

**PENGARUH GETARAN PELEDAKAN TERHADAP KESTABILAN LERENG
PIT CENTRAL TUTUPAN, PT ADARO INDONESIA, KALIMANTAN SELATAN**Channia Princessca¹, Muhammad Hulaifi Manar², Irvan Sophian¹, Zufaldi Zakaria¹¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran²Departemen Geoteknik, PT. Adaro Indonesia

Email Korespondensi: channia16001@mail.unpad.ac.id

ABSTRACT

PT. Adaro Indonesia is an open pit coal mine. One of the activities to remove overburden is blasting. One of the effects of blasting is ground vibration, which causes the instability of slope both at work slope and final slope. The further analysis is needed to determine the value of the dynamic Safety Factor (SF) which is affected by vibrations due to blasting. Pit Central Tutupan is the area that has the most frequent blasting activities, therefore blasting needs to be controlled in order to the dynamic safety factor is not less than 1.1 in accordance with the Minister of Energy and Mineral Resources Decree No. 1827 K 30 MEM 2018. This research aimed to know the value of dynamic Safety Factor (SF) in CT1 and CT2 highwall of Pit Central Tutupan. The Signature Hole Analysis (SHA) method is used to determine the value of coefficient of vibration decay (k) and rock mass condition constant (m) which is processed using Blastware software, then evaluates the dynamic Safety Factor (FK) based on slope simulation using Slide8 software. The result of SHA linear regression shows that CT1 area has k and m value of 2071 and 1.48, while CT2 area has k and m value of 2577 and 1.61. In the slope stability analysis, the data processed are data of physical and mechanical properties of the slope, and the actual slope geometry with pseudostatic analysis. Based on the slope simulation results, CT1 highwall slope has static Safety Factor (SF) value is 1,810 and dynamic is 1,544 with seismic coefficient is 0.028 g and CT2 has static Safety Factor (SF) is 1,966 and dynamic is 1,541 with seismic coefficient is 0.017 g.

Keywords: *Blasting, Signature Hole Analysis, Peak Particle Velocity (PPV), Slope Stability, Dynamic Safety Factor.*

ABSTRAK

PT. Adaro Indonesia merupakan tambang batubara dengan metode *open pit*. Salah satu aktivitas pembongkaran *overburden* dilakukan dengan cara peledakan. Dampak peledakan salah satunya adalah getaran tanah (*ground vibration*), getaran ini menyebabkan gangguan pada kestabilan lereng tambang baik pada lereng kerja maupun lereng akhir. Sehingga diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui nilai Faktor Keamanan (FK) dinamis yang dipengaruhi oleh getaran akibat peledakan. Pit *Central Tutupan* merupakan area yang memiliki kegiatan peledakan yang paling sering, oleh sebab itu peledakan perlu dikontrol agar Faktor Keamanan (FK) dinamis tidak kurang dari 1.1 sesuai dengan Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K 30 MEM 2018. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui nilai Faktor Keamanan (FK) dinamis pada *highwall* CT1 dan CT2 di Pit *Central Tutupan*. Metode yang digunakan adalah pengukuran *Signature Hole Analysis* (SHA) untuk mendapatkan nilai koefisien peluruhan getaran (k) dan konstanta massa batuan (m) yang diolah menggunakan *software Blastware*, kemudian mengevaluasi Faktor Keamanan (FK) dinamis berdasarkan simulasi lereng menggunakan *software Slide8*. Berdasarkan hasil regresi linear dari SHA, Area CT1 memiliki nilai k sebesar 2071 dan m sebesar 1.48 sedangkan area CT2 memiliki nilai k sebesar 2577 dan m sebesar 1,61. Pada analisis kestabilan lereng, data yang diolah merupakan data sifat fisik dan mekanik batuan penyusun lereng dan geometri lereng aktual dengan analisis pseudostatik. Berdasarkan hasil simulasi lereng, lereng *highwall* CT1 memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) statis 1.810 dan dinamis 1.544 dengan koefisien seismik sebesar 0.028 g dan CT2 memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) statis 1.966 dan dinamis 1.541 dengan koefisien seismik sebesar 0.017 g.

Kata Kunci: Peledakan, *Signature Hole Analysis*, *Peak Particle Velocity (PPV)*, Kestabilan Lereng, Faktor Keamanan Dinamis.

PENDAHULUAN

Kegiatan pembongkaran *overburden* dilakukan dengan cara pengeboran dan peledakan. Energi yang dihasilkan bahan peledak akan ditransmisikan ke dalam massa batuan sehingga batuan tersebut terberaikan. Semakin besar energi peledak yang ditransmisikan ke dalam massa batuan, maka target peledakan akan dicapai yaitu produksi energi, tingkat fragmentasi, reduksi diagram, getaran reduksi, *fly rock* dan *air blast* dapat diminimalkan. Namun pada kenyataannya, selain memberikan efek hancuran pada batuan, energi yang dihasilkan dari suatu operasi peledakan ini juga menimbulkan efek yang kurang menguntungkan. Salah satunya adalah dengan menghasilkan *ground vibration* atau getaran tanah/permukaan. Salah satu efek buruk dari getaran tanah (*ground vibration*) di lokasi penambangan adalah terganggunya kestabilan lereng tambang karena akan menambah gaya pendorong lereng.

