



Analisis Rekomendasi Isian Maksimal Bahan Peledak Terhadap Kestabilan Lereng (East Wall Section) Pada Pit Toka

Renaldy K. Kapoyos^{#a}, Pradila G. S. Hulalata^{#b}, Arthur H. Thambas^{#c}, Roski R. I. Legrans^{##d}

[#]Program Profesi Insinyur Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^{##}Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^arenaldykapoyos@gmail.com, ^bfaradilagaluhsavitri@gmail.com, ^carthur.thambas@unsrat.ac.id, ^dlegransroski@unsrat.ac.id

Abstrak

Mengetahui dan menganalisis tingkat getaran tanah yang dihasilkan dari peledakan yang diterapkan Mengetahui nilai konstanta (k) dan eksponen (b) kondisi batuan lokasi penelitian dari hasil regresi hubungan variable scaled distance dan nilai PPV Mengetahui nilai konstanta untuk prediksi Peak Particle Acceleration Mengetahui nilai percepatan kritis sebagai factor seismic yang mempengaruhi kestabilan lereng Mengetahui rekomendasi maksimum isian bahan peledak meledak bersamaan Analisis nilai konstanta untuk prediksi PPA Analisis nilai PPV untuk mendapatkan nilai peak particle displacement dan nilai amaks. Analisis Faktor Keamanan menggunakan nilai PPA hasil pengukuran alat sebagai nilai g, dan nilai amaks hasil diferensiasi PPV sebagai nilai g. Analisis regresi untuk mendapatkan hubungan (PPA) dan Percepatan Horizontal (a) Analisis FK maksimum dan rekomendasi isian maksimum dengan suatu jarak tertentu jumlah bahan peledak yang meledak bersamaan dalam rentang waktu/time windows 8 ms. t. Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Viewshot didapatkan jumlah lubang yang meledak bersamaan berkisar antara 2-6 lubang ledak. Jumlah minimum bahan peledak per waktu tunda adalah 83 kg, sedangkan jumlah maksimum muatan bahan peledak per waktu tunda adalah 443 kg. Nilai Konstanta yang didapatkan untuk memprediksi nilai PPV adalah sebagai berikut, nilai konstanta dengan confidence limits 50% sebesar 248.1 untuk nilai k dan -1.72 untuk nilai m. Nilai konstanta dengan confidence limit 95% sebesar 516 untuk nilai k dan -1.72 untuk nilai m. Sebaiknya dalam penggunaan rekomendasi isian tersebut digunakan factor error sebesar 20% dari rekomendasi isian tersebut.

Kata kunci: Peak Particle Velocity, Variable Scaled Distance, getaran tanah, peledakan, prediksi

1. Pendahuluan

Peledakan merupakan proses pemberaian massa batuan menggunakan bahan peledak dan biasa dilakukan didalam proses penambangan. Energi yang dihasilkan dari bahan peledak tersebut tidak seluruhnya digunakan untuk menghancurkan/memberaikan batuan. Energi sisa yang dihasilkan seperti mengakibatkan getaran tanah berpotensi mengganggu kestabilan sebuah lereng dan dapat memicu terjadinya longsoran pada area tersebut. Oleh karena itu, perlu dilakukan control terhadap getaran tanah yang dihasilkan kegiatan peledakan untuk menjaga kondisi lereng tersebut tetap stabil.

Berdasarkan historikal yang ada pada dinding Pit Toka terlebih khusus East Wall Section daerah tersebut merupakan daerah yang dilewati oleh struktur geologi. Oleh karena itu studi ini bertujuan untuk menganalisis batas isian maksimum dalam sebuah jarak tertentu yang dapat diaplikasikan/diterapkan pada peledakan di Pit Toka sehingga untuk melakukan penentuan geometri peledakan dan jumlah isian pada Pit Toka bisa dikontrol agar tidak terjadi longsoran susulan ataupun longsoran yang lebih besar.

1.2 Tujuan Kajian Teknis

Adapun tujuan dari kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui dan menganalisis tingkat getaran tanah yang dihasilkan dari metode peledakan

- yang diterapkan pada Pit Toka PT. Meares Sopotan Mining
2. Mengetahui nilai konstanta (k) dan eksponen (b) kondisi batuan lokasi penelitian dari hasil regresi hubungan variable scaled distance dan nilai PPV
 3. Mengetahui nilai konstanta untuk prediksi Peak Particle Acceleration
 4. Mengetahui nilai percepatan kritis sebagai factor seismic yang mempengaruhi kestabilan lereng
 5. Mengetahui rekomendasi maksimum isian bahan peledak meledak bersamaan

