

## Analisa Pengaruh *Ground Vibration* terhadap Stabilitas *Low Wall* Blok Muara

### Tiga Besar Utara *Pit* Timur Menggunakan *Software GeoStudio 2012*

di PT Bukit Asam (Persero) Tbk, Kabupaten Muara Enim

(*Analysis of The Effect of Ground Vibration on The Stability of The Low Wall Block North Muara Tiga Besar East Pit Using Software GeoStudio 2012 at PT Bukit Asam (Persero) Tbk, District of Muara Enim*)

Deza Pahlevi Antasari<sup>1</sup>, Irvani<sup>1</sup>, Anisa Indriawati<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Bangka Belitung

<sup>2</sup>Jurusan Fisika, Universitas Bangka Belitung

#### Abstract

*Ground vibration will produce variable Peak Particle Acceleration (PPA) which endanger the stability of the slope especially low wall. This study discusses the effect of ground vibration on the stability of the low wall and restricted in Block MTBU East Pit. While the slope analysis conducted by the method of Morgenstern-Price (1965) Manually and Software GeoStudio 2012, as well as statistical regression analysis approach in finding a relationship between the variables SD-PPA and PPA-FK. The higher the value of the PPA will lower prices Safety Factor (FK) of slope, proved to vibration FK 0.0133 g yield of 1.258 (C-C') and 1.292 (D-D'), whereas the vibrations of 0.225 g yield of 0.771 FK (C-C') and 0.768 (D-D'). The relationship between the scaled distance (SD) of the PPA produces non-linear relationship on a graph of power. The relationship between PPA against FK produces a linear relationship on the Section C-C' and Section D-D'. The proposal obtained at a distance of 200 m from the blasting area 29.352 kg and at a distance of 500 m is 183.447 kg maximum load of explosives.*

*Keywords: Stability, low wall, ground vibration.*

#### 1. Pendahuluan

Peledakan pada pengerjaannya akan memiliki dampak yang ditimbulkan seperti *air blast*, *flyrock*, dan *ground vibration* yang senantiasa mengancam beberapa objek sekitar daerah peledakan meliputi; konstruksi bangunan, alat-alat berat (*heavy equipments*), maupun pekerja. *Ground vibration* (Getaran Tanah) yang diakibatkan pada kegiatan peledakan akan mengakibatkan berbagai permasalahan seperti pada konstruksi (meliputi: bangunan, sarana perkantoran, perumahan, *conveyor*) dan *slope* (lereng). Lereng merupakan bagian dari *pit* yang memiliki fungsi sebagai pencegah *failure* pada *pit* yang terdiri dari *low wall*, *high wall*, dan *side wall*. Berdasarkan posisi, nilai Faktor Keamanan (FK) dari *low wall* lebih kecil daripada *high wall* dan *side wall*, hal ini diakibatkan karena *low wall* berada searah dengan dip perlapisan, sehingga akan menambah potensi *failure* dari *low wall*.

Optimasi yang dilakukan PTBA pada Blok MTBU *Pit* Timur mengharuskan perusahaan ini melakukan penambangan dengan menurunkan

nilai FK hingga batas kritis. Oleh karena itu pentingnya analisa *ground vibration* terhadap stabilitas lereng ini dilakukan. Penelitian ini menggunakan variabel *Peak Particle Acceleration* (PPA) dan *Software GeoStudio 2012* dalam menentukan FK dari *low wall*. Tahap akhir pada penelitian ini akan memberikan usulan muatan bahan peledak per *delay* terhadap jarak lereng-titik peledakan.

#### Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Blok Muara Tiga Besar Utara *Pit* Timur PT Bukit Asam (Persero) Tbk, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan (Gambar 1).

#### Landasan Teori

##### Kestabilan Lereng

Menurut Hoek & Bray (1991) dalam Arief (2007) faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng di alam dapat dikelompokkan secara garis besar sebagai gaya-gaya penahan dan gaya-gaya penggerak seperti pada persamaan berikut:

$$FK = \frac{\Sigma \text{Gaya Penahan}}{\Sigma \text{Gaya Penggerak}} \quad (1)$$

\* Korespodensi Penulis: (Deza Pahlevi Antasari) Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Bangka Belitung

E-mail: [antasarideza@gmail.com](mailto:antasarideza@gmail.com)

Berdasarkan persamaan tersebut secara teoritis nilai FK Lebih dari 1 berarti lereng stabil, nilai FK sama dengan 1 berarti kritis sedangkan

nilai FK kurang dari 1 berarti lereng labil. Menurut Bowles (1989) menyatakan bahwa nilai tersebut



Gambar 1. Peta kesampaian lokasi penelitian

berbeda ketika berada di lapangan. Nilai FK lebih dari 1,5 berarti Stabil, FK antara 1,07 hingga 1,5 berarti kritis, dan nilai FK kurang dari 1,07 berarti labil (Tabel 1).