Getaran tanah (*ground vibration*) umumnya dinyatakan dalam *peak particle velocity* (PPV). Getaran tanah yang dihasilkan tersebut sangat dipengaruhi oleh muatan bahan peledak maksimal per lubang dan jarak dari titik peledakan ke lokasi pengukuran atau pengamatan.

Jika getaran tanah sudah melampaui batas kekuatan massa batuan untuk menahan lereng, potensi terjadinya longsor akan meningkat dan dapat mengganggu kegiatan operasional tambang ataupun membahayakan pekerja.

Selama ini belum ada nilai koefisien seismik yang diuji berdasarkan kegiatan actual peledakan pada penilaian faktor keamanan. Padahal kita tahu bahwa getaran akibat peledakan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut terhadap Faktor Keamanan (FK) dinamis pada lereng yang terkena dampak getaran tanah.

TINJAUAN PUSTAKA

Geologi Regional

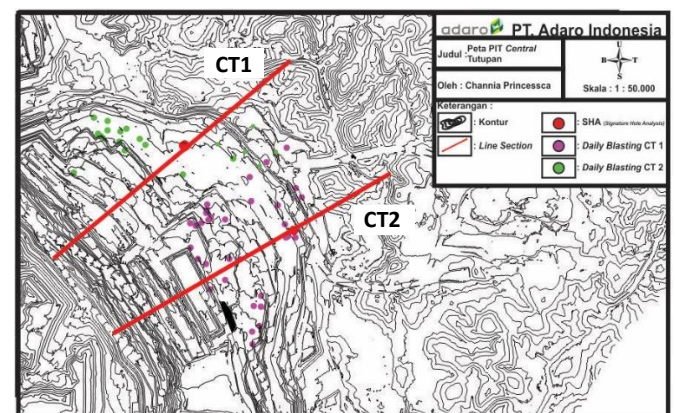
Secara regional, wilayah penelitian termasuk ke dalam Cekungan Barito Barito, yang termasuk dalam Peta Geologi Regional Lembar Banjarmasin (Sikumbang dan Heryanto, 1994). Cekungan Barito terletak diantara Paparan Sunda di sebelah barat dan Pegunungan Meratus yang merupakan jalur melange tektonik di sebelah timur. Secara geologi, wilayah penelitian termasuk ke dalam Formasi Warukin. Formasi Warukin diendapkan pada lingkungan neritik dalam hingga deltaik dengan ketebalan 1000 – 2400 meter dan berumur Miosen Tengah sampai Plestosen Bawah. Pada formasi ini ada tiga lapisan paling dominan, yaitu batulempung dengan ketebalan ± 100 meter, batulumpur dan batu pasir dengan ketebalan 600-900 meter, dengan bagian atas terdapat deposit batubara sepanjang 10 meter, dan lapisan batubara dengan tebal cadangan 20-50 meter.

Lokasi tambang batubara PT. Adaro Indonesia secara keseluruhan berada pada Formasi Warukin dan terbagi kedalam tiga pit yang terpisah yaitu Pit Tutupan, Pit Wara

dan Pit Paringin. Pit Tutupan mengandung beberapa lapisan batubara utama (*major seam*) yaitu T110, T120, T210, T220, T300 serta beberapa lapisan minor. Batubara pada Pit Tutupan memiliki ketebalan mencapai 50 meter dengan kemiringan berkisar 20° hingga 50°.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Pit *Central* Tutupan yang merupakan wilayah kerja PT. Adaro Indonesia. Secara administratif, wilayah penelitian terletak di Kecamatan Murung Pudak, Kabupaten Tabalong, Provinsi Kalimantan Selatan. Secara geografis, wilayah penelitian terletak pada koordinat 115°47'10" - 115°37'30" BT dan 2°7'30" - 2°18'30" LS. Penelitian difokuskan pada area CT1 dan CT2 pada Pit *Central* Tutupan.



Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian pada area CT1 dan CT2 Pit Central Tutupan

Getaran Tanah

Getaran tanah (*ground vibration*) menyebabkan partikel-partikel tanah mengalami perpindahan dengan kecepatan dan percepatan tertentu. Perpindahan tersebut menyebabkan bertambahnya gaya-gaya penyebab terjadinya longsor dan mengurangi gaya-gaya penahan longsor. Sehingga getaran tanah (*ground vibration*) tersebut akan menyebabkan berkurangnya kestabilan suatu lereng.

Signature Hole Analysis (SHA) merupakan suatu metode yang digunakan untuk kegiatan mengontrol getaran tanah yang diakibatkan oleh kegiatan peledakan (Dyno Nobel Inc, 2014). Nilai *k* dan *m* yang digunakan pada **Persamaan 1** didapat dari SHA pada lokasi penelitian.

