

**KAJIAN PROBABILITAS KEMANTAPAN LERENG
PADA *HIGHWALL* UNTUK REKOMENDASI
OPTIMALISASI *PIT* PELIKAN
PT. KALTIM PRIMA COAL *SITE* SANGATTA
KABUPATEN KUTAI TIMUR,
PROVINSI KALIMANTAN TIMUR**

*(Study of Probability by Slope Stability on Highwall for Recommendation
of Pit Pelikan Optimization site Sangatta, East Kutai Regency,
East Kalimantan Province)*

*Hasbi Trihatmanto, Tommy Trides, Windhu Nugroho
Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Samarinda*

Abstrak

PT. Kaltim Prima Coal adalah salah satu perusahaan tambang batubara terbesar di Indonesia dengan konsesi lahannya mencakup 90.938 Ha yang berlokasi di Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Pada tahun 2017, PT. Kaltim Prima Coal memiliki target produksi sebesar 63,983 juta ton dengan aktivitas penambangannya dilakukan dengan sistem tambang terbuka (*open pit*) sehingga membentuk jenjang untuk menjaga kemantapan batuan. Berbeda dengan cara deterministik yang hanya menggunakan satu nilai *properties* batuan tertentu yang dianggap mewakili, konsep probabilitas memakai semua data *properties* batuan yang ada untuk mengakomodasi setiap variasi yang terjadi. Hasil penelitian menunjukkan fungsi distribusi nilai UCS adalah Normal dan Log normal, fungsi distribusi nilai WD adalah Normal dan Gamma dan fungsi distribusi nilai GSI adalah Normal dan Log normal. Sayatan (*section*) yang dianalisis sebanyak 6 buah, yaitu HW_90A2, HW_S01, HW_S5A, HW_S06B, HW_S8C dan HW_S11C. Dari kegiatan analisis kemantapan lereng pada desain awal dari setiap *high wall* dengan lebar *berm* 15 meter dan tinggi *bench* 10 meter diperoleh FK terendah dan PK terendah pada HW_S5A memiliki FK_{det} sebesar 1.530, FK_{mean} sebesar 1.531 dan PK sebesar 0.100%. Kemudian, pada kegiatan *redesign high wall* untuk rekomendasi optimalisasi *pit* Pelikan yang beracuan pada kriteria ambang batas Stacey (2009) diperoleh sebuah rekomendasi *pit* pada *high wall* dengan lebar *berm* 8 meter dan tinggi *bench* 15 meter. Sehingga diperoleh kemantapan lereng terendah pada HW_S5A memiliki FK_{det} sebesar 1.308 dan FK_{mean} sebesar 1.301 sedangkan PK terbesar pada HW_S01 memiliki PK sebesar 4.540%. Dapat disimpulkan bahwa semua sayatan (*section*) *high wall pit* Pelikan adalah aman ($FK > 1.3$ dengan PK maksimum 10%). *Redesign high wall* untuk rekomendasi optimalisasi *pit* Pelikan dilakukan dengan mengubah tinggi *bench* sebesar 15 meter dan lebar *berm* sebesar 8 meter agar nilai FK mendekati 1.3 dengan nilai PK maksimum 10%.

Kata Kunci : Analisis, Faktor Keamanan (FK), Kemantapan Lereng, Optimalisasi *Pit*, Probabilitas Kelongsoran (PK)

Abstract

PT. Kaltim Prima Coal is one of the largest coal mining companies in Indonesia with land concessions covering 90,938 hectares located in East Kutai Regency, East Kalimantan Province. In 2017, PT. Kaltim Prima Coal has a production target of 63.983 million tons with its mining activities conducted by open pit system to establish the level of stability to maintain stability of the rock. Unlike a deterministic method that uses only one property value of a given rock that is considered to be representative, the concept of probability uses all available rock properties to accommodate any variation that occurs. The results showed that the distribution function of UCS value is Normal and Lognormal, the distribution function of WD value is Normal and Gamma and distribution function of GSI value is Normal and Lognormal. The sections analyzed were 6, namely HW_90A2, HW_S01, HW_S5A, HW_S06B, HW_S8C and HW_S11C. From the slope stability analysis activity on the initial design of each highwall with a width of 15 meters and a bench height of 10 meters obtained the lowest FoS and the lowest PoF on HW_S5A has FoS_{det} of 1,530, FoS_{mean} of 1,531 and PoF of 0.100%. Then, on the highwall redesign activity for recommendation of pit pelikan optimization on the criteria of threshold Stacey (2009) obtained a pit recommendations on highwall with a width of 8 meters and 15 meters high bench. So as to obtain the lowest slope stability on HW_S5A has FoS_{det} of 1,308 and FoS_{mean} of 1,301 while the largest PoF on HW_S01 has PoF of 4.540%. It can be concluded that all incisions (*section*) highwall pit Pelikan is safe ($FoS > 1.3$ with PoS maximum 10%). The highwall redesign for the Pelit pit optimization recommendation is done by changing the height of the bench by 15 meters and the width by 8 meters for the FoS value to approach 1.3 with a maximum PoF value of 10%.

Keywords: Analysis, Factor of Safety (FoS), Stability of Slope, Pit Optimization, Probability of Failure (PoF)

PENDAHULUAN

PT. Kaltim Prima Coal adalah salah satu perusahaan tambang batubara terbesar di Indonesia dengan konsesi lahannya mencakup 90.938 Ha yang berlokasi di Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Pada tahun 2017, PT. Kaltim Prima Coal memiliki target produksi sebesar 63,983 juta ton dengan aktivitas penambangannya dilakukan dengan sistem tambang terbuka (*open pit*) sehingga membentuk jenjang untuk menjaga kemantapan batuan (*Geology Department PT. Kaltim Prima Coal, 2017*). Pada kenyataannya, jenjang yang dibentuk oleh kegiatan penambangan sangat sering mengalami longsor (*failure*) akibat kegiatan penambangan itu sendiri, seperti kegiatan peledakan (*blasting*), kegiatan pemuatan, pengangkutan dan penimbunan demi mengejar target produksi. Di samping pengaruh kegiatan penambangan itu sendiri, keadaan alam sekitar juga merupakan faktor penting yang mempengaruhi turunnya nilai kemantapan lereng, seperti adanya struktur kekar (*joint*), struktur sesar (*fault*) dan tekanan air tanah (*groundwater pressure*).

Perilaku struktur batuan sangat bergantung pada *properties* batuan, baik yang berada di bawah maupun di sekelilingnya. Pada era 1990, analisis perancangan berbagai macam bangunan batuan didasarkan pada analisis model secara deterministik. Meskipun pendekatan secara deterministik telah dipakai secara luas, pada kenyataannya, hampir seluruh propertis tanah sangat bervariasi dan kemungkinan bersifat homogen sangat jarang terjadi. Konsep analisis dengan pendekatan probabilitas menjadi solusi mutakhir untuk mengatasi kurang telitinya model deterministik. Berbeda dengan cara deterministik yang hanya menggunakan satu nilai *properties* batuan tertentu yang dianggap mewakili, konsep probabilitas memakai semua data *properties* batuan yang ada untuk mengakomodasi setiap variasi yang terjadi. Beberapa *properties* batuan yang menunjukkan tingginya variasi data adalah hasil uji *Uniaxial Compressive Strength* (UCS), *Wet Density* (WD) dan *Geological Strength Index* (GSI).