Tabel 1. Perbandingan FK teoritis dan FK menurut Bowles (1989)

Teoritis	Bowles	Dampak/Pengaruh
> 1	> 1,25	Lereng stabil
= 1	1,25 ≥ FK	Lereng kritis
< 1	< 1,07	Lereng labil

#### Metode Morgenstern-Price

Menurut Morgenstern-Price (1965) metode analisa faktor keamanan dilakukan dengan dua prinsip yaitu kesetimbangan momen ( $F_m$ ) dan kesetimbangan gaya ( $F_f$ ). Prinsip kesetimbangan momen (2) dan prinsip kesetimbangan batas (3) dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$F_m = \frac{\sum [c \cdot l + (P \cdot u \cdot l) \tan \phi]}{\sum W \sin \alpha} \quad (2)$$

$$F_f = \frac{\sum [c \cdot l + (P \cdot u \cdot l) \tan \phi] \cos \alpha}{\sum P \sin \alpha} \quad (3)$$

dimana  $c$  adalah nilai kohesi,  $P$  adalah gaya normal,  $u$  adalah tekanan air pori,  $l$  adalah panjang dasar irisan  $\phi$  adalah sudut geser material,  $W$  adalah berat irisan, dan  $\alpha$  adalah sudut dasar irisan terhadap bidang datar

#### Getaran Tanah Akibat Peledakan

Karakteristik peluruhan getaran tanah akibat peledakan didefinisikan dalam kurva hubungan PPA (*Peak Particle Acceleration*) dan *Scaled Distance*. Persamaan tersebut menurut Ho et al. (1994) dapat digunakan dalam mencari hubungan antara variabel *Peak Particle Acceleration* dengan *Scaled Distance* dengan persamaan sebagai berikut:

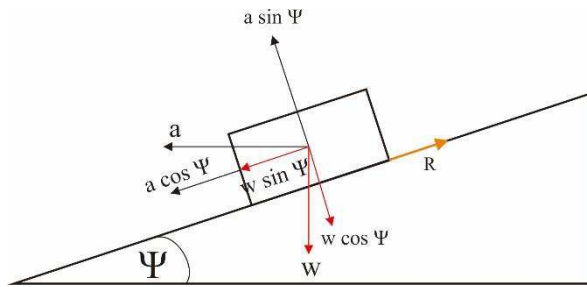
$$PPA = n \times \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta} = n \times (SD)^{-\beta} \quad (4)$$

dimana  $n$  adalah koefisien peluruhan getaran dan  $\beta$  adalah konstanta kondisi massa batuan.

#### Hubungan Getaran Peledakan terhadap Stabilitas

Menurut Fahlevi (2012) apabila getaran tanah akibat peledakan memiliki besaran dalam satuan  $g$  ( $1 g = 9,810 \text{ m/s}^2$ ) (Gambar 2) maka lereng akan terjadi penambahan gaya penggerak. Maka dapat dikatakan bahwa percepatan getaran horizontal dapat

mengakibatkan berkurangnya kemantapan lereng.



Gambar 2. Pengaruh percepatan getaran terhadap kesetimbangan gaya (Arif, 2010)

*Software GeoStudio 2012 (Slope/ W Analysis)*

GeoStudio adalah perangkat lunak analisis numerik yang digunakan oleh teknisi geoteknik, hidro-geologis, dan ilmuwan kebumihan. Perangkat lunak ini terintegrasi yang termasuk analisis kestabilan kesetimbangan batas (Anonim, 2015).

## 2. Metode Penelitian

### Objek Penelitian

Objek penelitian diantaranya: Parameter Batuan, Blok Muara Tiga Besar (MTBU), Desain *Pit* Timur Blok MTBU, serta data getaran menggunakan Blastmate III (Gambar 3).

### Tahapan Penelitian

Kegiatan utama penelitian ini adalah melakukan pengamatan getaran yang terjadi di Blok MTBU, Menganalisa nilai Faktor Keamanan sebelum peledakan ( $FK_0$ ) dan Faktor keamanan sewaktu peledakan ( $FK_1$ ), mencari hubungan antar variabel *Scaled Distance* (SD) – *Peak Particle Acceleration* (PPA) dan PPA – Faktor Keamanan (FK), dan terakhir membuat usulan muatan bahan peledak per delay. Tahapan-tahapannya terdiri dari: observasi, studi literatur, pengambilan data, pengolahan dan analisis data.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### Getaran Tanah (*Ground Vibration*) Hasil Peledakan

Pengambilan data getaran akan berupa nilai *Peak Particle Velocity* (PPV), *Peak Particle Acceleration* (PPA), serta *Mic Peak* (*airblast*).

Pengambilan data *ground vibration* diatur pada *trigger level* (batas pembacaan) 0,4 mm/s agar getaran pada tingkat yang rendah tetap terekam. Akan tetapi dengan *trigger level* sebesar itu juga akan sangat peka pada gangguan (*noise*) seperti langkah kaki, kendaraan yang berjalan dan sebagainya. Tabel 2 merupakan hasil pengamatan getaran yang terjadi di Blok MTBU menggunakan alat Blastmate III.