Perkiraan nilai getaran tanah yang dihasilkan dari kegiatan peledakan dapat dilakukan dengan menghubungkan parameter jarak dari lokasi peledakan (*R*) dan jumlah isian bahan peledak (*W*). *US Bureau of Mines* menyatakan hubungan tersebut dalam konsep *Peak Particle Velocity* (PPV) dan *Scaled Distance* (SD) pada persamaan sebagai berikut:

$$PPV = k x \left(\frac{R}{W} \right)^{-m} \dots\dots\dots (1)$$

dimana,

PPV = *Ground Vibration as Peak Particle Velocity* (mm/s)

R = Jarak muatan maksimum terhadap lokasi pengamatan (m)

W = Muatan bahan peledak maksimum per periode tunda (kg)

k = Koefisien peluruhan getaran

m = Konstanta kondisi massa batuan

SD = *Scaled Distance*, perbandingan jarak dengan jumlah isian bahan peledak.

Bentuk persamaan tersebut juga berlaku untuk hubungan antara *Peak Particle Acceleration* (PPA) dengan *Scaled Distance* (SD) yang dinyatakan dalam **Persamaan 2**:

$$PPA = k \times \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-m} \dots\dots\dots (2)$$

dimana,

PPA = *Peak Particle Acceleration* (mm/s²)

R = Jarak muatan maksimum terhadap lokasi pengamatan (m)

W = Muatan bahan peledak maksimum per periode tunda (kg)

k = Koefisien peluruhan getaran

m = Konstanta kondisi massa batuan

Menurut Lucca (2003), hubungan antara PPV dan PPA juga dinyatakan dalam **Persamaan 3** :

$$accel = \frac{2 \times \pi \times PPV \times f}{386.4} \dots\dots\dots (3)$$

dimana

pi = 3,14159

PPV = *Peak Particle Velocity* (Inchi/s)

f = Frekuensi dari respon getaran (Hz)

Besarnya nilai percepatan getaran sebagai faktor seismik (a_{max}) berhubungan dengan nilai *Peak Particle Acceleration* (PPA). Perhitungan besarnya a_{max} yang diusulkan oleh Seed (1979) dalam Arif (2016) mengatakan nilai a_{max} berkisar 13%-20% dari PPA. Untuk menghubungkan parameter peledakan terhadap nilai a_{max} dalam analisis kestabilan lereng, Wong (1992) dalam Arif (2016) melakukan pendekatan antara nilai a_{max} dan PPA dengan menggunakan persamaan berikut:

$$a_{max} = z \times PPA \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

a_{max} = percepatan horizontal (g)

Z = koefisien yang diperoleh dari respons analisis

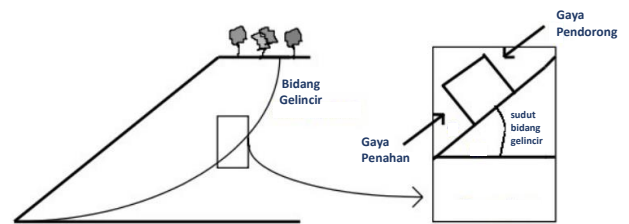
PPA = *Peak Particle Acceleration* (g)

Analisis Kestabilan Lereng

Kestabilan lereng tergantung pada gaya penggerak dan gaya penahan yang bekerja pada bidang gelincir tersebut. Gaya penahan (*resisting force*) adalah gaya yang menahan agar tidak terjadi longsor, sedangkan gaya penggerak (*driving force*) adalah gaya yang menyebabkan terjadinya longsor. Perbandingan antara gaya-gaya penahan terhadap gaya-gaya yang menggerakkan tanah inilah yang disebut dengan Faktor Keamanan (FK) lereng penambangan. Secara sistematis Faktor Keamanan (FK) suatu lereng dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut (Hoek and Bray, 1981):

$$\text{Faktor Keamanan (FK)} = \frac{\sum \text{Gaya Penahan}}{\sum \text{Gaya Penggerak}} \dots\dots\dots (5)$$

Dari **Persamaan 4**, dapat dilihat bahwa jika lereng menerima getaran tanah hasil peledakan sebesar a, massa batuan akan mengalami penambahan gaya penggerak dan pengurangan gaya penahan (**Gambar 2**). Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa percepatan horizontal menyebabkan berkurangnya kemantapan suatu lereng.



Gambar 2 Faktor Keamanan pada Lereng
(dimodifikasi dari Zakaria, 2009)

Klasifikasi nilai faktor keamanan dibagi menjadi 3 kelompok rentang Faktor Keamanan (FK) ditinjau dari intensitas kelongsorannya (Bowles, 1989, dalam Zakaria, 2009) seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Kategori nilai faktor keamanan (Bowles, 1989).

Nilai Faktor Keamanan	Kategori
<1,07	Labil
1,07 – 1,25	Kritis
>1,25	Stabil

Penentuan kriteria nilai Faktor Keamanan (FK) dinamis mengacu kepada Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K 30 MEM 2018 mengenai Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik pada **Tabel 2**.

