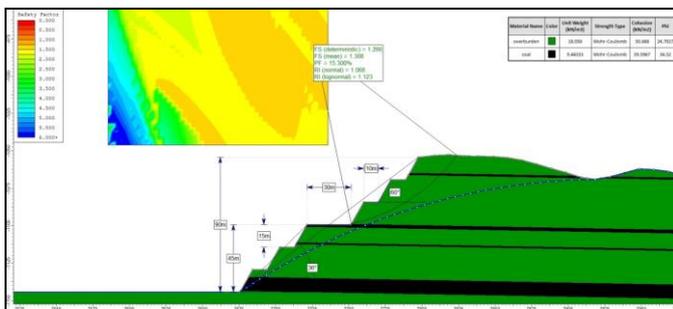
Gambar 10. Hasil Analisis *Overall Slope* Tinggi Jenjang 10 Meter Lebar *Berm* 10 Meter Dengan Sudut 32°



Gambar 11. Hasil Analisis *Overall Slope* Tinggi Jenjang 15 Meter Lebar *Berm* 5 Meter Dengan Sudut 41°



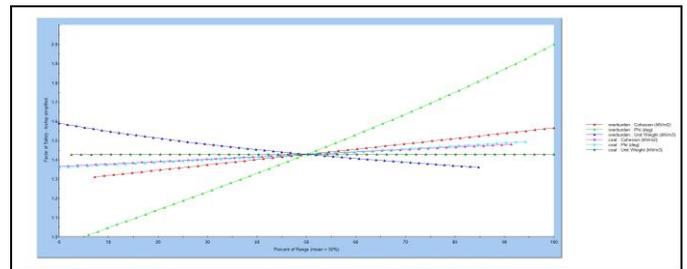
Gambar 12. Hasil Analisis Probabilitas *Overall Slope* Tinggi Jenjang 10 Meter Lebar *Berm* 10 Meter Dengan Sudut 28°



Gambar 13. Hasil Analisis Probabilitas *Overall Slope* Tinggi Jenjang 15 Meter Lebar *Berm* 10 Meter Dengan Sudut 36°

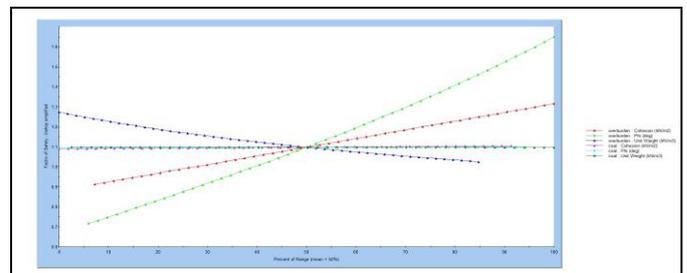
5. Analisis Sensitivitas

Hasil analisis sensitifitas pada lereng keseluruhan (*overall slope*) ditujukan untuk mengetahui parameter masukan yang paling berpengaruh terhadap kestabilan lereng dari masing-masing analisis parameter masukan. Hasil analisis sensitifitas pada lereng keseluruhan untuk parameter masukan dengan tinggi lereng lereng keseluruhan yang sama 90 meter, sudut lereng lereng keseluruhan bervariasi, menggunakan tinggi jenjang 10 meter dan 15 meter dengan sudut yang sama 60°, dan lebar *berm* 5 meter dan 10 meter ditunjukkan oleh analisis dibawah ini.



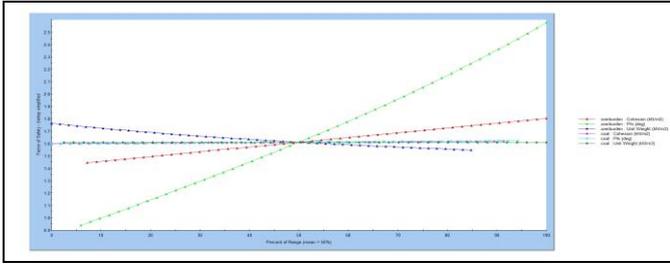
Gambar 14. Analisis Sensitivitas *Overall Slope* Dengan Tinggi 90 Meter Sudut *Overall Slope* 32° Tinggi Jenjang 10 Meter Sudut Jenjang 60° Dan Lebar *Berm* 5 Meter

Dilihat dari gambar *sensitivity plot* diatas yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah material input ϕ° (*Internal Friction Angle*) dengan nilai FK dibawah <1.0.