### Faktor Keamanan (FK) *Low Wall* Blok MTBU *Pit* Timur

Sebelum menganalisa faktor keamanan dari *low wall* di Blok MTBU *Pit* Timur perlu diketahui beberapa parameter batuan yang ada di lokasi MTBU yang diperoleh dari hasil pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah PTBA (Lab. Test), selengkapnya dapat dilihat di Tabel 3. Penelitian dilakukan pada situasi akhir *low wall* pada tanggal 31 Agustus 2016, pada Penampang C-C' dan D-D'. Sedangkan untuk Penampang E-E' tidak dianalisa karena merupakan *side wall pit*.

#### Faktor Keamanan Sebelum Peledakan ( $FK_0$ )

Perhitungan  $FK_0$  dilakukan secara manual menggunakan prinsip kesetimbangan momen dan kesetimbangan batas yang mana beberapa variabel merupakan hasil dari beberapa asumsi serta menggunakan *Software GeoStudio 2012*.

Sebelum menganalisa FK pada Penampang C-C' perlunya penyamaan asumsi dengan perhitungan yang dilakukan secara otomatis menggunakan *Software GeoStudio 2012* (Lampiran 1). Hal ini dilakukan untuk memperkecil perbedaan nilai yang akan terjadi.



Gambar 3. Kegiatan perekaman getaran menggunakan Blastmate III di Blok MTBU

Tabel 2. Hasil pengamatan getaran yang terjadi di Blok MTBU

No	Tanggal	Pit	Jarak Pantau	PPV (mm/s)			PVS	Peak Acc (g)			Mic Peak (dB)
				Trans	Vert	Long		Trans	Vert	Long	
1	06/09/2016	Muara Tiga Besar Utara	338	0,635	0,899	0,635	1,09	0,0265	0,0265	0,0265	68,5
2	08/09/2016		370	0,635	0,635	1,02	1,26	0,0133	0,0265	0,0265	67,6
3	09/09/2016		291	6,1	2,79	15,7	16	0,053	0,053	0,106	72,1
4	10/09/2016		340	1,27	1,78	1,78	2,2	0,0265	0,0265	0,0265	50
5	18/09/2016		247	14	10,7	9,27	17,8	0,225	0,133	0,252	69,2
6	24/09/2016		316	4,57	3,56	4,57	5,74	0,106	0,0265	0,106	67,8
7	26/09/2016		550	1,9	2,41	2,16	2,43	0,0265	0,0146	0,0265	72,3
8	27/09/2016		361	1,78	1,9	2,03	2,35	0,0265	0,0398	0,0265	78,1
9	28/09/2016		354	0,762	0,635	0,762	1	0,0265	0,0265	0,0265	75,2
10	29/09/2016		392	2,16	1,78	2,16	2,52	0,0398	0,0398	0,0398	66,1
11	08/10/2016		415	2,79	2,41	2,29	3,16	0,0265	0,053	0,0398	83,2
12	10/10/2016		401	2,79	2,29	3,05	3,24	0,0398	0,0398	0,0398	79

Tabel 3. Parameter stabilitas lereng Muara Tiga Besar Utara (Lab. Mekanika Tanah PTBA, 2016)

<i>Slope Stability Parameter</i>						
<i>Boring Point &amp; Rock Layer</i>	<i>Density</i>	<i>Lab. Test</i>		<i>RocLab (General)</i>		<i>Description Material</i>
	<i>γw (kN/m<sup>3</sup>)</i>	<i>Cr (kPa)</i>	<i>φr (deg)</i>	<i>C (kPa)</i>	<i>φ (deg)</i>	
<i>Overburden</i>	19,34	97,8	20,11	38,0	19,38	<i>Claystone</i>
<i>Seam A1</i>	12,05	623,7	31,39	193,0	17,65	<i>Seam A1</i>
<i>Interburden A1-A2</i>	17,87	128,1	27,54	34,0	27,50	<i>Tuff, Sandstone</i>
<i>Seam A2</i>	12,12	914,13	23,40	266,0	20,01	<i>Seam A2</i>
<i>Interburden A2-B</i>	19,47	244,8	22,69	42,0	21,97	<i>Silty Claystone</i>
<i>Seam B</i>	12,03	652,1	24,10	186,0	18,58	<i>Seam B</i>
<i>Interburden B-C</i>	20,25	246,5	18,99	95,0	35,21	<i>Silty Sandstone</i>
<i>Seam C</i>	12,32	528,05	31,75	80,0	23,55	<i>Seam C</i>
<i>Lower Seam C</i>	20,24	45,2	22,00	36,0	22,25	<i>Sandy Silt</i>

Berdasarkan data-data tersebut maka dapat dilakukan perhitungan nilai FK dengan prinsip kesetimbangan momen dan FK dengan prinsip kesetimbangan batas. FK dengan prinsip kesetimbangan momen dicari dengan menentukan terlebih dahulu nilai dari A dan B untuk masing-masing irisan dan dioperasikan sesuai Persamaan 2 dan Persamaan 3.