Tujuan dari penelitian ini antara lain, menentukan jenis fungsi distribusi pada *properties* batuan sebagai data *input* dalam menentukan kemantapan lereng, menentukan nilai Faktor Keamanan Deterministik ($FK_{det.}$), Faktor Keamanan Rata-rata (FK_{mean}) dan Probabilitas Kelongsoran (PK) dan memberikan rekomendasi terkait geometri *design* optimalisasi dinding tambang pada *highwall* di *pit* Pelikan.

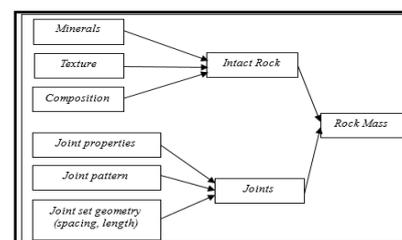
Area penambangan PT. Kaltim Prima Coal terletak pada 117°42'24" BT-117°22'45" BT dan

0°60'14" LU-0°38'48" LU, berada di Kecamatan Sangatta, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Untuk mencapai lokasi tersebut dapat melalui beberapa alternatif rute perjalanan, yaitu melalui rute darat dapat ditempuh dari Balikpapan-Samarinda-Simpang Bontang-Sangatta dengan total jarak 370 km, dengan rincian 150 km dari Samarinda dan 220 km dari Balikpapan, dengan kondisi jalan aspal agak rusak terutama jalur Bontang-Sangatta dan dapat ditempuh dengan kendaraan roda dua dan roda empat. Melalui rute udara dapat ditempuh dengan pesawat *Cassa* atau *Twin otter* dari bandara Sepinggang Balikpapan ke bandara Tanjung Bara di Sangatta selama 50 menit.

Mekanika Batuan

Mekanika batuan adalah salah satu cabang ilmu geologi yang mempelajari sifat dan perilaku batuan sebagai respon terhadap gaya-gaya yang mempengaruhi, seperti gaya internal dan gaya eksternal pada batuan. Gaya internal adalah gaya yang mempengaruhi batuan, seperti gaya tekan air. Gaya eksternal adalah gaya yang dipengaruhi oleh gaya tektonik dan aktivitas manusia seperti pengeboran dan peledakan (Arif, 2016). Menurut Palmstrom (1995) batuan dalam mekanika batuan dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu:

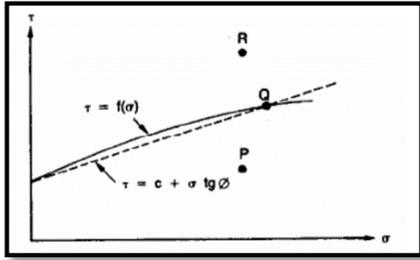
1. *Intact Rock* (batuan utuh), yaitu jenis batuan yang bersifat utuh atau masif dan tidak mengalami diskontinuitas seperti sesar, kekar, lipatan, atau foliasi. *Material* penyusun *intact rock* dapat terdiri dari satu jenis mineral atau banyak mineral. Faktor yang harus dipertimbangkan dalam mengukur kekuatan *intact rock* adalah kekuatan bisa berkurang seiring umur desain lereng akibat pelapukan (*weathering*).
2. *Rock Mass* (massa batuan), yaitu jenis batuan yang tidak bersifat utuh atau masif karena dipengaruhi oleh diskontinuitas seperti sesar, kekar, lipatan atau perlapisan. Kumpulan dari *intact rock* yang rusak disebabkan oleh diskontinuitas disebut *rock mass*. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan geser dari kekar *rock mass* meliputi kuat tekan dan sudut gesekan dari *intact rock*, dan jarak atau spasi dari diskontinuitas serta kondisi permukaan lereng.



Gambar 1. Skematik penyusunan massa batuan (Azizi, 2011)

Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb

Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb (2002) sampai saat ini masih banyak digunakan untuk menganalisis lereng. Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb sangat sederhana dan praktis pada penerapannya, yaitu dengan hanya mengetahui kohesi dan sudut geser dalam maka kriteria keruntuhan sudah dapat dihasilkan.



Gambar 2. Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb (Azizi, 2012)

Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb digambarkan pada **Gambar 2.** dalam bentuk garis lurus. Jika kedudukan tegangan baru mencapai titik P, keruntuhan tidak akan terjadi. Pada titik Q terjadi keruntuhan karena titik tersebut terletak tepat pada garis kegagalan. Titik R tidak akan pernah dicapai, karena sebelum mencapai titik R sudah terjadi keruntuhan.

Kriteria Keruntuhan Hoek-Brown

Hoek dan Brown (1980) dalam Hoek, *et al.* (2002) mengusulkan sebuah metode untuk menduga kekuatan massa batuan terkekarkan dengan pengembangan rumus (1).

$$\sigma_1' = \sigma_1' + \sigma_c(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_3} + s)^a \dots (1)$$

Dengan σ₁' dan σ₃' merupakan tegangan efektif maksimum dan minimum saat batuan runtuh. σ_c adalah kuat tekan UCS batuan utuh. m_b merupakan penurunan konstanta material m_i yang berasal dari pengujian triaksial batuan utuh di laboratorium dengan besarnya :

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right) \dots (2)$$

Untuk menentukan kuat tekan (σ_c), dan konstanta m_i dapat dilakukan melalui uji triaksial dengan menggunakan analisis regresi *non-linier*.

$$y = m\sigma_{ci}x + s\sigma_{ci} \dots (3)$$

$$x = \sigma_3' \dots (4)$$

$$y = (\sigma_1' - \sigma_3')^2 \dots (5)$$

$$\sigma_{ci}^2 = \frac{\sum y}{n} \left[\frac{\sum xy - (\sum x \sum y/n)}{\sum x^2 - (\sum x)^2/n} \right] \dots (6)$$

$$\sigma_{ci}^2 = \frac{\sum y}{\sigma_{ci}} \left[\frac{\sum xy - (\sum x \sum y/n)}{\sum x^2 - (\sum x)^2/n} \right] \dots (7)$$

s dan a adalah konstanta untuk massa batuan, dan dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right) \dots (8)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{\frac{-GSI}{1.5}} - e^{\frac{-20}{3}} \right) \dots (9)$$

Tabel 1. Nilai konstanta m_i batuan utuh (Marinos dan Hoek, 2001 dalam Arif, 2016)