Tabel 2 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≤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%

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pengukuran getaran *Signature Hole Analysis* (SHA) untuk mendapatkan nilai koefisien peluruhan getaran (k) dan konstanta massa batuan (m) yang diolah menggunakan *software Blastware*. Data SHA akan diolah mendapatkan nilai percepatan maksimum. Simulasi lereng dilakukan untuk menganalisis kestabilan lereng menggunakan *software Slide v8.0*. Data yang diolah merupakan data sifat fisik dan mekanik batuan penyusun lereng dan geometri lereng aktual dengan analisis pseudostatik. Nilai percepatan maksimum digunakan sebagai faktor seismik. Sehingga didapatkan Faktor Keamanan (FK) dinamis yang sesuai dengan pengaruh getaran tanah aktual. Faktor Keamanan (FK) dinamis diklasifikasikan berdasarkan nilai Faktor Keamanan Bowles (1989) dan Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K 30 MEM 2018.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Massa Batuan

Lereng *highwall* Pit Central Tutupan memiliki sudut *overall slope* sebesar 9° dengan tinggi 165,9 meter dan panjang alas 1230,1 meter. Lereng ini tersusun oleh material *top soil*, batupasir, batubara dan batulempung.

Ketebalan setiap litologi beragam, didominasi oleh batulempung.

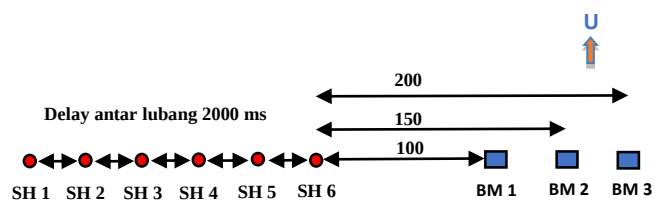
- Top Soil (Tanah Pucuk)**
Litologi tanah memiliki nilai *material properties* yaitu *unit weight* 18 kN/m^3 dan kohesi 53 kPa .
- Batubara**
Litologi batubara pada penampang lereng memiliki beberapa lapis dengan variasi ketebalannya $1,5 - 7$ meter, nilai *unit weight* seragam yaitu $12,6 \text{ kN/m}^3$. Batubara tergolong ke dalam *very weak rock* sampai *weak rock* (Deere & Miller, 1968) dengan nilai UCS $2019 - 12014 \text{ kPa}$. Nilai *Geological Strength Index* berkisar $23,5$ hingga $27,5$.
- Batupasir**
Litologi batupasir pada penampang lereng memiliki beberapa lapis dengan variasi ketebalannya $0,7 - 12$ meter, nilai *unit weight* yaitu $21,19 - 22 \text{ kN/m}^3$. Batupasir tergolong ke dalam *very weak rock* sampai *weak rock* (Deere & Miller, 1968) dengan nilai UCS $1333 - 11290 \text{ kPa}$. Nilai *Geological Strength Index* berkisar 44 hingga 70 .
- Batulempung**
Litologi batulempung mendominasi penampang lereng dengan variasi ketebalannya $0,3 - 15,6$ meter, nilai *unit weight* yaitu $20 - 23,4 \text{ kN/m}^3$. Batulempung tergolong ke dalam *very weak rock* sampai *weak rock* (Deere & Miller, 1968) dengan nilai UCS $1160 - 6134 \text{ kPa}$. Nilai *Geological Strength Index* berkisar 49 hingga $63,5$.

Pada Pit Central Tutupan tidak terdapat uji *piezometer*, sehingga Muka Air Tanah (MAT) atau garis *piezometer* diasumsikan berada pada 3 meter di bawah permukaan lereng.

Signature Hole Analysis

Area CT1

Signature Hole Analysis (SHA) pada area CT1 Pit Central Tutupan dilakukan pada 17 Oktober 2019. Percobaan dilakukan dengan enam lubang peledakan dengan jarak 10 meter menggunakan *delay time* antar lubang yaitu 2000 ms , jumlah isian bahan peledak yaitu 80 kg dan kedalaman lubang peledakan yaitu 8 meter. Alat ukur Blastmate diletakkan pada jarak 100 meter, 150 meter dan 200 meter pada lubang peledakan terakhir.



Gambar 3 Design Signature Hole Analysis pada area CT1 Pit Central Tutupan

Tabel 3 Koordinat dan Isian Signature Hole Analysis pada Pit Central Tutupan – CT1

ID	Koordinat			Depth m	Delay ms	Isian kg
	X	Y	Z			
SHA 1	7231.66	15334.7	73.63	8	1	80
SHA 2	7226.37	15343.1	72.99	8	2,001	80
SHA 3	7221.07	15351.6	72.3	8	4,001	80
SHA 4	7215.77	15360.1	71.67	8	6,001	80
SHA 5	7210.47	15368.5	71.09	8	8,001	80
SHA 6	7205.18	15377	70.45	8	10,001	80

Tabel 4 Jarak Blastmate pada Signature Hole Analysis pada area CT1 Pit Central Tutupan

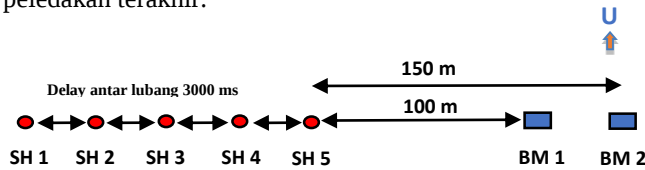
Jarak (m)		
Blastmate 1	Blastmate 2	Blastmate 3
150	200	250
140	190	240
130	180	230
120	170	220
110	160	210
100	150	200