Setelah diperoleh jumlah dari variabel A dan B pada FK<sub>m</sub> dan FK<sub>f</sub> maka selanjutnya perlu dilakukan perbandingan untuk mendapatkan nilai FK. Perhitungan-perhitungan dari berbagai prinsip perhitungan Morgenstern-Price untuk Penampang C-C' adalah sebagai berikut:

Faktor keamanan dengan prinsip kesetimbangan momen (FK<sub>m</sub>)

$$FK_m = \frac{15.311,0453}{10.149,1201}$$

$$FK_m = 1,509 \text{ (stabil)}$$

Faktor keamanan dengan prinsip kesetimbangan batas (FK<sub>f</sub>)

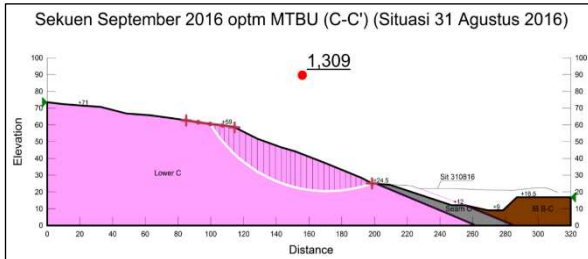
$$FK_f = \frac{13.838,9267}{9.544,4710}$$

$$FK_f = 1,450 \text{ (stabil)}$$



Faktor Keamanan dengan *Software GeoStudio* 2012

Analisa menggunakan *Software GeoStudio* 2012 (Gambar 4) menghasilkan  $FK_0$  sebesar 1,309 untuk Penampang C-C' dengan kondisi bidang gelincir pada elevasi +59 hingga +24,5. Nilai  $FK$  tersebut menandakan bahwa lereng dalam keadaan yang stabil.



Gambar 4.  $FK$  Penampang C-C' (GeoStudio 2012)

Sedangkan pada Penampang D-D' setelah perhitungan variabel A dan B pada  $FK_m$  dan  $FK$  diketahui, maka berikutnya adalah mencari  $FK$  dalam metode Morgenstern-Price adalah sebagai berikut:

Faktor keamanan dengan prinsip kesetimbangan momen ( $FK_m$ )

$$FK_m = \frac{15.483,23}{10.863,26}$$

$$FK_m = 1,425 \text{ (stabil)}$$

Maka nilai faktor keamanan dengan prinsip kesetimbangan momen ( $FK_m$ ) yang diperoleh dari perhitungan adalah sebesar 1,509 yang menandakan bahwa lereng dalam keadaan yang stabil

Faktor keamanan dengan prinsip kesetimbangan batas ( $FK_f$ )

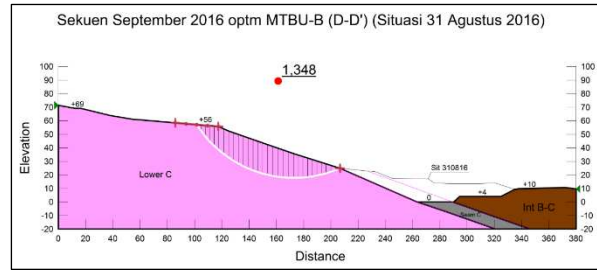
$$FK_f = \frac{14.304,21}{10.660,58}$$

$$FK_f = 1,341 \text{ (stabil)}$$

Maka nilai faktor keamanan dengan prinsip kesetimbangan batas ( $FK_f$ ) yang diperoleh dari perhitungan adalah sebesar 1,450 dan lereng dalam keadaan stabil.

Faktor Keamanan dengan *Software GeoStudio* 2012

Analisa menggunakan *Software GeoStudio* 2012 (Gambar 5) menghasilkan  $FK_0$  sebesar 1,348 untuk Penampang D-D' dengan kondisi bidang gelincir pada elevasi +56 hingga +29.



Gambar 5.  $FK$  Penampang D-D' (GeoStudio 2012)

Faktor Keamanan Sewaktu Peledakan ( $FK_1$ )

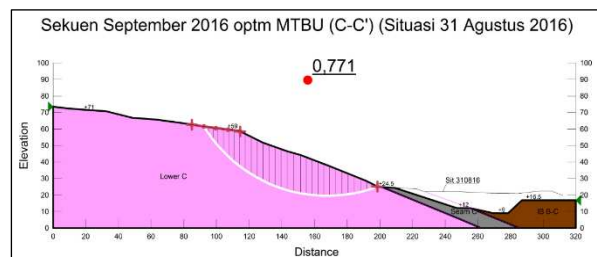
$FK_1$  merupakan terapan dari hasil pengamatan Blastmate III atau dapat dikatakan nilai tersebut bukan representasi daripada  $FK$  yang ada di lapangan (aktual), melainkan hasil simulasi. Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa semakin besar nilai  $PPA_{Trans}$  dari suatu peledakan akan menyebabkan nilai  $FK_1$  semakin kecil.