2. Metode

Adapun metodologi yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Analisis Nilai konstanta prediksi getaran di Pit Toka dengan melakukan regresi blast vibrasi PPV Longitudinal, isian maksimum bahan peledak dengan jarak yang berkisar antara 50m – 60m.
2. Analisis nilai konstanta untuk prediksi Peak Particle Acceleration
3. Analisis nilai PPV untuk mendapatkan nilai peak particle displacement dan nilai
4. Analisis Faktor Keamanan menggunakan nilai Peak Particle Acceleration hasil pengukuran alat sebagai nilai g, dan nilai amaks hasil diferensiasi PPV sebagai nilai G.
5. Analisis regresi untuk mendapatkan hubungan Peak Partikel Acceleration (PPA) dan Percepatan Horizontal (a)
6. Analisis FK maksimum dan rekomendasi isian maksimum dengan suatu jarak tertentu

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Metode Peledakan di Pit Toka

Kegiatan pengupasan Overburden di PT Meares Sopotan Mining menggunakan metode peledakan. Peledakan merupakan proses pemberaian massa batuan dalam volume besar dengan menggunakan bahan peledak agar massa batuan mudah untuk digali dan diangkut. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan, Pit Toka menggunakan pola pengeboran staggered dan pola peledakan echelon cut atau box cut dengan timing peledakan hole by hole dengan system inisiasi yang digunakan adalah nonel. Metode controlled blasting atau teknik peledakan yang digunakan untuk menjaga stabilitas dan kondisi dinding adalah peledakan trim. Kondisi sudut dinding yang direncanakan pada Toka 6 adalah 40 degree sedangkan toka 5 adalh 55 degree. Trim yang di rancangan selama peledakan terdiri dari atas 2 trim (Batter Row dan Stability Row). Isian bahan peledak pada lubang ledak trim adalah 13-44 kg, dengan spasi 2 meter. Bahan peledak yang digunakan adalah delta E dengan densitas berkisar antara 1.05-1.15 gr/cc.

Pada saat peledakan, tidak semua energi yang dihasilkan digunakan untuk memecahkan batuan, energi sisa yang dihasilkan dapat menyebabkan perpindahan dengan kecepatan dan percepatan tertentu. Residu dari hasil peledakan dapat berupa H₂O dan gas Karbon dioksida. Geometri peledakan yang diterapkan pada bulan Februari-April 2022 adalah burden 3.7 meter x spasi 4.2 meter. Powder factor yang digunakan rata-rata 0.56 dengan stemming 2.5 meter, Surface delay yang digunakan ada 5 jenis yaitu, 17 ms, 25 ms, 42 ms, 65 ms, dan 100 ms. Inhole delay yang digunakan memiliki waktu tunda 500 ms. Drill bit yang digunakan 127 mm dan 140 mm. Kedalaman lubang berkisar antara 5 – 7.5 meter.

Dalam penelitian ini muatan bahan peledak perwaktu tunda adalah jumlah bahan peledak yang meledak bersamaan dalam rentang waktu/time windows 8 ms. Perhitungan muatan bahan peledak dilakukan berdasarkan analisis tie up actual terhadap jumlah bahan peledak dalam perangkat lunak Viewshot. Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Viewshot didapatkan jumlah lubang yang meledak bersamaan berkisar antara 2-6 lubang ledak. Jumlah minimum bahan peledak per waktu tunda adalah 83 kg, sedangkan jumlah maksimum muatan bahan peledak per waktu tunda adalah 443 kg.

3.2 Analisis Getaran Tanah Akibat Peledakan

Karakteristik peluruhan getaran tanah akibat peledakan umumnya definisikan dalam kurva hubungan kecepatan partikel puncak (peak particle velocity/PPV) dan scaled distance. Scaled

distance merupakan perbandingan jarak dengan muatan peledak per waktu tunda. Menurut US Bureau of Mines, hubungan peak particle velocity dan scaled distance dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$PPV = k (R/(\sqrt{W}))^{(-m)} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan k adalah konstanta koefisien peluruhan getaran, R adalah jarak, W adalah muatan bahan peledak per waktu tunda dan m adalah konstanta kondisi massa batuan. Bentuk persamaan tersebut juga berlaku untuk hubungan antara scaled distance dan peak particle acceleration yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$PPA = n (R/(\sqrt{W}))^{(-b)} \dots \dots \dots (2)$$

dimana n adalah koefisien peluruhan getaran dan b adalah konstanta kondisi massa batuan.

Besarnya nilai percepatan getaran horizontal maksimum atau yang dikenal dengan amaks berhubungan dengan nilai peak particle acceleration. Sering terjadi kesalahan dalam analisis penentuan nilai amaks yaitu nilai PPA dari hasil pengukuran alat micromate dijadikan acuan sebagai nilai amaks. Perhitungan besarnya nilai amaks diusulkan oleh beberapa penulis berdasarkan dari analisis balik dari kasus yang sebenarnya dan kumpulan data empiris. Dalam Yasman (2014) menyebutkan rekomendasi dari Marcuson (1981) merekomendasikan nilai amaks berada di $\frac{1}{3}$ dan $\frac{1}{2}$ dari PPA. Matsuo (1984) merekomendasikan nilai amaks 0.65 dari nilai PPA. Seed (1979) mengatakan nilai amaks berkisar 13% - 20% PPA. California Department of Mines and Geology (1997) menyatakan nilai amaks sebesar 50% PPA.