Tabel 5 Nilai PPV pada *Signature Hole Analysis* pada area CT1 Pit Central Tutupan

PPV (mm/s)											
Blastmate 1				Blastmate 2				Blastmate 3			
Transversal	Vertical	Longitudinal	MicA	Transversal	Vertical	Longitudinal	MicA	Transversal	Vertical	Longitudinal	MicA
12.8	19.8	14	70.7	5.59	10.3	6.98	67.4	5.56	10.5	6.57	3.07
12.1	19.3	11.8	70.4	6.98	10.9	5.97	67	7.95	9.46	6.59	3
14.2	24	15.4	72.9	9.02	15	6.86	73.2	12.1	8.92	6.5	3.2
18.2	24.6	14.5	72.9	10	14.4	7.75	74	11.5	7.18	7.8	3.39
21.6	35.6	21.5	75.1	10	17.4	12.6	76.1	15.8	7.49	10.6	3.39
16.5	24.4	19.2	72.9	6.98	11.4	10.8	72.3	13.4	6.72	8.17	3.18

Area CT2

Signature Hole Analysis (SHA) pada Pit Central Tutupan dilakukan pada 22 September 2019. Percobaan dilakukan dengan lima lubang peledakan dengan jarak 10 meter menggunakan *delay time* antar lubang yaitu 3000 ms, jumlah isian bahan peledak yaitu 40 kg dan kedalaman lubang peledakan yaitu 5 meter. Alat ukur *Blastmate* diletakkan pada jarak 100 meter dan 150 meter pada lubang peledakan terakhir.



Gambar 4 Design *Signature Hole Analysis* pada Pit Central Tutupan

Tabel 6 Koordinat dan Isian *Signature Hole Analysis* pada Pit Central Tutupan

ID	Koordinat			Depth <i>m</i>	Delay <i>ms</i>	Isian <i>kg</i>
	X	Y	z			
SHA 1	6381.6	16001.2	75.48	5	1	40
SHA 2	6376.7	16009.9	75.73	5	3000	40
SHA 3	6371.79	16018.6	75.98	5	6000	40
SHA 4	6366.88	16027.3	76.23	5	9000	40
SHA 5	6361.98	16036	76.54	5	12000	40

Tabel 7 Jarak *Blastmate* pada *Signature Hole Analysis* pada area CT1 Pit Central Tutupan

Jarak (m)	
Blastmate 1	Blastmate 2
140	190
130	180
120	170
110	160
100	150

Tabel 8 Nilai PPV pada *Signature Hole Analysis* pada area CT2 Pit Central Tutupan

Blastmate 1				Blastmate 2			
Transversal	Vertical	Longitudinal	MicA	Transversal	Vertical	Longitudinal	MicA
8.51	8.51	10.5	64.8	2.29	2.54	2.41	65.7
10	9.52	15.9	60.1	5.21	5.08	3.81	64.9
14.6	11.2	22.7	64.1	3.30	4.7	5.21	63.8
14	12.7	30.7	64.5	2.92	3.05	4.83	62.9
12.3	13.6	21.5	64.8	-	-	-	-

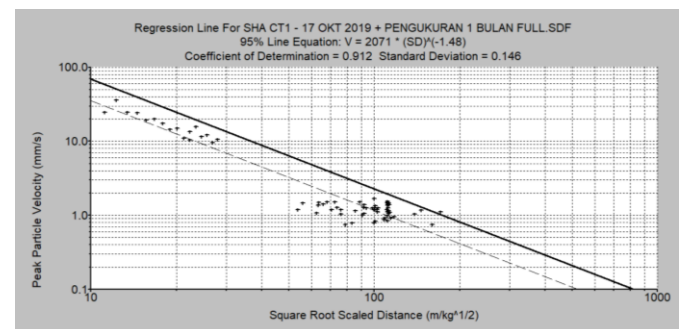
Hubungan PPV dengan *Scaled Distance*

Analisis hubungan parameter peledakan terhadap nilai percepatan maksimum yang diperoleh dari hasil pengukuran getaran tanah akibat peledakan dari *Signature Hole Analysis* (SHA). Selanjutnya dilakukan dengan perhitungan regresi linear antara *Scaled Distance* (SD) yang mewakili parameter peledakan terhadap *Peak Particle Velocity* (PPV) hasil pengukuran getaran tanah akibat peledakan sehingga dihitung menggunakan **Persamaan 1** yang menunjukkan hubungan keduanya (Basuki, 2011).

Parameter seperti nilai PPV dan *Scaled Distance* (SD) dapat dihubungkan melalui kurva yang dibuat untuk mendapatkan nilai koefisien peluruhan getaran (*k*) dan konstanta kondisi massa batuan (*m*) yang berlaku pada masing-masing area Pit Central Tutupan.