Tabel 4. Hasil perhitungan  $FK_0$  dan  $FK_1$  dengan *Software GeoStudio* 2012

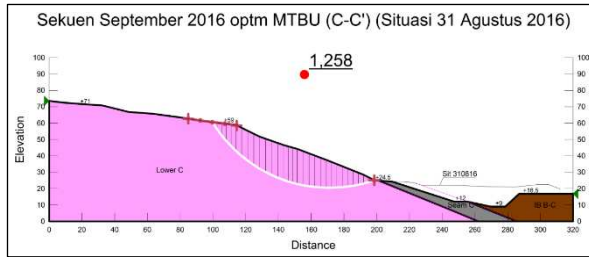
PPA (g)	Faktor Keamanan					
	$FK_0$		$FK_1$			
	C-C'	D-D'	C-C'	D-D'		
0,0265	1,309 (Stabil)	1,348 (Stabil)	1,212	Kritis	1,240	Kritis
0,0133			1,258	Stabil	1,292	Stabil
0,053			1,128	Kritis	1,146	Kritis
0,0265			1,212	Kritis	1,240	Kritis
0,225			0,771	Labil	0,768	Labil
0,106			0,989	Labil	0,995	Labil
0,0265			1,212	Kritis	1,240	Kritis
0,0265			1,212	Kritis	1,240	Kritis
0,0265			1,212	Kritis	1,240	Kritis
0,0398			1,168	Kritis	1,191	Kritis
0,0265			1,212	Kritis	1,240	Kritis
0,0398			1,168	Kritis	1,191	Kritis

Sebagai contoh Gambar 6 merupakan hasil perhitungan pada  $FK_1$  terkecil yang dihasilkan dari PPA sebesar 0,225 g pada Penampang C-C'. Gambar 7 adalah contoh untuk  $FK_1$  yang terbesar yang dihasilkan dari PPA sebesar 0,0133 g pada Penampang C-C'.

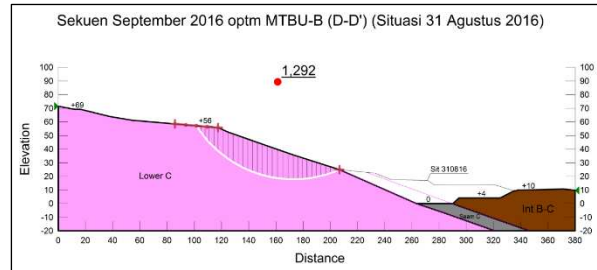
Sedangkan untuk Gambar 8 merupakan contoh  $FK_1$  terkecil yang dihasilkan dari PPA sebesar 0,225 g pada Penampang D-D', dan Gambar 9 merupakan contoh  $FK_1$  terbesar dari PPA 0,0133 g untuk Penampang D-D'.



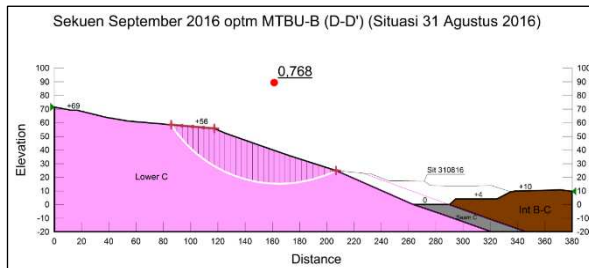
Gambar 6.  $FK_1$  terkecil pada Penampang C-C'



Gambar 7. FK<sub>1</sub> terbesar pada Penampang C-C'



Gambar 9. FK<sub>1</sub> terbesar pada Penampang D-D'



Gambar 8. FK<sub>1</sub> terkecil pada Penampang D-D'

### Hubungan antara SD-PPA dan PPA-FK

Hubungan Scaled Distance (SD) dengan Peak Particle Acceleration (PPA)

Sebagaimana diketahui bahwa *Scaled Distance* (SD) merupakan perbandingan antara jarak pengamatan (R) dengan akar berat peledak maksimum per *delay* ( $\sqrt{W}$ ) yang diketahui melalui *Software ShotPlus-i* pada *time window*  $\leq 8$  ms. Pengamatan yang dilakukan terhadap peledakan MTBU selama bulan September dan Oktober 2016 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan SD-PPA di Blok MTBU

Tanggal	Jarak	Jumlah Lubang (J)	Muatan per Lubang (M)	J × M	SD	PPA
06/09/2016	338	1	37	37	55,567	0,0265
08/09/2016	370	1	42	42	57,092	0,0133
09/09/2016	291	1	47	47	42,447	0,053
10/09/2016	340	1	47	47	49,594	0,0265
18/09/2016	247	2	42	84	26,950	0,225
24/09/2016	316	2	42	84	34,478	0,106
26/09/2016	550	3	42	126	48,998	0,0265
27/09/2016	361	1	42	42	55,704	0,0265
28/09/2016	354	1	47	47	51,636	0,0265
29/09/2016	392	2	42	84	42,771	0,0398
08/10/2016	415	2	42	84	45,280	0,0265
10/10/2016	401	2	47	94	41,360	0,0398