Rock Type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very Fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates (12 ± 3) Breccias (19 ± 5)	Sandstones (17 ± 4)	Siltstones (7 ± 2) Greywackes (18 ± 3)	Claystones (4 ± 2) Shales (8 ± 2) Marls (7 ± 2)
		Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestone (10 ± 2)	Micritic Limestone (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
	Evaporites		Gypsum	Anhydrite (8 ± 2)		
	Organic				Chalk (7 ± 2)	
METAMORPHIC	Non-Foliated		Marble (9 ± 3)	Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites (20 ± 3)	
	Slightly Foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites (26 ± 0)		
	Ogneis		Gneiss (28 ± 3)	Schists (12 ± 3)	Phyllites (7 ± 3)	Slates (7 ± 4)
	Foliated*		Granite (32 ± 3)	Diorite (23 ± 3)		
IGNEOUS	Plutonic	Light		Granodiorites (29 ± 3)		
		Dark	Gabbro (27 ± 3) Norite (20 ± 2)	Dolerite (16 ± 3)		
	Hypabyssal		Porphyries (20 ± 3)		Diabases (15 ± 3) Peridotites (25 ± 3)	
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 3) Andesite (25 ± 3)	Dacite (23 ± 3) Basalt (25 ± 3)	Obsidian (19 ± 3)
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 3)	Tuff (13 ± 3)	

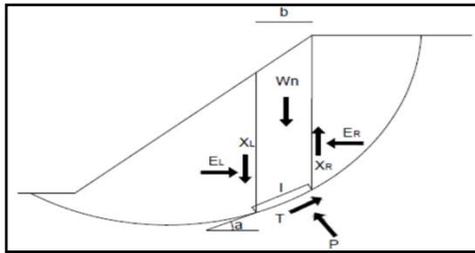
Nilai D merupakan faktor kerusakan massa batuan dimana tingkat kerusakan massa batuan yang diakibatkan oleh peledakan maupun pelepasan tegangan. Rentang nilai D adalah 0 sampai dengan 1.

Tabel 2. Faktor kerusakan (D) pada dinding lereng (Hoek, *et al.*, 2002)

Penampilan Massa Batuan	Deskripsi Massa Batuan	Nilai D
	Kualitas baik pembentukan dikontrol peledakan atau penggalian oleh Tunnel Boring Machine menghasilkan sedikit gangguan untuk massa batuan yang terbatas disekitar terowongan.	D = 0
	Mekanik atau penggalian secara manual di massa kualitas batu buruk (tidak menggunakan peledakan) menghasilkan sedikit gangguan terhadap massa batuan sekitarnya.	D = 0
	Dimana masalah tindihan (squeezing) mengakibatkan secara signifikan lantai terangkat, gangguan lain bisa lebih parah kecuali temporary invert, seperti yang ditunjukkan dalam foto disamping.	D = 0,5 No invert
	Peledakan berkualitas sangat buruk dalam terowongan batu keras menghasilkan kerusakan lokal yang parah, extending 2 atau 3 m, dalam massa batuan sekitarnya.	D = 0,8
	Peledakan skala kecil dalam lereng teknik sipil menghasilkan kerusakan massa batuan sederhana, terutama jika peledakan terkontrol digunakan seperti yang ditunjukkan di sisi kiri foto itu. Namun, stres bantuan menghasilkan beberapa gangguan.	D = 0,7 Peledakan yang bagus D = 1,0
	Lereng tambang terbuka yang sangat besar mengalami gangguan yang signifikan karena peledakan produksi berat dan juga karena menghilangkan stres dari penindahan lapisan penutup (overburden removal).	D = 1,0 Peledakan yang buruk D = 1,0
	Dalam beberapa batu lebih lunak, penggalian dapat dilakukan dengan cara ripping dan dozing serta tingkat kerusakan pada lereng kurang.	D = 0,7 Penggalian secara mekanik

Metode Irisan Morgenstern-Price

Metode ini adalah salah satu metode yang didasarkan pada prinsip kesetimbangan batas yang dikembangkan oleh Morgenstern dan Price pada tahun 1965. Proses analisisnya merupakan hasil dari kesetimbangan setiap gaya-gaya normal dan momen yang bekerja pada tiap irisan dari bidang kelongsoran lereng tersebut.



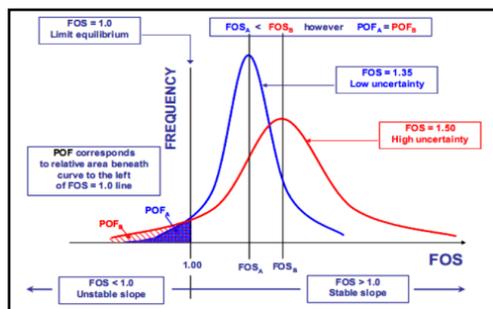
Gambar 3. Gaya yang bekerja pada bidang irisan Metode Morgenstern-Price (Azizi, 2012)

$$P = \frac{Wn - (X_R - X_L) - \frac{1}{F} (c'l \sin \alpha - u l \tan \phi' \sin \alpha)}{\cos \alpha (1 + \tan \alpha \frac{\tan \phi'}{F})} \dots (10)$$

Dengan, P = gaya normal, c' = kohesi, Wn = gaya akibat beban tanah ke-n, α = sudut antara titik tengah bidang irisan dengan titik pusat busur bidang longsor, φ' = sudut geser tanah, u = tekanan air pori, XL XR = gaya gesek yang bekerja di tepi irisan.

Analisis Probabilistik

Distribusi probabilistik menggambarkan penyebaran suatu variable acak yang digunakan untuk memperkirakan nilai probabilitas kemunculan suatu parameter. Konsep dari probabilitas kelongsoran ini dapat ditunjukkan pada Gambar 4. berikut :



Gambar 4. Konsep probalistik kelongsoran (Steffen, 2008 dalam Azizi, 2014)

Dengan konsep ini menunjukkan bahwa ketidakpastian suatu data yang akan berpengaruh pada nilai FK yang dihasilkan. Jika ketidakpastian suatu data tinggi (kurva merah) maka FK yang dihasilkan tersebut juga tinggi. Sedangkan

ketidakpastian suatu data yang rendah (kurva biru) maka nilai FK yang dihasilkan juga rendah.

METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode induktif. Metode tersebut dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu tahap persiapan, pengambilan data, pengolahan data dan hasil.

Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan, penulis melakukan studi literatur terlebih dahulu dengan mencari bahan pustaka yang menunjang, yang diperoleh dari instansi yang terkait, perpustakaan, internet, laporan perusahaan, laporan penelitian terdahulu dan buku-buku penunjang mengenai kajian probabilitas kemandapan lereng pada tambang terbuka.

Pengambilan Data

Penulis melakukan kegiatan *mapping* pada *side wall area pit* Pelikan untuk melakukan observasi lapangan, foto keadaan *highwall*, mencari kekar pada setiap *overburden* sebagai parameter *joint condition* dan melakukan *sampling*.

Selanjutnya mengumpulkan data primer berupa data *core box*, data *reconcile*, data *bore holes* dan parameter nilai kekerasan batuan (mi). Sedangkan data sekunder berupa data uji sifat fisik dan mekanik batuan (*Wet Density* (WD), *Unaxial Compressive Strength* (UCS), kohesi (c), sudut geser dalam (φ)), peta daerah penelitian, peta desain *pit* Pelikan, nilai *Disturbance Factor* (D) dan data muka air tanah.

Data yang diambil harus akurat dan relevan dengan masalah yang ada. Cara pengambilan data dapat dilakukan dengan pengamatan secara langsung dilapangan dan pengambilan data dari literatur yang berkaitan dengan permasalahan.

Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Mengelompokkan data primer dan sekunder ke suatu nilai dominan tertentu yang dianggap memiliki nilai atau parameter fisik dan mekanik yang serupa atau mirip.
- Dilakukan penentuan *seam* batubara utama yang akan dijadikan target dalam pemberian nama *overburden*. Setelah ditentukan *seam* batubara utama, maka dilakukan uji sensitivitas pada salah satu sayatan *high wall* agar diperoleh parameter sensitif pada *properties* batuan di setiap *overburden*.
- Pada *overburden* yang mengalami indikasi sensitif, maka dilakukan proses uji validasi statistik kembali pada *properties* batuan di setiap *overburden* agar ditentukan *over*

burden utama untuk dilakukan analisis kemantapan lereng. Setelah itu dilakukan uji Baik Suai pada *over burden* yang mengalami indikasi sensitif. Sedangkan pada *over burden* yang tidak mengalami indikasi sensitif hanya perlu dilakukan distribusi Normal.

- Masing-masing domain yang akan dianalisis tersebut disajikan dalam bentuk diagram batang distribusi densitas dan kurva distribusi kumulatif menggunakan *software* MATLAB R2012b.
- Dilakukan uji Baik Suai pada data hasil analisis MATLAB R2012b untuk mengetahui apakah populasi tersebut layak digunakan dalam analisis kestabilan lereng. Uji Baik Suai diaplikasikan dengan kompilasi antara metode Kolmogorov-Smirnov (K-S) dengan uji AIC dan BIC yang bertujuan untuk menentukan nilai *Dmax.*, *mean*, standar deviasi, relatif *maximum*, relatif *minimum* dan fungsi distribusi yang paling sesuai dengan jenis distribusi yang baik. Terdapat 3 jenis distribusi, yaitu distribusi Normal, Log normal dan Gamma.
- Pengolahan peta area penelitian dan pembuatan sayatan pada *high wall* dilakukan dengan menggunakan *software* GEOVIA Minex 6.4.2. Pembuatan sayatan ini dilakukan dengan cara menarik garis sayatan *high wall* secara tegak lurus dengan *design pit crest* dinding *high wall*.
- Hasil sayatan diolah dengan *software* AutoCAD 2007 kemudian dilakukan analisis perhitungan nilai $FK_{det.}$, FK_{mean} dan PK dengan memasukkan nilai-nilai parameter pada domain massa batuan (*properties*) yang telah ditentukan menggunakan *software* Rocscience SLIDE V.6.0. Dalam kajian kemantapan lereng metode kesetimbangan batas, pada kasus *high wall* menggunakan perhitungan Morgenstern-Price. Pada pengolahan analisis probabilitas menggunakan *sampling* metode Monte Carlo 5000.
- Dengan demikian didapatkan nilai Faktor Keamanan Deterministik ($FK_{det.}$), Faktor Keamanan Rata-rata (FK_{mean}) dan Probabilitas Kelongsoran (PK).

Hasil

Dari pengolahan data yang dilakukan, maka akan diperoleh nilai Faktor Keamanan Deterministik ($FK_{det.}$), Faktor Keamanan Rata-rata (FK_{mean}) dan Probabilitas Kelongsoran (PK). Dalam penentuan ambang batas kelongsoran beracuan pada kriteria Probabilitas Kelongsoran Stacey (2009) dengan menyesuaikan jenis lereng

yang dianalisis dan dampak longsorannya. Setelah itu akan dilakukan *redesign* geometri *high wall* untuk memberikan rekomendasi optimalisasi *pit* Pelikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan *Seam* Batubara Utama

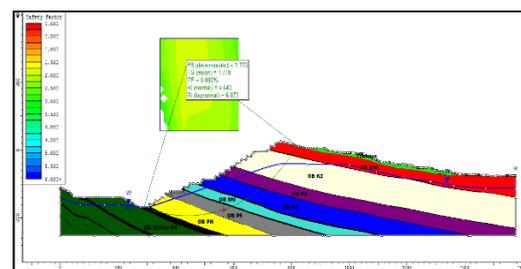
Penentuan *seam* batubara utama sebagai target *unit overburden* awal dilakukan dengan cara melakukan *section* (sayatan) pada peta *pit* Pelikan. *Range* ketebalan batubara dipilih mulai dari ketebalan 0,5 m sampai batubara yang paling tebal sedangkan *range* ketebalan *overburden* dipilih dari ketebalan 15 m sampai *overburden* yang paling tebal. *Seam* batubara pada *section* sudah mempunyai nama *seam* batubara, sehingga penentuan nama *unit overburden* mengikuti nama *seam* batubara yang berada di bawahnya. Dari kegiatan analisis tersebut, diperoleh *seam* batubara utama sebagai berikut :

Tabel 3. Target *seam* batubara awal berdasarkan *range* ketebalan batubara dan *range* ketebalan *overburden*

No.	Target <i>Seam</i> Batubara	<i>Range</i> Ketebalan Batubara (m)	<i>Range</i> <i>Overburden</i> (m)
1	K10	0.65 - 3.09	27.11 - 36.14
2	K2	1.07 - 3.9	38.80 - 87.85
3	KA	0.77 - 2.06	29.45 - 39.95
4	KD	3 - 5.2	36.08 - 71.05
5	MN	1.13 - 4.63	19.99 - 29.57
6	P5	0.71 - 1.19	31.22 - 37.21
7	PN	3.8 - 20.93	33.58 - 61.70
8	<i>Bellow</i> PN	8.33 - 9.6	47.87 - 68.68

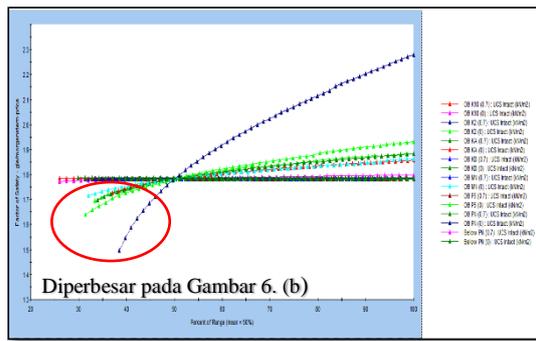
Selanjutnya dilakukan analisis sensitivitas pada salah satu sayatan, yaitu sayatan D-D' (HW_S01) dengan data *input* berupa *properties* batuan pada setiap *unit overburden* dengan asumsi distribusi Normal. Uji sensitivitas ini dilakukan hanya untuk menentukan parameter *properties* batuan yang mengalami keadaan sensitif.