Area CT1

Persamaan hubungan antara *Peak Particle Velocity* (PPV) dan *Scaled Distance* (SD) didapatkan dari perhitungan data pengukuran *Signature Hole Analysis* (SHA) (**Tabel 5**) dan peledakan harian lereng pada area CT1 Pit Central Tutupan selama bulan Februari 2020. Data peledakan harian sebanyak 56 kali pada bulan Februari 2020 (**Lampiran 1**) dengan jarak pengukuran antara 860 hingga 1982 meter. Nilai *Peak Velocity Summary* pada wilayah ini berkisar 0.79 – 1.72 mm/s (**Lampiran 1**).



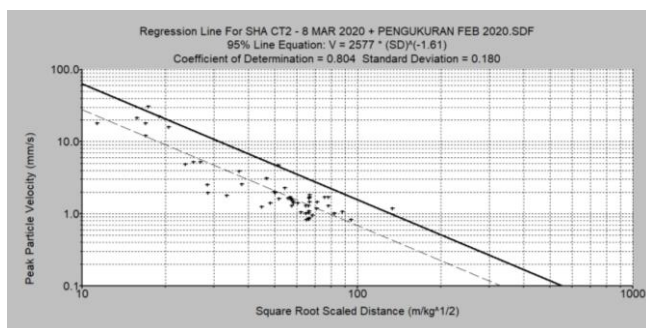
— tingkat kepercayaan 100%
- - - tingkat kepercayaan 95%

Gambar 5 Grafik Hubungan antara *Peak Particle Velocity* (PPV) dengan *Scaled Distance* (SD) pada Area CT1 Pit Central Tutupan

Berdasarkan analisis regresi linear pada grafik **Gambar 5**, persamaan hubungan antara PPV dan SD yaitu $V = 2071 * (SD)^{-1.48}$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0.912$. Sehingga didapatkan koefisien peluruhan getaran (k) yaitu 2071 dan konstanta kondisi massa batuan (m) yaitu 1.48.

Area CT2

Persamaan hubungan antara *Peak Particle Velocity* (PPV) dan *Scaled Distance* (SD) didapatkan dari perhitungan data pengukuran *Signature Hole Analysis* (SHA) (**Tabel 8**) dan peledakan harian lereng pada area CT2 Pit *Central* Tutupan selama bulan Februari 2020. Data peledakan harian sebanyak 38 kali pada bulan Februari 2020 (**Lampiran 2**) dengan jarak pengukuran antara 223 hingga 1197 meter. Nilai *Peak Velocity Summary* pada wilayah ini berkisar 0.92 – 4.93 mm/s (**Lampiran 2**).



— tingkat kepercayaan 100%
- - - tingkat kepercayaan 95%

Gambar 6 Grafik Hubungan antara *Peak Particle Velocity* (PPV) dengan *Scaled Distance* (SD) pada Area CT2 Pit *Central* Tutupan

Berdasarkan hasil dari analisis *software Blastware 10* dengan memakai fungsi *Square Root Scaled Distance* didapatkan nilai untuk koefisien peluruhan getaran (k) sebesar 2577 dan konstanta kondisi massa batuan (m) sebesar 1,61 (**Gambar 6**).

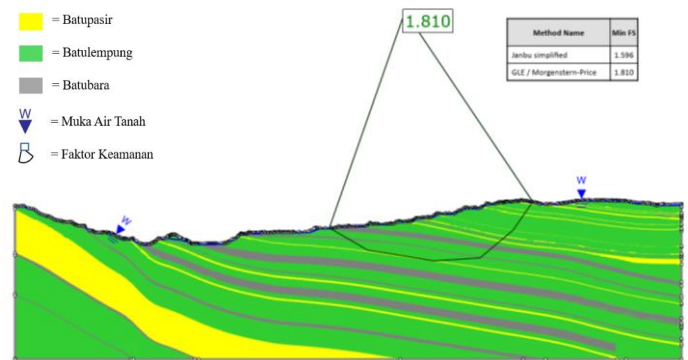
Perbedaan nilai koefisien peluruhan getaran (k) dikarenakan perbedaan jumlah isian bahan peledak (W), kedalaman lubang peledakan dan *delay time*. Sedangkan perbedaan konstanta kondisi massa batuan (m) dikarenakan rambat gelombang pada litologi batuan, kontak perlapisan ataupun struktur geologi yang dilewati oleh gelombang peledakan yang berbeda-beda.

Analisis Kestabilan Lereng

Lereng Highwall Area CT1

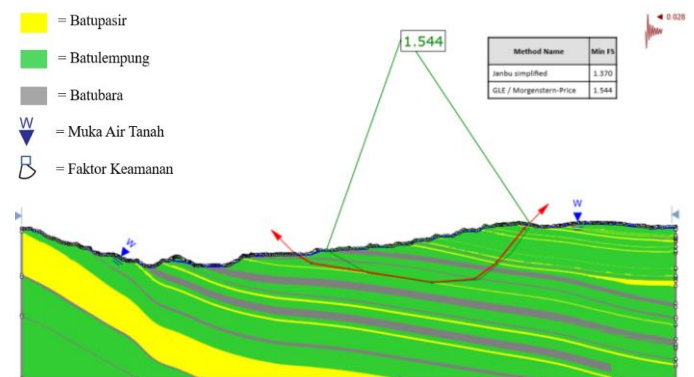
Section CT1 pada Pit *Central* Tutupan disusun oleh material *top soil*, batulempung, batulempung karbonatan, batupasir, dan batubara. Ketebalan setiap litologi beragam, didominasi oleh batulempung. Pada Section CT1 yang dianalisis adalah bagian *highwall* Pit *Central* Tutupan. Geometri aktual lereng memiliki *overall slope* 9°, tinggi lereng keseluruhan 150 meter. Simulasi dilakukan dengan *software Slide8* dengan memasukkan nilai *material properties* yang sesuai litologi