Berdasarkan Tabel 5 data tersebut diplotkan ke dalam grafik hubungan SD-PPA dalam bentuk persamaan power (polynomial) sesuai dengan ketentuan Ho et al. (1994) (Gambar 12). Sehingga persamaan hubungan yang diperoleh dapat di konversikan menjadi:

$$PPA = 9.779 (SD)^{-3,271}$$

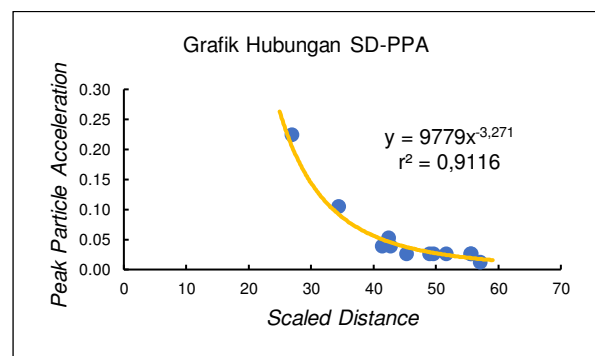
Keterangan:

PPA = Peak Particle Acceleration (g)

SD = Scaled Distance (m/ $\sqrt{kg}$ )

k = Koefisien peluruhan getaran (site factor); 9,779

$\alpha$  = Konstanta kondisi massa batuan (site factor); 3,271



Gambar 12. Grafik hubungan SD-PPA di Blok MTBU

Hubungan Peak Particle Acceleration (PPA) dengan Faktor Keamanan (FK)

Hubungan antara PPA terhadap nilai FK perlu diketahui agar dapat diketahui keterkaitan antara kedua variabel tersebut serta bagaimana persamaan hubungan. Persamaan hubungan dapat dijadikan estimasi untuk menentukan nilai dependent yakni variabel FK menggunakan nilai independent atau variabel PPA. Nilai PPA yang digunakan adalah PPA<sub>Trans</sub> sedangkan faktor keamanan dianalisa pada dua Penampang C-C' dan Penampang D-D' pada Sekuen Blok MTBU Pit Timur. Gambar 13 merupakan grafik hubungan PPA-FK untuk Penampang C-C' dengan persamaan hubungan sebagai berikut:

$$FK = -2,2928 PPA + 1,2677$$

Keterangan:

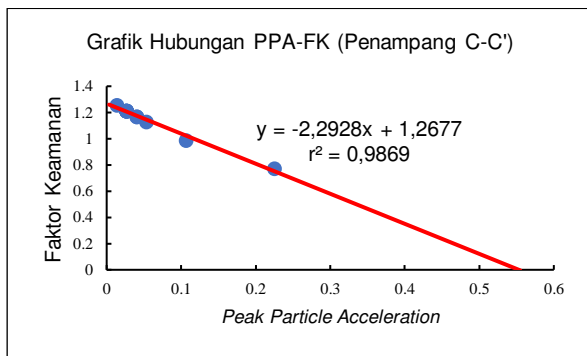
FK = Faktor Keamanan lereng  
PPA = Peak Particle Acceleration (g)

Gambar 14 merupakan grafik hubungan PPA-FK untuk Penampang D-D' dengan persamaan sebagai berikut:

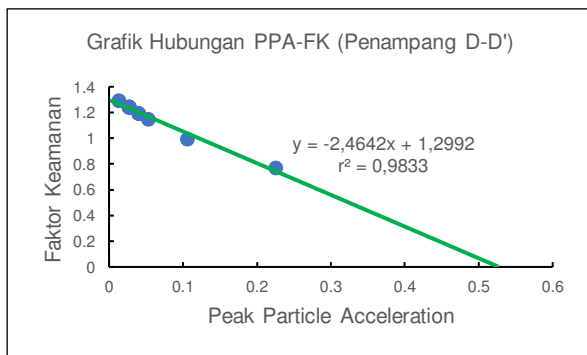
$$FK = -2,4642 PPA + 1,2992$$

Keterangan:

FK = Faktor Keamanan lereng  
PPA = Peak Particle Acceleration (g)



Gambar 13 Grafik hubungan PPA-FK (Penampang C-C')



Gambar 14 Grafik hubungan PPA-FK (Penampang D-D')

#### Usulan Muatan Bahan Peledak Maksimum per Delay

Menentukan usulan bahan peledak maksimum per *delay* dilakukan dengan menggunakan persamaan hubungan SD-PPA dan PPA-FK. Sebagaimana informasi yang didapatkan di lapangan bahwa untuk *Pit* Timur

dilakukan optimasi penambangan batubara pada daerah Penampang C-C'. Perlu ditentukan terlebih dahulu invers persamaan hubungan PPA-FK. Dengan memasukkan nilai FK senilai 1,1 maka diperoleh nilai PPA sebesar 0,0731 g.