Dari data *input* tersebut, maka diperoleh Faktor Keamanan Deterministik ($FK_{det.}$) sebesar 1.770, Faktor Keamanan Rata-rata (FK_{mean}) sebesar 1.778 dan Probabilitas Kelongsoran (PK) sebesar 0.000% seperti pada Gambar 5. berikut :

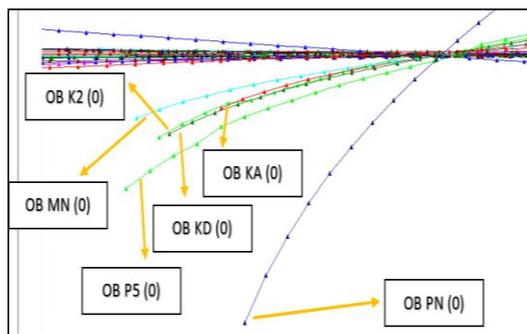


Gambar 5. Desain faktor keamanan uji sensitivitas HW_S01

Kemudian diperoleh bentuk sensitivitas *properties* UCS pada *high wall* HW_S01, yaitu :



Gambar 6. (a) Bentuk sensitivitas *properties* UCS pada *high wall* HW_S01



Gambar 6. (b) OB yang terindikasi sensitif (OB K2, OB KA, OB KD, OB MN, OB P5 dan OP PN)

Pada Gambar 6. (a) dan (b), UCS OB PN mengalami indikasi sensitif yang sangat signifikan. Hal ini terjadi karena OB PN merupakan OB yang paling bawah yang berperan sebagai penahan dari OB yang ada di atasnya. Ketika persentasi UCS OB PN mencapai 100%, maka nilai FK nya sekitar 2.3. Namun, ketika persentasi UCS OB PN menurun, maka nilai FK nya menurun signifikan. Sehingga penurunan persentasi nilai UCS OB PN sangat berpengaruh terhadap kondisi FK di *high wall pit* pelikan. Kemudian pada Gambar 6. (b), diperoleh OB yang cukup sensitif adalah OB K2, OB KA, OB KD, OB MN dan OB P5. Hal ini juga menunjukkan adanya pengaruh penurunan persentasi UCS terhadap menurunnya nilai FK lereng.

Pada OB K10 tidak mengalami indikasi sensitif karena OB K10 merupakan OB yang paling atas dan memiliki ketebalan yang tipis dibandingkan dengan OB lainnya. Sehingga pengaruh penurunan UCS OB K10 tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai FK lereng. Kemudian, pada OB *Bellow* PN juga tidak mengalami indikasi sensitif karena proses analisis kemantapan lereng secara *circular*, OB *bellow* PN tidak dilalui oleh bentuk *longsor circular* tersebut (dapat dilihat Gambar 5.).

Dalam mengatasi keadaan sensitif ini, penulis melakukan proses uji validasi statistik kembali pada *properties* UCS di setiap OB agar ditentukan OB utama untuk dilakukan analisis kemantapan lereng. Pada OB yang terindikasi sensitif (OB K2, OB KA, OB KD, OB MN, OB P5 dan OB PN) perlu dilakukan uji Baik Suai kembali untuk mengetahui keadaan *properties* batuan pada setiap OB.

Sedangkan OB yang tidak terindikasi sensitif adalah OB K10 dan OB *Bellow* PN hanya perlu dilakukan distribusi Normal. Berikut Tabel 4. untuk data Distribusi Normal pada OB K10 dan *Bellow* PN, yaitu :

Tabel 4. Data distribusi normal pada OB K10 dan *Bellow* PN

No.	Unit Overburden	Properties Batuan	Jenis Distribusi	Analisis Statistik			
				Mean	Standar Deviasi	Relatif Maximum	Relatif Minimum
1	OB K10	GSI	Normal	73.73	2.65	3.40	3.77
		UCS (kPa=kN/m ²)	Normal	2819.90	2056.87	3964.10	2249.90
		Wet Density (kN/m ³)	Normal	22.54	0.59	1.10	1.45
2	OB <i>Bellow</i> PN	GSI	Normal	73.02	3.54	3.66	13.52
		UCS (kPa=kN/m ²)	Normal	2467.03	1525.01	3437.97	1959.03
		Wet Density (kN/m ³)	Normal	22.39	0.96	1.34	1.99

Penentuan Domain dan Pengolahan Data Statistik pada OB yang Terjadi Pembeaian (OB K2 dan OB MN)

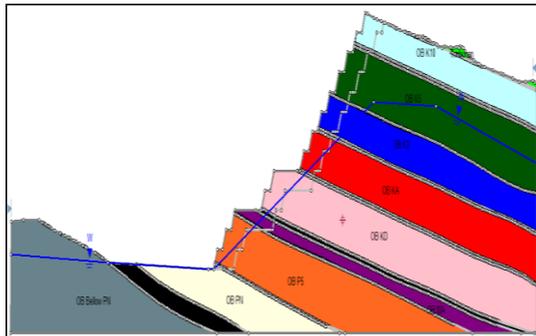
Pada kegiatan uji Baik Suai yang telah dilakukan, diperoleh OB yang terjadi pembeaian dari keadaan target OB awal, yaitu OB K2 dan OB MN. Pada *unit overburden* K2 awal terjadi pembeaian menjadi *unit overburden* K2 dan K5 sedangkan pada *unit overburden* MN diberaikan menjadi *unit overburden* MA.

Dari kegiatan uji Baik Suai pada *properties* batuan di setiap OB, maka diperoleh *seam* batubara utama seperti pada Tabel 5. berikut :

Tabel 5. *Seam* batubara utama setelah dilakukan uji sensitivitas pada *properties* batuan di setiap OB

No.	<i>Seam</i> Batubara Utama	Range Ketebalan Batubara (m)	Range Overburden (m)
1	K10	0.65 - 3.09	27.11 - 36.14
2	K5	0.23 - 1.46	25.70 - 35.15
3	K2	1.07 - 3.9	38.80 - 87.85
4	KA	0.77 - 2.06	29.45 - 39.95
5	KD	3 - 5.2	36.08 - 71.05
6	MA	0.67 - 2.25	34.21 - 45.61
7	P5	0.71 - 1.19	31.22 - 37.21
8	PN	3.8 - 20.93	33.58 - 61.70
9	<i>Bellow</i> PN	8.33 - 9.6	47.87 - 68.68

Sehingga diperoleh karakteristik *unit overburden* adalah OB K10, OB K5, OB K2, OB KA, OB KD, OB MA, OB P5, OB PN dan OB *Bellow PN* seperti pada Gambar 7. berikut :



Gambar 7. Pembagian *unit overburden* berdasarkan *seam* batubara utama PN, P5, MA, KD, KA, K2, K5, K10

Rekapitulasi Hasil Penentuan Domain dan Pengolahan Data Statistik

Berdasarkan hasil penentuan domain dan pengolahan data statistik, dapat dirangkum ke dalam Tabel 6. yang akan digunakan sebagai data *input* dalam analisis probabilitas kemantapan lereng ke *software* Rocscience SLIDE V.6.0.