batuan penyusun. Koefisien seismik yang digunakan yaitu 0.028 g sesuai dengan percepatan maksimum yang diperoleh dari perhitungan. Pengaruh Muka Air Tanah (MAT) diasumsikan berada pada 3 meter di bawah permukaan lereng.



Gambar 7 Simulasi Lereng *Highwall* CT1 Pit *Central* Tutupan Tanpa Pengaruh *Ground Vibration*

Berdasarkan hasil simulasi dengan metode GLE/Morgenstern-Price, lereng *highwall* CT1 Pit *Central* Tutupan memiliki nilai faktor keamanan (FK) yaitu 1.810.



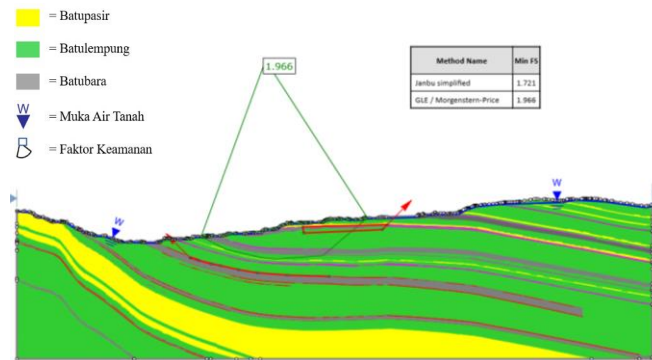
Gambar 8 Simulasi Lereng *Highwall* CT1 - Pit *Central* Tutupan dengan Pengaruh *Ground Vibration*

Lereng *Highwall* CT1 - Pit *Central* Tutupan yang dipengaruhi getaran dengan koefisien seismik sebesar 0.028 g memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) dinamis sebesar 1.544. Menurut klasifikasi faktor keamanan Bowles (1989), kondisi aktual lereng *highwall* CT1 Pit *Central* Tutupan dalam keadaan statis maupun keadaan dinamis termasuk dalam kategori stabil.

Lereng Highwall Area CT2

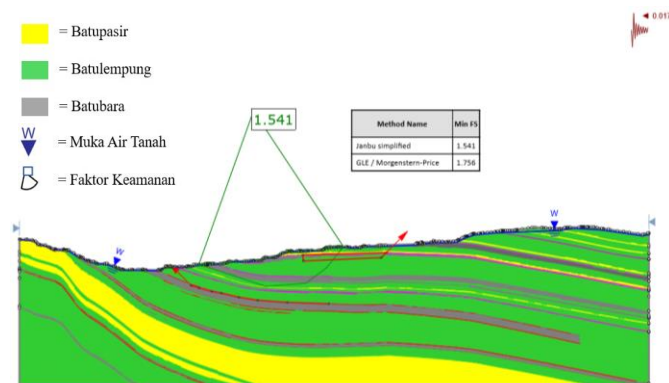
Section *highwall* Pit *Central* Tutupan disusun oleh material *top soil*, batulempung, batupasir, dan batubara. Ketebalan setiap litologi beragam, didominasi oleh batulempung. Pada Section CT2 yang dianalisis adalah bagian *highwall* Pit *Central* Tutupan. Geometri aktual lereng memiliki *overall slope* 9°, tinggi lereng keseluruhan 138 meter. Simulasi dilakukan dengan *software Slide8* dengan memasukkan nilai

material properties yang sesuai litologi batuan penyusun. Koefisien seismik yang digunakan yaitu 0.017 g sesuai dengan percepatan maksimum yang diperoleh dari perhitungan. Pengaruh Muka Air Tanah (MAT) diasumsikan berada pada 3 meter di bawah permukaan lereng.



Gambar 9 Simulasi Lereng Highwall Pit Central Tutupan Tanpa Pengaruh Ground Vibration

Berdasarkan hasil simulasi dengan metode GLE/Morgenstern-Price, lereng highwall CT2 Pit Central Tutupan memiliki nilai faktor keamanan (FK) yaitu 1.966.



Gambar 10 Simulasi Lereng Highwall Pit Central Tutupan dengan Pengaruh Ground Vibration

Lereng highwall Pit Central Tutupan yang dipengaruhi getaran dengan koefisien seismik sebesar 0.017 g memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) dinamis sebesar 1.541. Menurut klasifikasi faktor keamanan Bowles (1989), kondisi aktual lereng highwall area CT2 Pit Central Tutupan dalam keadaan statis maupun keadaan dinamis termasuk dalam kategori stabil.