Berdasarkan perhitungan didapatkan bahwa nilai dari SD untuk PPA 0,0731 g bernilai 36,916 m/ $\sqrt{\text{kg}}$ . Berikutnya adalah mencari nilai dari berat muatan bahan peledak maksimum per waktu tunda (waktu setelah inisiasi dilakukan) dalam jarak terhadap *low wall* di *Pit* Timur. Sehingga jarak peledakan yang akan dimasukkan berkisar pada 200 m, 250 m, 300 m, 350 m, 400 m, 450 m dan 500 m terhadap *low wall* (Tabel 6).

Tabel 6. Usulan muatan bahan peledak per *delay*

Scaled Distance (m/ $\sqrt{\text{kg}}$ )	Jarak <i>low wall</i> terhadap area peledakan (m)	Muatan (kg)
36,916	200	29,352
	250	45,862
	300	66,041
	350	89,889
	400	117,406
	450	148,592
	500	183,447

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian di PT Bukit Asam (Persero) Tbk Blok Muara Tiga Besar Utara *Pit* Timur mengenai pengaruh *ground vibration* terhadap stabilitas lereng, disimpulkan bahwa:

- Kondisi getaran hasil peledakan pada Blok MTBU menunjukkan bahwa PPA terbesar terjadi pada tanggal 18 September 2016 sebesar 0,225 g, nilai terkecil terjadi pada tanggal 8 September 2016 sebesar 0,0133 g.
- Hasil perhitungan FK menggunakan *Software GeoStudio* 2012 pada Penampang C-C' sebelum peledakan (FK<sub>0</sub>) sebesar 1,309 (stabil) dan FK sewaktu peledakan (FK<sub>1</sub>) sebesar 1,258 (stabil) untuk PPA sebesar 0,0133 g, dan sebesar 0,771 (labil) untuk PPA sebesar 0,225 g. Sedangkan, pada Penampang D-D' FK sebelum peledakan (FK<sub>0</sub>) sebesar 1,348 (stabil) dan FK sewaktu peledakan (FK<sub>1</sub>) sebesar 1,292 (stabil) untuk PPA sebesar 0,0133 g, dan sebesar 0,768 (labil) untuk PPA sebesar 0,225 g.
- Hubungan variabel SD-PPA adalah non-linier (regresi *power*)  $PPA = 9779 (SD)^{-3,271}$  dengan keterkaitan ( $r^2$ ) yang kuat sebesar 0,9116, sedangkan hubungan PPA-FK pada Penampang C-C' adalah linier dengan  $FK = -2,2928 (PPA) + 1,2677$  untuk keterkaitan kuat sebesar 0,9869, dan Penampang D-D' mempunyai hubungan PPA-FK yang linier



- FK = -2,4642 (PPA) + 1,2992 dengan keterkaitan kuat sebesar 0,9833.
- Usulan muatan bahan peledak maksimum per *delay* untuk nilai FK sebesar 1,1 pada jarak 200 m berisi 29,352 kg, 300 m berisi 66,041 kg, jarak 400 m berisi 117,406, dan jarak 500 m berisi 183,447 kg, jarak ini dihitung dari sumber peledakan terhadap lokasi *low wall*.

### Daftar Pustaka

Anonim(2012) GeoStudio 2012: One Model, One Tool, Many Analyses. Geo-Slope International, Canada.

Anonim (2014) Pedoman Teknis Pemantauan Kestabilan Lereng Tambang dan Timbunan Batuan Penutup, Direktorat Teknik dan Lingkungan Mineral dan Batubara, Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.

Bowles, J. E.(1989) Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis tanah 2nd ed, Erlangga, Jakarta.

Ho, K. K. S., Kay, J. N., & Li, K. S. (1998) Slope Engineering in Hongkong, A.A. Balkema, Rotterdam. ISBN 90 5410 935 1.

Morgenstern, R. N. & Price, V. E.(1965) The Analysis of The Stability of General Slip Surfaces, Geotechnique, pp 79-93.

Richards, A. B., & Moore, A. J.(2005) Blast Vibration Course: Measurement – Assesment – Control. Terrock Consulting Engineers.

Rocscience (2004) Application of the Finite Element Method of Slope Stability. Rocscience Inc., Toronto.

Sukandarrumidi(1995) Batubara dan Gambut. Jurusan Teknik Geologi UGM. Yogyakarta.

Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1993) Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa 2nd ed, Vol. 1, Erlangga, Jakarta.

Yasman, W. 2013. Analisis Pengaruh Getaran Tanah Akibat Peledakan Terhadap Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Elemen Hingga di Lowwall Pit C2 Tambang Samabarata PT Berau Coal. Program Studi Teknik Pertambangan ITB, Bandung.

Zhao, X. L., & Grzbiet, R. H., 2000, Structural Failure and Plasticity: IMPLAST 2000, Elsevier Science, Ltd, Kidlington.