Hubungan antara percepatan getaran horizontal maksimum (amaks) dan peak particle acceleration (PPA) dinyatakan oleh Wong (1992 dalam Ganda) dalam persamaan:

$$a_{maks} = z \times PPA \dots \dots \dots (3)$$

dimana z adalah koefisien yang diperoleh dari respon analisis.

Pengolahan data hasil getaran tanah yang terekam pada saat blasting akan diolah kembali dalam perangkat lunak Blastware 10.74. Data nilai hasil kecepatan pada saat pengukuran diturunkan (diferensial) terhadap waktu untuk mendapatkan nilai percepatan dan diintegrasikan terhadap waktu untuk mendapatkan nilai perpindahan.

Nilai percepatan yang digunakan adalah pada arah transversal dan longitudinal. Percepatan pada arah vertical tidak digunakan karena tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kestabilan lereng (Kartodharmo, 1996 dalam Ganda). Dari hasil pengolahan tersebut didapatkan nilai Peak Particle Acceleration (PPA) dan Peak Particle Displacement (PPD) pada arah transversal dan longitudinal.

Selanjutnya dapat ditentukan nilai percepatan getaran horizontal maksimum (amaks) yang merupakan nilai percepatan saat mencapai peak particle displacement (PPD). Nilai getaran horizontal maksimum (amaks) yang digunakan merupakan nilai terbesar dari nilai amaks pada arah longitudinal.

3.2.1 Konstanta Prediksi Getaran

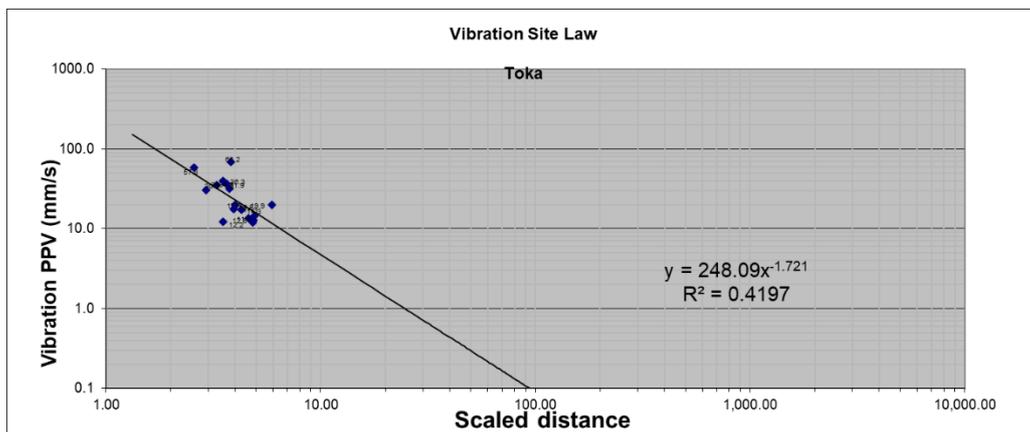
Analisis konstanta prediksi getaran dilakukan dengan cara melakukan regresi terhadap hasil pengukuran PPV dari alat micromate, kemudian menghitung jumlah bahan peledak maksimum yang meledak bersamaan dalam waktu tunda 8ms menggunakan actual tie up di software Viewshot, dan juga isian masing-masing lubang dari laporan Worksheet. Adapun di bawah ini terlampir tabel hasil pengukuran menggunakan Peak Particle Velocity Longitudinal pada pit Toka periode 20 Maret – 15 April 2022.

Dari hasil analisis ke-20 data hasil pengukuran tersebut didapatkan nilai konstanta dengan confidence limits 50% sebesar 248.1 untuk nilai k dan -1.72 untuk nilai m. Nilai konstanta dengan confidence limit 95% sebesar 516 untuk nilai k dan -1.72 untuk nilai m. Kurva hubungan antara Scaled Distance dan Peak Particle Velocity dengan confidence line sebesar 0.4197 atau setara 41%. Berdasarkan Gambar 1, persamaan antara Peak Particle Velocity dengan scaled distance yaitu:

$$PPV = k (R/(\sqrt{W}))^{(-m)} = 248.09 \times R/(\sqrt{W})^{(-1.721)}$$

Tabel 1. Hasil Pengukuran Peak Particle Velocity Longitudinal

No	Date	Time	Blast ID	Location	Distance	Delay Windows	Firing Together (base don viewshot)	Highest MIC Firing Together	PPV Prediction			Actual	Frekuensi
									50%	95%	PPV		
Monitoring				Monitor	(m)	(ms)	(hole)	(kg)	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	(Hz)	
1	20/03/2022	13:01:12	TOK_5_80_75_M	East Wall	50	80	3	117	19.0	40.6	13.4	18.0	
2	21/03/2022	12:31:28	TOK_5_80_75_M2	East Wall	50	80	3	161	23.4	50.0	17.8	13.0	
3	22/03/2022	12:41:04	TOK_5_80_75_M3	East Wall	52	80	4	219	27.2	58.0	12.2	37.0	
4	23/03/2022	12:38:52	TOK_6_200_195_F	East Wall	56.0	80	5	172.0	21.1	45.0	17.3	3.7	
5	24/03/2022	16:11:09	TOK_5_80_75_N	East Wall	54.0	80	2	83.0	13.8	29.4	19.9	20.0	
6	25/03/2022	12:32:33	TOK_6_190_182.5_G	East Wall (ramp)	55.0	80	4	246.0	27.3	58.2	39.4	8.5	
7	27/03/2022	12:41:36	TOK_5_80_75_N2	East Wall	55	80	4	126	17.6	37.6	14.3	14.0	
8	28/03/2022	16:09:28	TOK_5_80_75_O	East Wall	65	80	5	180	17.9	38.2	11.9	23.0	
9	31/03/2022	16:10:42	TOK_5_80_75_P	East Wall	50.0	80	5	156	22.9	48.9	19.8	13.0	
10	01/04/2022	13:09:50	TOK_6_190_182.5_H	East Wall	54.0	80	6	448	40.9	87.4	57.8	14.0	
11	03/04/2022	12:30:21	TOK_6_195_190_J	East Wall	56.0	80	4	133	17.8	38.1	12.8	9.8	
12	04/04/2022	12:35:03	TOK_6_190_182.5_I	East Wall	50.0	80	3	171	24.3	52.0	68.2	14.0	
13	05/04/2022	12:29:58	TOK_6_190_182_J	East Wall	58.0	80	3	252	25.8	55.1	36.3	9.5	
14	06/04/2022	12:29:53	TOK_6_190_182_K	East Wall	50.0	80	4	294	34.7	73.9	30.7	8.4	
15	07/04/2022	12:29:23	TOK_6_190_182_K2	East Wall	50.0	80	3	232	29.7	63.4	34.8	18.0	
16	12/04/2022	12:29:17	TOK_6_190_182_M	East Wall	50.0	80	3	178	25.0	53.3	31.9	7.3	



Gambar 1. Hasil Pengukuran Peak Particle Velocity Longitudinal

3.2.2 Hubungan antara Peak Particle Acceleration (PPA) dan Scaled Distance

Hubungan antara Peak particle acceleration (PPA) dan scaled distance akan menunjukkan sebuah nilai konstanta yang nantinya akan digunakan dalam menentukan batas isian maksimum yang meledak bersamaan pada Pit Toka. Adapun hasil pengukuran menggunakan Peak Particle Velocity Longitudinal pada pit Toka periode 20 Maret – 15 April 2022 terlampir dalam Tabel 2.

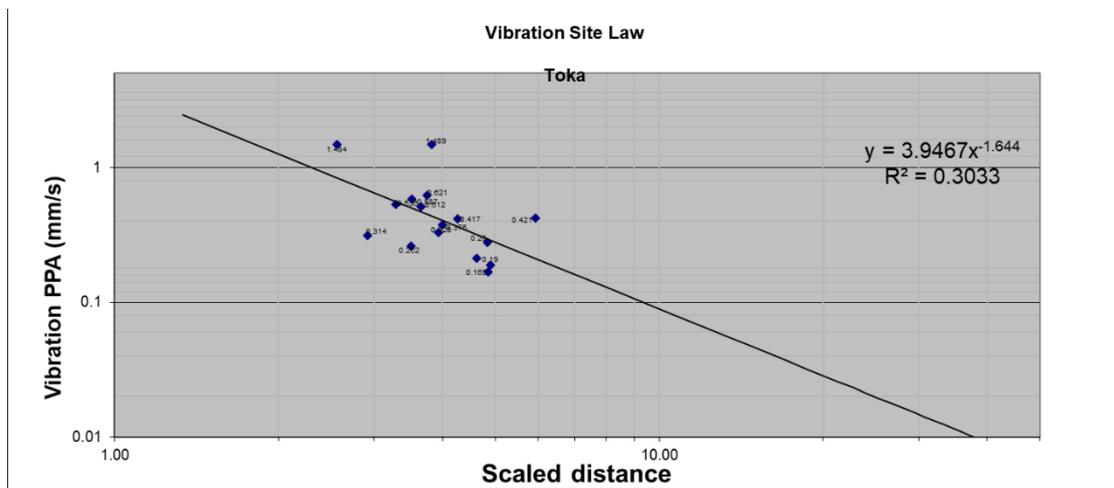
Dari hasil pengukuran data Micromate didapatkan Peak Particle Acceleration tertinggi pada tanggal 4 April 2022 pada blok TOK_6_190_182_I dengan jarak 50 meter sebesar 1,489 mm/s/s dengan jumlah scaled distance 3.8236 m/kg. Untuk hasil Peak Particle Acceleration terendah pada tanggal 24 Maret 2022 pada blok TOK5_80_75_N2 dengan jarak 55 meter sebesar 0.19 mm/s/s dengan jumlah scaled distance 4.90 m/kg. Grafik antara hubungan Peak particle Acceleration (PPA) untuk gelombang longitudinal dan Scaled distance ditunjukkan pada Gambar 2.