Tabel 6. Rekapitulasi hasil penentuan domain dan pengolahan data statistik

No.	Unit Overburden	Propertis Batuan	Jenis Distribusi	Analisis Statistik			
				Mean	Standar Deviasi	Relatif Maksimum	Relatif Minimum
1	OB K10	GSI	Normal	73.73	2.65	3.40	3.77
		UCS (kPa=kN/m ²)	Normal	2819.90	2036.87	3964.10	2249.90
		Wet Density (kN/m ³)	Normal	22.54	0.59	1.10	1.45
2	OB K5	GSI	Normal	72.83	4.42	3.84	14.86
		UCS (kPa=kN/m ²)	Lognormal	1999.87	1271.39	2633.13	1356.87
		Wet Density (kN/m ³)	Normal	22.46	0.89	1.37	1.96
3	OB K2	GSI	Normal	77.75	7.36	7.93	22.59
		UCS (kPa=kN/m ²)	Normal	2593.83	1674.93	5608.17	2072.83
		Wet Density (kN/m ³)	Normal	22.38	0.86	1.74	2.96
4	OB KA	GSI	Lognormal	77.21	5.65	8.46	10.55
		UCS (kPa=kN/m ²)	Normal	2422.49	1645.32	3960.51	1920.49
		Wet Density (kN/m ³)	Normal	23.76	0.98	38.34	18.83
5	OB KD	GSI	Lognormal	76.58	7.64	9.42	18.75
		UCS (kPa=kN/m ²)	Normal	2358.74	1397.38	3487.26	1857.74
		Wet Density (kN/m ³)	Gamma	22.48	1.11	2.53	4.43
6	OB MA	GSI	Lognormal	72.21	3.41	4.31	7.03
		UCS (kPa=kN/m ²)	Normal	2984.71	1920.50	4473.29	2439.71
		Wet Density (kN/m ³)	Normal	22.70	0.11	1.32	4.95
7	OB P5	GSI	Lognormal	67.98	5.29	2.74	23.20
		UCS (kPa=kN/m ²)	Normal	3467.23	2330.11	6395.77	2950.23
		Wet Density (WD)	Normal	22.77	0.92	1.56	3.05
8	OB PN	GSI	Lognormal	74.26	4.91	2.25	20.32
		UCS (kPa=kN/m ²)	Normal	3158.24	2654.91	8779.76	2471.24
		Wet Density (kN/m ³)	Gamma	22.70	0.80	1.62	2.79
9	OB Bellow PN	GSI	Normal	73.02	3.54	3.66	13.52
		UCS (kPa=kN/m ²)	Normal	2467.03	1525.01	3437.97	1959.03
		Wet Density (kN/m ³)	Normal	22.39	0.96	1.34	1.99

Penentuan Nilai m_i

Pada daerah penelitian *pit* Pelikan terdapat berbagai litologi batuan seperti *siltstone*, *sandstone* dan *mudstone*. Dalam menentukan nilai m_i, penulis melakukan persentase ketebalan pada setiap litologi yang terdapat pada seluruh data bor

(34 data bor *full coring* (F*) dan 4 data bor *spot coring* (C*)) sampai pada kedalaman *pit* terendah (sekitar -280 m). Penulis memberikan *rating* m_i pada *siltstone* sebesar 7, *sandstone* sebesar 17 dan *mudstone* sebesar 4. Dari kegiatan penentuan nilai m_i, diperoleh nilai m_i sebesar 6.106285214 seperti pada Tabel 7. berikut :

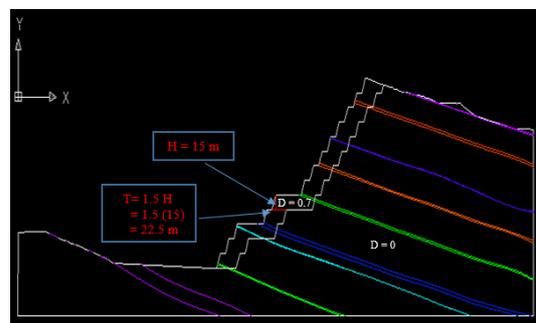
Tabel 7. Penentuan nilai m_i

No.	Nama Material	Tebal Material	Persentase	Rating m _i
1	Mudstone	5236.79	79.34 (%)	4
2	Sandstone	981.12	14.86 (%)	17
3	Siltstone	382.82	5.80 (%)	7
Total		6600.73	100 (%)	

Sehingg nilai m_i = (79.34% x 4) + (14.86% x 17) + (5.80% x 7) = 6.106285214.

Penentuan Nilai Disturbance Factor (D)

Penulis dalam mendesain suatu lereng *high wall* di *pit* Pelikan mengambil *rating* massa batuan insitu tidak terganggu dengan nilai D = 0 pada bagian dalam lereng karena bila dilakukan peledakan maka menghasilkan sedikit gangguan terhadap massa batuan sekitarnya. Sedangkan pada kerusakan massa batuan yang dapat disebabkan oleh peledakan dan pelepasan tegangan akibat lepasnya *overburden* dengan nilai D = 0.7. Oleh karena itu, produk ledakan dengan tidak adanya kontrol, namun peledakan sampai ke muka lereng/dinding bebas dengan nilai T = 1-1.5 H dalam hal ini penulis mengambil nilai T = 1.5 H. Sehingga dalam mendesain *high wall* penulis melakukan *draftsight* seperti pada Gambar 8. berikut :



Gambar 8. Contoh Proses desain *draftsight high wall* pada sayatan A-A' (HW_S11C) dengan tinggi setiap *bench* sebesar 15 m dan lebar setiap *berm* sebesar 8 m

Pengolahan Desain Faktor Keamanan

Dalam penelitian ini perhitungan nilai FK dan PK pada *pit* Pelikan menggunakan *software* Rocscience SLIDE V.6.0 dengan metode probabilistik. Parameter masukkan yang diolah pada *software* tersebut adalah data nilai UCS, WD dan GSI yang merupakan hasil dari validasi statistik, serta nilai m_i, D, kohesi dan sudut gesek dalam. Selain itu

ada pula data yang dijadikan *input* dalam pengolahan *software* Rocscience SLIDE V.6.0, yaitu hasil uji baik suai seperti jenis distribusi terbaik, nilai rata-rata (*mean*), relatif *minimum*, relatif *maximum* dan standar deviasi dari data nilai UCS, WD dan GSI tiap *unit overburden*. Analisis data dalam *software* Rocscience SLIDE V.6.0 menggunakan metode analisis kesetimbangan batas Morgenstern-Price dengan jenis bidang gelincir *circular*. Beberapa asumsi yang diaplikasikan pada analisis *high wall* meliputi :

1. *Material* penyusun *high wall* terdiri dari *material disposal (saturated)*, OB K10, *seam* batubara K10, OB K5, *seam* batubara K5, OB K2, *seam* batubara K2, OB KA, *seam* batubara KA, OB KD, *seam* batubara KD, OB MA, *seam* batubara MA, OB P5, *seam* batubara P5, OB PN, *seam* batubara PN dan OB *Bellow* PN.
2. Untuk memperkecil kemungkinan variasi data yang semakin tinggi, maka pengelompokan *unit overburden* terdiri atas 9 *unit*, yaitu *unit overburden* K10, OB K5, OB K2, OB KA, OB KD, OB MA, OB P5, OB PN dan OB *Bellow* PN.
3. Berdasarkan hasil analisis koefisien variasi, variasi nilai UCS memiliki tingkat ketidakpastian data yang tinggi. Kondisi ini dapat diinterpretasikan bahwa nilai UCS yang digunakan untuk analisis ini sangat bervariasi.
4. Berdasarkan hasil analisis koefisien variasi, variasi nilai WD memiliki tingkat ketidakpastian data yang rendah. Kondisi ini dapat diinterpretasikan bahwa nilai WD yang digunakan untuk analisis ini tidak terlalu bervariasi.
5. Berdasarkan hasil analisis koefisien variasi, variasi nilai GSI memiliki tingkat ketidakpastian data yang sedang. Kondisi ini dapat diinterpretasikan bahwa nilai GSI yang digunakan untuk analisis ini cukup bervariasi.
6. Fungsi distribusi statistik pada nilai UCS memiliki fungsi distribusi Normal dan Log normal.
7. Fungsi distribusi statistik pada nilai WD memiliki fungsi distribusi Normal dan Gamma.
8. Fungsi distribusi statistik pada nilai GSI memiliki fungsi distribusi Normal dan Log normal.
9. Pada *unit overburden* K10, K5, K2, KA, KD, MA, P5, PN dan *Bellow* PN menggunakan kriteria keruntuhan generalisasi Hoek dan Brown (2002) dengan menggunakan data UCS, WD dan GSI.