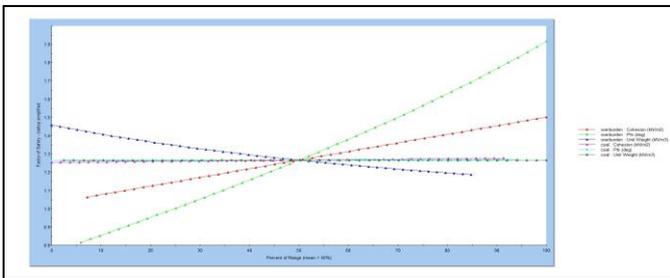
Gambar 15. Analisis Sensitivitas *Overall Slope* Dengan Tinggi 90 Meter Sudut *Overall Slope* 41° Tinggi Jenjang 15 Meter Sudut Jenjang 60° Dan Lebar *Berm* 5 Meter

Analisis menggunakan tinggi jenjang 15 meter dengan lebar *berm* 5 meter, yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah material input ϕ° (*Internal Friction Angle*) dengan nilai FK <0.7 dan material input *cohesion* (kN/m²) dengan nilai FK <0.9.



Gambar 16. Analisis Sensitivitas *Overall Slope* Dengan Tinggi 90 Meter Sudut *Overall Slope* 28° Tinggi Jenjang 10 Meter Sudut Jenjang 60° Dan Lebar *Berm* 10 Meter

Analisis menggunakan tinggi jenjang 10 meter dengan lebar *berm* 10 meter, yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah material input ϕ (*Internal Friction Angle*) dengan nilai FK dibawah <0.9.



Gambar 17. Analisis Sensitivitas *Overall Slope* Dengan Tinggi 90 Meter Sudut *Overall Slope* 36° Tinggi Jenjang 15 Meter Sudut Jenjang 60° Dan Lebar *Berm* 10 Meter

Analisis menggunakan tinggi jenjang 15 meter dengan lebar *berm* 10 meter, yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah material input ϕ (*Internal Friction Angle*) dengan nilai FK dibawah 0.8 dan nilai materil input *cohesion* (kN/m²) nilai FK dibawah <1.1.

Berdasarkan gambar grafik *sensitivity plot* di atas dapat dilihat analisis sensitivitas, serta diidentifikasi pengaruh masing-masing parameter masukan terhadap kestabilan lereng. Parameter *internal friction angle overburden* dan *cohesion overburden* merupakan parameter material input yang paling berpengaruh terhadap kestabilan lereng keseluruhan (*overall slope*). Analisis menggunakan tinggi jenjang 15 meter dengan lebar *berm* 5 meter dengan nilai material input ϕ (*Internal Friction Angle*) *overburden* 0.7 dan nilai materil input *cohesion* (kN/m²) *overburden* 0.9, dan nilai PK Gambar 6.7 diatas melewati *acceptance Criteria* 15-20%, banyak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kestabilan lereng keseluruhan. Analisis menggunakan tinggi jenjang 15 meter dengan lebar *berm* 10 meter masih biasa diterima dikarenakan FK dan PK masih sesuai standar *acceptance Criteria* 15-20%. Pada Analisis menggunakan tinggi jenjang 10 meter dengan lebar *berm* 5 meter dan tinggi jenjang 10 meter dengan lebar *berm* 10 meter, semua parameter nilai input material belum berpengaruh

signifikan karena nilai yang didapatkan masih sangatlah baik, akan tetapi tidak menutup kemungkinan seiring berjalannya waktu dan aktifitas penambangan dan cuaca, nilai probabilitas kelongsoran dan pengaruh material input akan mempengaruhi kestabilan lereng keseluruhan.