Dari hasil analisis ke-16 data hasil pengukuran tersebut didapatkan nilai konstanta dengan confidence limits 50% sebesar 3.9 untuk nilai k dan -1.64 untuk nilai b. Nilai konstanta dengan confidence limit 95% sebesar 10 untuk nilai k dan -1.64 untuk nilai b. Kurva hubungan antara Scaled Distance dan Peak Particle Acceleration dengan confidence line sebesar 0.3033 atau setara 30%. Berdasarkan Gambar 2, persamaan antara Peak Particle Acceleration dengan scaled distance adalah:

$$PPA = k (R/(\sqrt{W}))^{(-b)} = 3.9467 \times R/(\sqrt{W})^{(-1.644)}$$

Tabel 2. Hasil Pengukuran Peak Particle Velocity Longitudinal

No	Date	Time	Blast ID	Location	Distance	Highest MIC Firing Together	PPA	Scaled	LOG	LOG
Monitoring				Monitor	(m)	(kg)		Distance	PPV	R/Q ^{0.5}
1	20/03/2022	13:01:12	TOK_5_80_75_M	East Wall	50	117	0.211	4.62	-0.6757	0.6649
2	21/03/2022	12:31:28	TOK_5_80_75_M2	East Wall	50	161	0.328	3.94	-0.4841	0.5956
3	22/03/2022	12:41:04	TOK_5_80_75_M3	East Wall	52	219	0.587	3.51	-0.2314	0.5458
4	23/03/2022	12:38:52	TOK_6_200_195_F	East Wall	56.0	172.0	0.417	4.27	-0.3799	0.63
5	24/03/2022	16:11:09	TOK_5_80_75_N	East Wall	54.0	83.0	0.421	5.93	-0.3757	0.77
6	25/03/2022	12:32:33	TOK_6_190_182.5_G	East Wall (ramp)	55.0	246.0	0.262	3.51	-0.5817	0.54
7	27/03/2022	12:41:36	TOK_5_80_75_N2	East Wall	55	126	0.19	4.90	-0.7212	0.69
8	28/03/2022	16:09:28	TOK_5_80_75_O	East Wall	65	180	0.28	4.8448	-0.5528	0.6853
9	31/03/2022	16:10:42	TOK_5_80_75_P	East Wall	50.0	156	0.375	4.0032	-0.4260	0.6024
10	01/04/2022	13:09:50	TOK_6_190_182.5_H	East Wall	54.0	443	1.484	2.5656	0.1714	0.4092
11	03/04/2022	12:30:21	TOK_6_195_190_J	East Wall	56.0	133	0.169	4.8558	-0.7721	0.6863
12	04/04/2022	12:35:03	TOK_6_190_182.5_I	East Wall	50.0	171	1.489	3.8236	0.1729	0.5825
13	05/04/2022	12:29:58	TOK_6_190_182_J	East Wall	58.0	252	0.512	3.6537	-0.2907	0.5627
14	06/04/2022	12:29:53	TOK_6_190_182_K	East Wall	50.0	294	0.314	2.9161	-0.5031	0.465
15	07/04/2022	12:29:23	TOK_6_190_182_K2	East Wall	50.0	232	0.536	3.2827	-0.2708	0.516
16	12/04/2022	12:29:17	TOK_6_190_182_M	East Wall	50.0	178	0.621	3.7477	-0.2069	0.574



Gambar 2. Hasil Pengukuran Peak Particle Acceleration dan Pengolahan Nilai amaks

3.2.3 Hubungan Peak Particle Acceleration (PPA) dan Percepatan Getaran Horizontal Maksimum (amaks)

Hubungan PPA dan amaks didapatkan dari hasil regresi linier dari data getaran tanah yang telah diolah, PPA dalam mm/s² dan amaks dalam mm/s². Nilai hasil kecepatan (PPV) pada saat pengukuran, diturunkan (diferensial) terhadap waktu untuk mendapatkan nilai percepatan (amaks) dan diintegrasikan terhadap waktu untuk mendapatkan nilai perpindahan (PPD). Hasil pengukuran Peak Particle Velocity Longitudinal dan pengolahan amaks pada pit Toka periode 20 Februari – 15 April 2022 ditunjukkan pada Tabel 3.