10. Pada layer *material disposal (saturated)* menggunakan nilai *Wet Density* (WD) sebesar 21 kN/m³, nilai kohesi (c) sebesar 14 kN/m² dan sudut gesek dalam (ϕ) sebesar 26° dengan menggunakan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb (2002).
11. Pada layer *coal* menggunakan nilai *Wet Density* (WD) sebesar 14 kN/m³, nilai kohesi (c) sebesar 190 kN/m² dan sudut gesek dalam (ϕ) sebesar 38° dengan menggunakan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb (2002).
12. Nilai koefisien m_i berdasarkan persentase data litologi pada setiap titik bor yang ada yang berpedoman pada tabel konstanta m_i Marinon dan Hoek (2001). Diperoleh nilai m_i adalah 6.106285214.
13. Nilai faktor ketergangguhan pada lereng yang digunakan adalah $D = 0,7$ dan $D = 0$.
14. Untuk ketinggian muka air tanah, penulis melihat keadaan sekitar *pit* dan beracuan pada keadaan *pit* sebelumnya, yaitu $\frac{1}{3}$ dari ketinggian *pit crest* sampai *toe of slope* pada *high wall*.
15. Metode *sampling* data yang digunakan adalah Metode Monte Carlo 5000.

Hasil dan Pembahasan Analisis Kemantapan Lereng

Pada penentuan ambang batas probabilitas kelongsoran lereng, penulis beracuan pada ambang batas Stacey (2009) seperti pada Tabel 6. berikut :

Tabel 6. Ambang batas nilai FK & PK lereng tambang terbuka (Stacey, 2009)

Jenis Lereng	Dampak Longsoran	FK (min) (Statik)	FK (min) (Dinamik)	PK _{max} P[FK < 1]
Tunggal/Jenjang (<i>Bench</i>)	<i>Low - High</i>	1.1	NA	25 - 50%
	<i>Low</i>	1.15 - 1.2	1.0	25%
Multi Jenjang (<i>Interramp</i>)	<i>Medium</i>	1.2	1.0	20%
	<i>High</i>	1.2 - 1.3	1.1	10%
Keseluruhan (<i>Overall</i>)	<i>Low</i>	1.2 - 1.3	1.0	15 - 20%
	<i>Medium</i>	1.3	1.05	5 - 10%
	<i>High</i>	1.5	1.1	≤ 5%



Gambar 9. Klasifikasi lereng tambang (Azizi, 2012)

Lokasi penelitian *high wall pit* Pelikan termasuk ke dalam jenis lereng keseluruhan (*overall*). Situasi sekitar *pit* terdapat berbagai jenis alat berat, kegiatan peledakan dan jauh dari tempat pemukiman penduduk. Berdasarkan klasifikasi Stacey (2009), desain *pit* ini memiliki resiko dengan jenis sedang (*medium*) dengan geometri jenis lereng yang termasuk dalam jenis jenjang keseluruhan (*overall*). Sehingga nilai FK minimal 1.3 dengan PK maksimal 10%.

Pada pengolahan kajian kemandapan lereng, penulis menggunakan *software* Rocscience SLIDE V.6.0 dengan metode Morgenstern-Price. Berikut ini rekapitulasi hasil analisis kemandapan lereng pada 6 sayatan *high wall* di *pit* Pelikan, yaitu:

Tabel 7. Rekapitulasi hasil analisis kemandapan lereng pada 6 sayatan *high wall* di *pit* Pelikan

No.	Sayatan (Section)	Tinggi Bench (m)	Lebar Berm (m)	FK		PK (%)	Sudut Overall (°)
				Deterministik	Mean		
1	A-A' (HW_S11C)	10	15	1.873	1.866	0.000	26
2	B-B' (HW_90A2)	10	15	1.536	1.532	0.000	26
3	C-C' (HW_S8C)	10	15	1.967	1.964	0.000	24
4	D-D' (HW_S01)	10	15	1.893	1.887	0.000	23
5	E-E' (HW_S06B)	10	15	1.732	1.730	0.000	23
6	F-F' (HW_S5A)	10	15	1.530	1.531	0.100	26

Dari kegiatan analisis kemandapan lereng yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa semua sayatan *high wall pit* Pelikan adalah aman (FK > 1.3 dengan PK maksimum 10%). Namun, perlu dilakukan optimalisasi geometri *high wall* pada *pit* Pelikan dengan cara melakukan *redesign* pada lebar *berm* dan tinggi *bench* agar kegiatan produksi pada *pit* Pelikan mencapai target, ekonomis dan aman. Berikut ini terdapat 6 sayatan *high wall pit* Pelikan yang dilakukan optimalisasi, yaitu :

1. Sayatan A-A' (HW_S11C)

No.	Tinggi Bench (m)	Lebar Berm (m)	FK		PK (%)	Sudut Overall (°)
			Deterministik	Mean		
1	15	7	1.464	1.455	0.100	39
2	15	8	1.341	1.327	0.280	40
3	12	10	1.533	1.522	0.000	34
4	12	12	1.627	1.617	0.000	32
5	12	15	1.701	1.693	0.000	29
6	15	15	1.53	1.522	0.000	33

2. Sayatan B-B' (HW_90A2)

No.	Tinggi Bench (m)	Lebar Berm (m)	FK		PK (%)	Sudut Overall (°)
			Deterministik	Mean		
1	15	7	1.403	1.396	0.040	36
2	15	8	1.371	1.367	0.200	34
3	12	10	1.414	1.408	0.140	30
4	12	12	1.477	1.472	0.000	28
5	12	15	1.671	1.665	0.000	25
6	15	15	1.443	1.436	0.020	29

3. Sayatan C-C' (HW_S8C)

No.	Tinggi Bench (m)	Lebar Berm (m)	FK		PK (%)	Sudut Overall (°)
			Deterministik	Mean		
1	15	7	1.380	1.368	0.160	37
2	15	8	1.381	1.367	0.220	38
3	12	10	1.620	1.610	0.000	32
4	12	12	1.708	1.699	0.000	30
5	12	15	1.779	1.773	0.000	27
6	15	15	1.603	1.593	0.000	31