Getaran peledakan dapat mengurangi nilai Faktor Keamanan karena pada saat material diberikan getaran, kohesi pada batuan berkurang dan membuat ikatan antar butir terlepas. Kekompakan material pun berkurang karena batuan mengalami retakan atau diskontinuitas sehingga menyebabkan penurunan pada Faktor Keamanan. Berdasarkan konsep perhitungan Faktor Keamanan yang dinyatakan oleh Hoek dan Bray (1981), jika lereng menerima getaran hasil peledakan, massa batuan akan mengalami penambahan gaya penggerak dan pengurangan gaya penahan. Oleh karena itu,

getaran menyebabkan berkurangnya nilai Faktor Keamanan lereng.

Sesuai dengan Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K 30 MEM 2018 mengenai Pedoman Pengelolaan Teknis Pertambangan, Faktor Keamanan (FK) dinamis lereng highwall pada area CT1 dan CT2 Pit Central Tutupan lebih dari 1.1, sehingga dikategorikan aman.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada area CT1, nilai koefisien peluruhan getaran dari PPA (k) yaitu sebesar 2071 dan konstanta kondisi massa batuan (m) yaitu sebesar 1.48, sedangkan pada area CT2, nilai koefisien peluruhan getaran dari PPA (k) sebesar 2577 dan konstanta kondisi massa batuan (m) yaitu sebesar 1.61.
2. Berdasarkan hasil simulasi lereng, lereng highwall CT1 memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) statis 1.810 dan dinamis 1.544 dengan koefisien seismik sebesar 0.028 g, sedangkan highwall CT2 memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) statis 1.966 dan dinamis 1.541 dengan koefisien seismik sebesar 0.017 g
3. Menurut klasifikasi faktor keamanan Bowles (1989) dan Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K 30 MEM 2018, Faktor Keamanan (FK) dinamis lereng highwall area CT1 dan CT2 Pit Central Tutupan dikategorikan aman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih untuk Departemen Geotechnical & Hydrogeology dan Departemen Drill & Blast PT. Adaro Indonesia yang telah memberikan sarana dan prasarana untuk melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Basuki, Susanto. 2011. *Tugas Akhir: Analisis Kestabilan Lereng Section 10 Akibat Pengaruh Getaran Peledakan dan Air Tanah PT Pama Persada*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Bowles J. E. 1989. *Physical and Geotechnical Properties of Soils 2nd Edition*. New York: McGraw- Hill Book Company hal.576
- Dyno Nobel Inc. 2017. *Signature Hole Analysis for Vibration Control*. Dyno Nobel Inc.
- Hoek, E., dan Bray, J.D. 1981. *Rock Slope Engineering 3th Edition*. CRC Press: Florida.
- Irwandy, Arif. 2016. *Geoteknik Tambang*. Jakarta: Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Alam. 2008. *Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K 30 MEM 2018*.
- Lucca, Frank J. 2003. *Effective Blast Design and Optimization*. Terra Dinamica L.L.C.

- Morgenstern, N.R. dan Price, V.E. 1965. *The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces*. 15(1), hal.79-93.
- Sikumbang, N., dan Heryanto, R.1994. *Peta Geologi Lembar Banjarmasin, Skala 1 : 250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung.
- United States. Bureau of Mines dan Siskind, D.E. 1980. *Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine blasting* (hal. 74). New York, NY, USA: US Department of the Interior, Bureau of Mines.
- Zakaria, Z. 2009. *Analisis Kestabilan Lereng Tanah*. Laboratorium Geologi Teknik: Fakultas Teknik Geologi, hal. 37.

Lampiran 1. Data Getaran Area CT1 Pit *Central* Tutupan Periode Februari 2020

CT1 AREA	HOLES	DISTANCE	CHARGE WEIGHT	MEASURING DATA										
				Transversal			Vertikal			Longitudinal			PVS	AIRBLAST
		(m)	(Kg)	(mm/s)	(Hz)	(g)	(mm/s)	(Hz)	(g)	(mm/s)	(Hz)	(g)	(mm/s)	(dB(A))
Average	106	1291	183	1.00	5.33	0.01	0.66	5.42	0.01	0.98	5.82	0.01	1.27	63.72
Maximal	261	1982	318	1.68	11.00	0.03	1.21	11.00	0.09	1.54	12.00	0.05	1.72	83.60

Lampiran 2. Data Getaran Area CT2 Pit *Central* Tutupan Periode Februari 2020

CT2 AREA	HOLES	DISTANCE	CHARGE WEIGHT	MEASURING DATA										
				Transversal			Vertikal			Longitudinal			PVS	AIRBLAST
		(m)	(Kg)	(mm/s)	(Hz)	(g)	(mm/s)	(Hz)	(g)	(mm/s)	(Hz)	(g)	(mm/s)	(dB(A))
Average	136	577	90	1.32	8.49	0.02	0.87	6.62	0.01	1.32	8.87	0.02	1.63	63.50
Maximal	200	1197	232	4.68	73.00	0.12	2.83	13.00	0.13	3.46	85.00	0.16	4.93	86.70