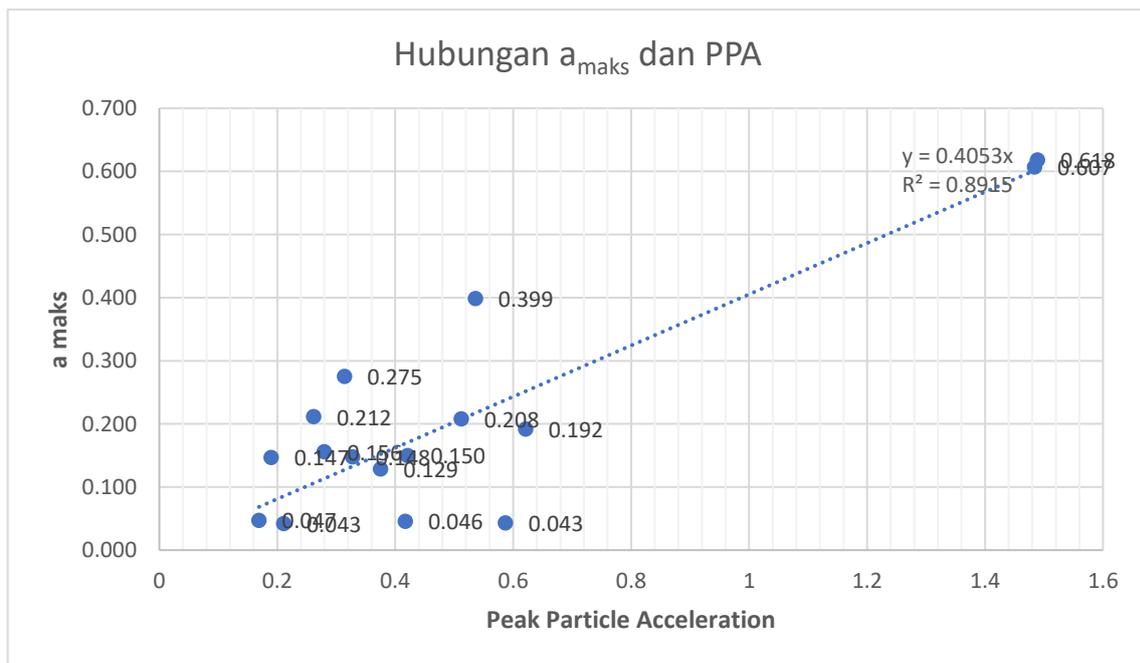
Data pada Tabel 3 dibuat dalam bentuk kurva dan ditentukan persamaan hubungan PPA dan amaks yang ditunjukkan pada Gambar 4. Dari kurva tersebut didapatkan persamaan hubungan antara PPA dan amaks yaitu:

$$a_{maks} = z \times PPA = 0.4053 \times PPA$$

Dengan nilai z merupakan koefisien analisis yang menunjukkan hubungan antara PPA dan amaks pada lereng timur pit Toka. Dari persamaan tersebut dapat disimpulkan semakin besar nilai PPA maka akan diperoleh nilai amaks yang besar pula dan nilai amaks selalu lebih kecil dari nilai PPA.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Peak Particle Acceleration dan Pengolahan Nilai a_{maks}

No	Date	Time	Blast ID	Location	Location Monitoring	PPA Longitudinal	Amax (mm/s/s)	A maks (g)	Peak Particle Displacement	Faktor Keamanan
1	20/03/2022	13:01:12	TOK_5_80_75_M	TOK_5_80_75_M	East Wall	0.211	420	0.043	0.203	3.117
2	21/03/2022	12:31:28	TOK_5_80_75_M2	TOK_5_80_75_M2	East Wall	0.328	3461	0.148	0.254	2.639
3	22/03/2022	12:41:04	TOK_5_80_75_M3	TOK_5_80_75_M3	East Wall	0.587	428	0.043	0.077	3.117
4	23/03/2022	12:38:52	TOK_5_200_195_F	TOK_5_200_195_F	East Wall	0.417	452	0.046	0.670	3.150
5	24/03/2022	16:11:09	TOK_5_80_75_N	TOK_5_80_75_N	East Wall	0.421	3485	0.150	0.240	3
6	25/03/2022	12:32:33	TOK_6_190_182.5_G	TOK_6_190_182.5_G	East Wall (ramp)	0.262	2090	0.212	0.200	2.346
7	27/03/2022	12:41:36	TOK_5_80_75_N2	TOK_5_80_75_N2	East Wall	0.19	3453	0.147	0.220	2.624
8	28/03/2022	16:09:28	TOK_5_80_75_O	TOK_5_80_75_O	East Wall	0.28	1542	0.156	0.098	2.583
9	31/03/2022	16:10:42	TOK_5_80_75_P	TOK_5_80_75_P	East Wall	0.375	1275	0.129	0.211	2.709
10	01/04/2022	13:09:50	TOK_6_190_182.5_H	TOK_6_190_182.5_H	East Wall	1.484	5097.0	0.607	1.740	1.292
11	03/04/2022	12:30:21	TOK_6_195_190_J	TOK_6_195_190_J	East Wall	0.180	468	0.047	0.239	3.153
12	04/04/2022	12:35:03	TOK_6_190_182.5_I	TOK_6_190_182.5_I	East Wall	1.480	6110	0.638	1.080	1.274
13	05/04/2022	12:29:58	TOK_6_190_182_J	TOK_6_190_182_J	East Wall	0.512	2058	0.208	0.620	2.363
14	06/04/2022	12:29:53	TOK_6_190_182_K	TOK_6_190_182_K	East Wall	0.334	2720	0.275	0.550	2.105
15	07/04/2022	12:29:23	TOK_6_190_182_K2	TOK_6_190_182_K2	East Wall	0.536	3939	0.399	0.481	1.732
16	12/04/2022	12:29:17	TOK_6_190_182_M	TOK_6_190_182_M	East Wall	0.621	1897	0.192	0.770	2.429