4. Sayatan D-D' (HW_S01)

No.	Tinggi Bench (m)	Lebar Berm (m)	FK		PK (%)	Sudut Overall (°)
			Deterministik	Mean		
1	15	7	1.304	1.281	3.302	41
2	15	8	1.348	1.328	4.540	44
3	12	10	1.548	1.542	0.020	32
4	12	12	1.629	1.624	0.000	30
5	12	15	1.765	1.759	0.000	26
6	15	15	1.61	1.603	0.000	35

5. Sayatan E-E' (HW_S06B)

No.	Tinggi Bench (m)	Lebar Berm (m)	FK		PK (%)	Sudut Overall (°)
			Deterministik	Mean		
1	15	7	1.257	1.251	3.440	43
2	15	8	1.391	1.391	0.760	42
3	12	10	1.460	1.455	0.000	30
4	12	12	1.444	1.439	0.100	28
5	12	15	1.533	1.528	0.000	26
6	15	15	1.397	1.39	0.480	33

6. Sayatan F-F' (HW_S5A)

No.	Tinggi Bench (m)	Lebar Berm (m)	FK		PK (%)	Sudut Overall (°)
			Deterministik	Mean		
1	15	7	1.186	1.179	10.319	46
2	15	8	1.308	1.301	2.300	45
3	12	10	1.436	1.434	0.100	33
4	12	12	1.485	1.483	0.040	31
5	12	15	1.578	1.576	0.000	28
6	15	15	1.425	1.423	0.060	35

Dari kegiatan analisis kemandapan lereng pada *redesign* sayatan yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa *redesign* sayatan *high wall pit* Pelikan untuk rekomendasi optimalisasi *pit* Pelikan adalah tinggi setiap *bench* 15 meter dan lebar setiap *berm* 8 meter.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan pada *pit* Pelikan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Jenis fungsi distribusi statistik pada setiap *properties* batuan, yaitu :
 - Nilai UCS memiliki fungsi distribusi Normal dan Log normal.
 - Nilai WD memiliki fungsi distribusi Normal dan Gamma.
 - Nilai GSI memiliki fungsi distribusi Normal dan Log normal.
2. Dari hasil kajian kemandapan lereng yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa semua sayatan (*section*) *high wall pit* Pelikan adalah aman ($FK > 1.3$ dengan PK maksimum 10%). Adapun nilai FK pada *high wall pit* Pelikan yang telah dianalisis yaitu :
 - Sayatan A-A' (HW_S11_C) memiliki nilai $FK_{det.}$ sebesar 1.873, FK_{mean} sebesar 1.866 dan PK sebesar 0.000%.
 - Sayatan B-B' (HW_S90A2) memiliki nilai $FK_{det.}$ sebesar 1.536, FK_{mean} sebesar 1.532 dan PK sebesar 0.000%.
 - Sayatan C-C' (HW_S8C) memiliki nilai $FK_{det.}$ sebesar 1.967, FK_{mean} sebesar 1.964 dan PK sebesar 0.000%.
 - Sayatan D-D' (HW_S01) memiliki nilai $FK_{det.}$ sebesar 1.893, FK_{mean} sebesar 1.887 dan PK sebesar 0.000%.
 - Sayatan E-E' (HW_S06B) memiliki nilai $FK_{det.}$ sebesar 1.732, FK_{mean} sebesar 1.730 dan PK sebesar 0.000%.
 - Sayatan F-F' (HW_S5A) memiliki nilai $FK_{det.}$ sebesar 1.530, FK_{mean} sebesar 1.531 dan PK sebesar 0.100%.
3. *Redesign high wall* untuk rekomendasi optimalisasi *pit* Pelikan dilakukan dengan mengubah setiap tinggi *bench* sebesar 15 meter dan setiap lebar *berm* sebesar 8 meter agar geometri *high wall* menjadi optimal, target produksi tercapai, ekonomis dan aman. Adapun nilai FK pada *redesign high wall pit* Pelikan untuk rekomendasi optimalisasi yaitu:
 - Sayatan A-A' (HW_S11_C) memiliki nilai $FK_{det.}$ sebesar 1.341, FK_{mean} sebesar 1.327 dan PK sebesar 0.560%.
 - Sayatan B-B' (HW_S90A2) memiliki nilai $FK_{det.}$ sebesar 1.371, FK_{mean} sebesar 1.367 dan PK sebesar 0.200%.
 - Sayatan C-C' (HW_S8C) memiliki nilai $FK_{det.}$ sebesar 1.381, FK_{mean} sebesar 1.367 dan PK sebesar 0.220%.
 - Sayatan D-D' (HW_S01) memiliki nilai $FK_{det.}$ sebesar 1.348, FK_{mean} sebesar 1.328 dan PK sebesar 4.540%.

- Sayatan E-E' (HW_S06B) memiliki nilai $FK_{det.}$ sebesar 1.391, FK_{mean} sebesar 1.391 dan PK sebesar 0.760%.
- Sayatan F-F' (HW_S5A) memiliki nilai $FK_{det.}$ sebesar 1.308, FK_{mean} sebesar 1.301 dan PK sebesar 2.300%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada pihak PT. Kaltim Prima Coal yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, 2010, *Super Bank Soal Matematika SMA IPA*, Wahyu Media, Gresik.
- Arif, Irwandy, 2016, *Geoteknik Tambang Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Azizi, M. A., dkk., 2012, *Prosiding Simposium dan Seminar Geomekanika ke-1 Tahun 2012 Menggagas Masa Depan Rekayasa Batuan & Terowongan di Indonesia: Analisis Risiko Kestabilan Lereng Tambang Terbuka (Studi Kasus Tambang Mineral X)*, Hal 4.19-4.27, Simposium dan Seminar Geomekanika, Jakarta.
- Bieniawski, Z.T., 1989, *Engineering Rock Mass Classification. A Complete Manual for Engineers and Geologist in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, John Wiley and Sons, New York.
- Deere, D. U., dkk., 1967, *Design of Surface and Near Surface Construction in Rock*, Proceeding 8th U.S. Symp. Rock Mechanics, AIME, New York.
- Hoek, E., 2012, *Blast Damage Factor D*, Technical Note For RocNews, London.
- Hoek, E., Bray, J. W., 1981, *Rock Slope Engineering, 3rd ed.*, The Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Hoek, E., Bray, J., 2005, *Rock Slope Engineering-Civil and Mining 4th edition*, Taylor & Francis Group, Paris.
- Hoek, E., Marinos, P., 2000, *The Geological Strength Index: Applications and limitations*, The Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Hoek, E., dkk., 2013, *The 47th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium Quantification of The Geological Strength Index Chart*, USA, San Francisco.
- Hoek, E., et al, 2002, *Hoek-Brown Failure Criterion-2002 Edition*, The Institution of Mining and Metallurgy, London.

Noor, P. Y., dkk., 2016, *Kajian Geoteknik Penempatan Material Tanah Lunak di Area Disposasi OB OPD PIT K12 di Area Tambang PT. Berau Coal, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur*, Hal. 85-95, Prosiding Temu Profesi Tahunan ke-25 Perhimpunan Ahli Pertambangan Indonesia (TPT PERHAPI XXV), Bandung.