6. Rekomendasi Parameter Masukan *Single Slope* Dan *Overall Slope*

Secara keseluruhan dari setiap analisis analisis parameter masukan lereng yang telah dianalisis memiliki nilai FK dan PK yang berbeda, serta dari hasil analisis sentivitas parameter input berpengaruh besar terhadap kestabilan lereng keseluruhan (*overall slope*) kususnya nilai dari uji kuat geser (*internal friction angle* dan *cohesion*) salah satu langkah untuk mengurangi probabilitas kelongsoran.

a. *Lereng Tunggal (Single Slope)*

Dilihat dari hasil analisis lereng tunggal dengan menggunakan pendekatan analisis probailitas didasarkan pada tinggi jenjang 10 meter dan 15 meter dengan menggunakan sudut 60°, 65°,70°, dan 75° dan dikondisikan pada kondisi setengah jenuh dan jenuh. Dapat diketahui bahwa FK dan PK menunjukkan nilai faktor keamanan yang aman dan dapat diterima sesuai standar yang telah ditetapkan oleh Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik, adalah tinggi jenjang 10 meter dengan sudut 60° pada kondisi lereng setengah jenuh untuk material *overburden* dengan nilai PK (mean) 2.20 dan PK 0.0%. Dalam kondisi jenuh untuk material *overburden* dengan nilai PK (mean) 2.20 dan PK 0.0%. Analisis lereng tunggal material *coal* pada kondisi setengah jenuh, nilai FK (mean) 4.09 dan PK 0.0%. Dalam kondisi jenuh material *coal*, nilai FK 4.09 dan PK 0.0%. Analisis lereng tunggal nilai FK dan PK yang didapatkan seragam pada tinggi lereng 10 meter untuk material *overburden* dan *coal*. Rekomendasi parameter masukan ini berguna dalam dalam proses penanganan lereng untuk perencanaan lereng jangka pendek dan jangka panjang. Berikut Tabel 10 hasil analisis rekomendasi lereng tunggal menggunakan pendekatan probabilitas TA17_30GT.

TABEL 10.

Hasil Analisis Rekomendasi Desain Lereng Tunggal

Jenis Analisis Lereng	Tinggi Leren g (m)	Sudut Lereng Tunggal / Single Slope (°)	FK (mean)	PK (%)	Ket
Setengah Jenuh	10	60°	2.20	0.0	Aman
			4.09	0.0	
Jenuh			2.20	0.0	Dapat Diandalkan
			4.09	0.0	

b. Lereng Keseluruhan (*Overall Slope*)

Dilihat dari hasil analisis lereng keseluruhan dengan menggunakan pendekatan analisis probabilitas pada titik TA17_30GT, dapat diketahui bahwa rekomendasi pada lereng keseluruhan dengan tinggi lereng keseluruhan 90 meter adalah lereng keseluruhan dengan tinggi jenjang 10 meter, lebar berm 5 meter, sudut jenjang 60°, dan sudut lereng keseluruhan 32° memiliki nilai FK (mean) 1.453 dan nilai PK 2.80% menunjukkan bahwa lereng dalam kondisi aman Gambar 10 diatas. Rekomendasi kedua pada tinggi lereng keseluruhan 90 meter adalah lereng keseluruhan dengan tinggi jenjang 10 meter, lebar berm 10 meter, sudut jenjang 60°, dan sudut lereng keseluruhan 28° memiliki nilai FK (mean) 1.671 dan nilai PK 3.80% menunjukkan bahwa lereng juga berada dalam kondisi aman Gambar 12 diatas, sesuai acceptance criteria FK 1.2-1.3 dan PK 15-20% yang di atur oleh Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik.

TABEL 11.