Gambar 4. Regresi Peak Particle Acceleration Longitudinal dan a_{maks}

3.2.4 Hubungan Peak Particle Acceleration (PPA) dan Percepatan Getaran Horizontal Maksimum (a_{maks})

Penentuan jumlah isian maksimum pada pit toka dapat dilakukan dengan melakukan analisis balik untuk mencari nilai Scaled Distance. Dari nilai scaled distance yang didapatkan akan dilakukan penguncian pada jarak-jarak tertentu untuk menghasilkan nilai isian maksimum dengan suatu jarak tertentu. Dari nilai a_{maks} 0.72 yang menghasilkan nilai FK 1.1, jika dimasukkan kedalam persamaan $a_{maks} = z \times PPA$, maka akan dihasilkan nilai PPA. Nilai koefisien z yang digunakan disini adalah 0.4053.

$$a_{maks} = z \times PPA = 0.4053 \times PPA$$

$$0.72 = 0.4053 \times PPA$$

$$PPA = 1,776 \text{ g}$$

Dari nilai hasil PPA yang diperoleh ini, akan dilakukan analisis balik untuk mencari nilai scaled distanced. Persamaan yang digunakan dalam menentukan nilai scaled distanced adalah:

$$PPA = k (R/(\sqrt{W}))^{-b} = 3.9467 \times R/(\sqrt{W})^{-1.644}$$

Berikut merupakan perhitungan untuk mencari nilai Scaled Distanced

$$1.776 = 3.9467 (R/(\sqrt{W}))^{-1.644}$$

Untuk data R (jarak) yang digunakan adalah analisis terhadap jarak 50 m maka perhitungannya sebagai berikut

$$1.776 = 3.9467 (50/(\sqrt{W}))^{-1.644}$$

$$(50/(\sqrt{W}))^{-1.644} = 1.776/3.9467$$

$$(50/(W^{0.5}))^{-1.644} = 0.45$$

$$50^{-1.644}/(W^{0.5 \times -1.644}) = 0.45$$

$$W^{0.5 \times 1.644}/(50^{1.644}) = 0.45$$

$$W^{0.5 \times 1.644} = 0.45 \times 501.644$$

$$W^{0.822} = 279.45$$

$$W = \sqrt[0.822]{279.45}$$

$$W = 946.36 \text{ kg}$$

Jadi nilai maksimum isian yang meledak bersamaan dalam delay waktu 8 m/s pada saat FK Kritisnya 1,1 adalah 946,39 kg. Untuk itu disarankan batas maksimal bahan peledak yang digunakan kurang dari batas isian tersebut.

4. Kesimpulan

Berdasarkan uraian pada bab-bab sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil pengukuran getaran tanah menggunakan alat Micromate mendapatkan hasil variable getaran berupa Peak Particle Acceleration (PPA), Peak Particle Velocity (PPV) dan Peak Particle Displacement (PPD). Parameter yang mempengaruhi besaran nilai PPA adalah jarak lokasi peledakan, jumlah bahan peledak per delay, dan kondisi geologi. Time windows yang digunakan adalah 8 m/s dengan jarak pengukuran berkisar antara 50-60 m.
2. Nilai Konstanta yang didapatkan untuk memprediksi nilai PPV adalah sebagai berikut, nilai konstanta dengan confidence limits 50% sebesar 248.1 untuk nilai k dan -1.72 untuk nilai m. Nilai konstanta dengan confidence limit 95% sebesar 516 untuk nilai k dan -1.72 untuk nilai m. Kurva hubungan antara Scaled Distance dan Peak Particle Velocity dengan confidence line sebesar 0.4197 atau setara 41%. Berdasarkan Gambar 3.2 persamaan antara Peak Particle Velocity dengan scaled distance yaitu:

$$PPV = k (R/(\sqrt{W}))^{-m} = 248.09 \times R/(\sqrt{W})^{-1.721}$$
3. Nilai Konstanta yang didapatkan untuk memprediksi nilai PPA adalah sebagai berikut, nilai konstanta dengan confidence limits 50% sebesar 3.9 untuk nilai k dan -1.64 untuk nilai b. Nilai konstanta dengan confidence limit 95% sebesar 10 untuk nilai k dan -1.64 untuk nilai b. Kurva hubungan antara Scaled Distance dan Peak Particle Acceleration dengan confidence line sebesar 0.3033 atau setara 30%. Berdasarkan Gambar 2 persamaan antara Peak Particle Acceleration dengan scaled distance yaitu:

$$PPA = k (R/(\sqrt{W}))^{-b} = 3.9467 \times R/(\sqrt{W})^{-1.644}$$
4. Penggunaan nilai PPA hasil pengukuran alat tidak dapat digunakan secara langsung sebagai nilai amaks dalam kestabilan lereng. Hal tersebut dibuktikan dengan data pada blasting 4 April 2022 di block Toka_6_190_182.5 didapatkan nilai PPA pada jarak 50 m sebesar 1.489 g dan setelah diolah disoftware slide jika kita menggunakan nilai PPA hasil pengukuran dialat micromate sebagai nilai amaks, nilai Faktor keamanannya adalah 0.516 yang berarti lereng tersebut longsor, sedangkan pada kenyataan actual lereng tersebut tidak longsor. Jadi nilai amaks harus terlebih dahulu diolah disoftware Blastware untuk mendapatkan nilai amaksnya. Nilai amaks melalui nilai regresi sederhana diperoleh amaks = 0.4053 x PPA
5. Hasil isian maksimum yang dapat digunakan dalam jarak 50 meter dengan prediksi Faktor Keamanan kritis 1,1 adalah 946,39 kg dengan nilai PPA 1.776 g, dan nilai amaks 0.72 g

5. Referensi

- Anonym, 1998, *For the Tropical Engineering Field*, Universitas Teknologi Malaysia, Malaysia.
- Bhandari, Sushil., 1997, *Engineering Rock Blasting Operations*, A.A. Balkema Rotterdam/Brookfield, Netherlands.
- Duwi Priyatno, 2013, *Analisis Korelasi, Regresi dan Multivariate dengan SPSS*, Gava Media Yogyakarta, Yogyakarta.
- Gokhale, B.V., 2011, *Rotary Drilling and Blasting in Large Surface Mines*, A.A. Balkema, UK.
- Jimeno, C.L., Jimeno, E.L dan Carcedo F.J.A., 1995, *Drilling and Blasting of Rocks*, A.A. Balkema Rotterdam/Brookfield, Netherlands.
- Kathoedarmo, Moelhim., 1990, *Teknik Peledakan*, Universitas Teknologi Bandung, Bandung.
- Koesnaryo, S., 1988, *Bahan Peledak dan Metode Peledakan*, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, Yogyakarta.
- Konya, J. C., & Walter J. E., 1990, *Surface Blast Design*.
- Konya, J. C., & Walter J. E., 1991, *Rock Blasting and Overbreak Control*, NHI Course No. 13211.
- Richards, A.B dan Moore A.J., 2005, *Blast Vibration Course Measurement-Assessment Control*, *Terrock Consulting Engineers* A.B.N 99 005 784 841.
- Rosenthal, M.F dan Morlock, G.L., 1987, *Blasting Guidance Manual*, Department of The Interior, US.
- SNI 7571:2010 *Baku Tingkat Getaran Peledakan pada Kegiatan Tambang Terbuka Terhadap Bangunan*.
- Dowding, Charles H., 1984, *Effects of Repeated Blasting on a Wood Frame House*, *Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement*, USA.
- Fahlevi, Rendy & Sulistianto, Budi & Husni, Bustanil., 2012, *Perangkat Lunak Analisis Getaran Tanah Akibat Peledakan*, *Jurnal Teknologi Mineral (JTM)* Vol. XIX No. 2, Bandung.
- Koesnaryo, S., 2012, *Beberapa Penyelidikan Geomekanika Yang Mudah Untuk Mendukung Rancangan Peledakan*, *Prosiding Simposium dan Seminar Geomekanika Ke-1*, Jakarta.
- Maryura, Rizki & Toha, M Taufik & Sudarmono, Djuki., 2014, *Kajian Pengurangan Tingkat Getaran Tanah (Ground Vibration Level) Pada Operasi Peledakan Interburden B2-C Tambang Batubara Air Laya PT. Bukit Asam (Persero)*, *Tbk Tanjung Enim*, *Jurnal Ilmu Teknik FT UNSRI*, Vol. 2 No. 1., Palembang.
- Matondang, Zulkifi, 2012, *Perhitungan Uji Linieritas dan Keberartian Persamaan Regresi*. Materi Statistik Online. <http://www.zulkiflimatondang.com/>
- Noviansyah, M. Roni & Toha, M. Taufik & Bochori, 2016, *Rancangan Sistem Waktu Tunda Peledakan Nonel Untuk Mengurangi Efek Getaran Tanah Terhadap Fasilitas Tambang*, *Sriwijaya International Conference on Engineering, Science and Technology (SICEST)*.
- Simbolon, Aljon A M & Yani, Muhammad & Irzaman, 2015, *Dampak Kegiatan Peledakan Pertambangan Andesit Terhadap Lingkungan Pemukiman Di Gunung Sudamanik Kecamatan Cigudek Kabupaten Bogor*, *Jurnal Manusia Dan Lingkungan* Vol. 2 No. 2, Bogor.
- Yasman, Wahyudi & Hakim, Lukman & Turupadang, Welly., 2014, *Studi Pengaruh Getaran Tanah akibat Peledakan Terhadap Kestabilan Lereng Lowwall Pit E Tambang Binungan PT. Berau Coal*. *Prosiding Temu Profesi Tahunan (TPT) XXIII PERHAPI*, Makasar, Sulawesi Selatan.