### Lampiran 1

Variabel irisan pada Penampang C-C'

n	W (kN)	P (kN)	T (kN)	L (m)	α (deg)	u (kPa)	Cu (kPa)
1	114,42	39,575	166,79	5,1825	56,75	83,464	32,183
2	328,47	233,72	236,61	4,7608	53,35	46,966	49,700
3	516,01	442,24	289,92	4,4404	50,21	14,989	65,291
4	693,89	631,04	323,9	4,2507	47,24	13,535	76,199
5	846,52	789,04	334,31	4,0398	44,41	39,164	82,754
6	1206,8	1128,8	409,17	4,8313	41,38	71,21	84,691
7	1300,1	1211	377,38	4,6102	38,16	109,42	81,858
8	1369,6	1267,1	346,66	4,4292	35,07	144,45	78,267
9	1417,9	1304,5	317,19	4,2791	32,10	176,66	74,125
10	1489,9	1363,8	311,65	4,2241	29,20	195,77	73,779
11	1536,9	1404,8	319,29	4,115	26,35	201,95	77,592
12	1567,2	1439,6	327,66	4,0231	23,57	205,93	81,445
13	1581,7	1468,6	336,54	3,9458	20,85	207,83	85,291
14	1186,8	1117	257,81	2,9	18,51	209,12	88,900
15	1193,4	1139,1	264,54	2,8687	16,54	210,28	92,216
16	1194,4	1158,1	271,08	2,8417	14,59	210,44	95,394
17	1520,1	1503,4	356,91	3,6345	12,38	207,47	98,201
18	1473,3	1492,8	361,64	3,6038	9,91	201,1	100,35
19	1415,3	1470,6	364,19	3,5803	7,46	193,17	101,72
20	1346,2	1434,7	363,91	3,5636	5,02	183,74	102,11
21	1266,2	1383,3	360,23	3,5536	2,59	172,82	101,37
22	1078,2	1205	323	3,25	0,26	160,75	99,385
23	990,5	1129,7	312,86	3,2519	1,96	147,67	96,208
24	894,46	1039,5	299,35	3,2587	4,18	133,35	91,862
25	790,06	934,7	282,49	3,2704	6,41	117,79	86,378
26	677,23	814,2	262,46	3,2874	8,65	100,97	79,838
27	555,81	679,91	239,57	3,3097	10,90	82,864	72,384
28	425,63	532,32	214,25	3,3378	13,17	63,457	64,189

Variabel irisan pada Penampang D-D'

29	240,55	313,55	157,98	2,8508	15,28	42,383	55,416
30	121,53	191,82	176,04	3,9342	17,60	15,703	44,746

n	W (kN)	P (kN)	T (kN)	L (m)	α (deg)	u (kPa)	Cu (kPa)
1	140,61	20,421	158,79	5,6334	55,695	21,459	28,187
2	403,05	391,51	195,26	5,1608	52,032	61,509	37,835
3	631,88	659,07	219,79	4,8059	48,651	96,431	45,733
4	833,74	861,86	237,48	4,5285	45,483	127,24	52,441
5	1013,1	1022,1	251,21	4,3054	42,486	154,61	58,348
6	1351,6	1321,8	304,93	4,8515	39,379	174,64	62,853
7	1449	1375,1	307,26	4,6445	36,157	187,23	66,156
8	1455,6	1352,9	295,73	4,2545	33,138	197,97	69,510
9	1524,3	1399,3	301,37	4,1259	30,295	207,33	73,043
10	1576,2	1438,3	307,68	4,0175	27,532	214,38	76,585
11	1612,5	1471,6	314,69	3,9256	24,837	219,31	80,164
12	1634,2	1500,1	322,34	3,8477	22,199	222,27	83,775
13	1642,2	1524	330,42	3,7819	19,611	223,36	87,369
14	1637,3	1542,8	338,66	3,7265	17,063	222,69	90,879
15	1619,9	1555,8	346,7	3,6805	14,550	220,32	94,199
16	1717,2	1687,8	382,94	3,9355	11,966	216,11	97,304
17	1668,3	1684,2	390,11	3,9014	9,308	209,97	99,992
18	1605,3	1667,4	395,04	3,8762	6,669	202,03	101,91
19	1528,2	1634,9	396,96	3,8596	4,044	192,33	102,85
20	1437,4	1583,9	395,08	3,8512	1,428	180,90	102,58
21	1187,1	1344,2	344,5	3,4006	1,032	169,18	101,30
22	1104,2	1280,9	337,5	3,4058	3,342	157,36	99,096
23	1011,8	1200,9	326,86	3,4166	5,656	144,19	95,668
24	909,83	1103,6	312,48	3,4332	7,980	129,66	91,017
25	798,16	988,55	294,37	3,4559	10,318	113,75	85,179



26	676,58	856	272,72	3,4849	12,672	96,420	78,258
27	544,84	706,42	247,86	3,5208	15,049	77,646	70,399
28	402,63	540,62	220,26	3,5641	17,453	57,379	61,800
29	249,55	359,56	190,48	3,6157	19,889	35,563	52,681
30	85,119	164,16	159,12	3,6765	22,363	12,130	43,280