Hasil Analisis Rekomendasi Desain Lereng keseluruhan

Lebar berm (m)	Sudut lereng keseluruhan (°)	FK (mean)	PK (%)	Ket
5	32	1.453	2.80	Aman
10	28	1.671	3.80	Dapat Diandalkan

D. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

- Rekomendasi desain lereng tunggal (single slope) dari hasil analisis ini berguna dalam proses penanganan lereng untuk perencanaan lereng jangka pendek dan jangka panjang, didapatkan hasil analisis lereng tunggal dengan tinggi 10 meter dan sudut 60° untuk material overburden dan material coal.
- Rekomendasi desain lereng keseluruhan (overall slope) menggunakan pendekatan analisis probabilitas pada titik TA17_30GT didapatkan 2 (dua) rekomendasi lereng tinggi 90 meter. Pertama tinggi lereng keseluruhan 90 meter dengan tinggi jenjang 10 meter, lebar berm 5 meter, sudut jenjang 60°, dan sudut lereng keseluruhan 32°. Kedua tinggi lereng keseluruhan 90 meter dengan tinggi jenjang 10 meter, lebar berm 10 meter, sudut jenjang 60°, dan sudut lereng keseluruhan 28°.
- Berdasarkan hasil analisis sensitifitas (*sensitivity plot*) pada lereng keseluruhan (*overall slope*) didapatkan parameter masukan yang paling berpengaruh adalah *internal friction angle* material *overburden*, pada sudut lereng keseluruhan 32° dengan lebar berm 5 meter memiliki nilai FK dibawah <1.0 dan pada sudut lereng keseluruhan 28° dengan lebar berm 10 meter memiliki nilai FK dibawah <0.9. Merupakan parameter material input yang paling berpengaruh terhadap kestabilan lereng keseluruhan.

2. Saran

- Pemantauan lereng yang terjadwal perlu dilakukan untuk mengetahui besar perpindahan massa batuan akibat penggalian atau aktifitas penambangan.
- Hasil pengukuran keberadaan air tidak berpengaruh signifikan terhadap kemantapan lereng, akan tetapi pengontrolan keberadaan air sangat perlu dilakukan agar tidak berpengaruh untuk kestabilan lereng.

DAFTAR RUJUKAN

- Masagus Ahmad Azizi, R. H. Karakterisasi Parameter Masukan Untuk Analisis Kestabilan Lereng Tunggal (Studi Kasus Di PT.Tambang Batubara Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim, Sumatra Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Avoer Ke-3*, (P. No.1). Palembang, 2011.
- Panji Kurnia Wiradani, B. H. Analisis Probabilitas Kelongsoran Menggunakan Metode Monte Carlo Pada Highwall Pit Sb-Ii Bk-14 PT. Trubaindo Coal Mining, Site Melak, Kabupaten Kutai Barat, Kalimantan Timur. *Jurnal Bina Tambang*, Vol.3, No.4, 2018.
- Kornelis Bria, A. I. Analisis Kestabilan Lereng Pada Tambang Batubara Terbuka Pit D Selatan PT.Artha Niaga

Cakrabuana Job Site CV.Prima Mandiri Desa Dondang Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. *Prosiding Seminar Nasional Retii*. Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jogjakarta, 2017.

- [4] UPNVY, L. Studi Geoteknik Untuk Penambangan Batubara PT. Senamas Energindo Mineral *.FINAL REPORT*. Yogyakarta: UPNVY, 2010.
- [5] Yusuf, A. Muri. Metodologi Penelitian Teliti & Hati-hati. 2005.
- [6] Kepmen. Keputusan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomer 1827 K/30/Mem/2018 Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik. Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2018.
- [7] Sony Mahardika, S. D. Analisis Kestabilan Lereng High Wall Berdasarkan Nilai Faktor Keamanan Dengan Metode Bishop Simplified Pada Pit S12gn PT. Kitadin Embalut Site, Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Mineral Ft Unmul*, Vol. 5, No. 2, 2017.