

Pengaruh Getaran Peledakan Terhadap Stabilitas Lereng Pit Toka PT Meares Soputan Mining

Wahyudiansyah Alwi¹, Supandi¹, Novandri Kusuma Wardana¹

¹ Prodi Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Korespondensi : supandi@itny.ac.id

ABSTRAK

PT. Meares Soputan Mining melakukan aktivitas peledakan untuk membraikan dan membentuk fragmentasi batuan, meningkatkan produktivitas alat gali muat dan terkadang membantu membentuk kemiringan lereng dengan metode trim blasting. Peledakan tersebut menghasilkan energi sisa berupa getaran tanah yang berpotensi mengganggu kestabilan lereng di dinding timur Pit Toka stage 5. Untuk mendapatkan gambaran pengaruh peledakan tersebut maka penelitian dilakukan pada bulan Maret tahun 2020. Dari pengamatan dan pengolahan data diperoleh persamaan yang menunjukkan hubungan antara parameter peledakan terhadap Peak Particle Acceleration, Peak Particle Acceleration terhadap Maksimum Horizontal Acceleration dan Maksimum Horizontal Acceleration terhadap Strength Reduction Factor sebagai parameter kestabilan lereng. Pengaruh getaran peledakan di lereng timur Pit Toka stage 5 yakni mengalami penurunan nilai critical Strength Redution Factor pada kondisi lereng kering dan kondisi lereng jenuh sehingga harus memberikan rekomendasi jarak peledakan dan muatan bahan peledak maksimal per waktu tunda, agar nilai percepatan getaran horizontal maksimal dapat dikontrol dan tidak menyebabkan lereng menjadi tidak stabil.

Kata Kunci: Peledakan, Getaran Tanah, Kestabilan Lereng

ABSTRACT

PT. Meares Soputan Mining performs blasting activities to spread and form rock fragmentation, increase the productivity of digging tools and sometimes help shape slopes using the trim blasting method. The blasting produces residual energy in the form of ground vibrations that have the potential to disrupt the stability of the slopes on the eastern wall of Pit Toka stage 5. To get an idea of the effect of the blasting, the study was conducted in March 2020. From observation and data processing, an equation shows the relationship between the blasting parameters to Peak Particle Acceleration, Peak Particle Acceleration to Maximum Horizontal Acceleration and Maximum Horizontal Acceleration to Strength Reduction Factor as slope stability parameters. The effect of blasting vibrations on the eastern slope of Pit Toka stage 5 is experiencing a decrease in the value of the critical Strength Reduction Factor on dry slope conditions and saturated slope conditions so that it must provide recommendations for blasting distances and maximum explosive charge per time delay, so that the maximum horizontal vibration acceleration value can be controlled and does not cause the slope to become unstable.

Keywords: Blasting, Ground Vibration, Slope Stability

1. PENDAHULUAN

PT. Meares Soputan Mining (PT. MSM) merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang pertambangan khususnya tambang emas yang terletak dalam wilayah administrasi Kecamatan Likupang Timur, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara. Perusahaan menerapkan sistem penambangan tambang terbuka (*surface mining*) dengan menggunakan metode penambangan *open pit* yaitu pemotongan daerah permukaan hingga cenderung membentuk cekungan atau *pit*.

Pada prosesnya untuk mencapai hasil produksi yang telah ditargetkan oleh perusahaan maka sering dilakukan aktivitas peledakan. Aktivitas peledakan berguna untuk membraikan batuan atau membentuk fragmentasi batuan tertentu yang masih terikat pada batuan induknya. Pemanfaatan lain dari aktivitas peledakan tersebut yaitu untuk meningkatkan produktivitas alat gali muat (*excavator*) ketika melakukan *digging* ataupun dapat membentuk kemiringan lereng menggunakan penambahan metode peledakan *cushing trim blasting*. Pada saat bahan peledak yang berada di dalam lubang ledak mengalami proses peledakan maka akan menghasilkan energi. Energi yang hasilkan berupa energi terpakai dan energi tidak terpakai. Energi terpakai akan terdistribusikan ke dalam massa batuan dan memberikan efek hancur pada batuan, sementara energi tidak terpakai berupa energi sisa yang bisa menimbulkan pengaruh buruk terhadap lingkungan di sekitar aktivitas peledakan. Pengaruh buruk tersebut dapat mengganggu aktivitas di sekitar area peledakan ataupun area penambangan bahkan akan mengganggu aktivitas masyarakat sekitar [1-2].

Pengaruh buruk peledakan tersebut umumnya terjadi akibat faktor di bawah ini yang berlebih seperti: getaran tanah (*ground vibration*), getaran udara (*air concussion* atau *air blast*), batu terbang (*fly rock*), kebisingan (*noise*), dan polusi udara (*fumes*). Dari beberapa pengaruh buruk yang disebutkan sebelumnya peneliti hanya memberikan perhatian khusus terhadap analisis pengaruh getaran tanah (*ground vibration*). Getaran tanah sering dinyatakan dalam nilai *Peak Particle Velocity* (PPV), *Peak Particle Acceleration* (PPA), *Peak Particle Displacement* dan *Maximum Horizontal Acceleration* (A_{maks}). Getaran tanah yang dianalisis merupakan yang memberikan pengaruh buruk terhadap lereng tambang. Getaran tanah hasil peledakan dapat menyebabkan adanya penambahan gaya pendorong pada lereng dan mengurangi gaya penahan yang mengakibatkan lereng berada pada kondisi yang tidak stabil. Ketidakstabilan lereng ini sewaktu - waktu dapat mengganggu operasional pertambangan ataupun membahayakan pekerja disekitarnya [3-4].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini lebih terarah ke penelitian terapan (*applied research*) yaitu mengaplikasikan teori yang ada dengan perbandingan terhadap kondisi aktual di lapangan sehingga akan diperoleh pendekatan masalah yang baik. Adapun alur penelitiannya melalui beberapa tahap sebagai berikut:

2.1 Tahap Studi Literatur

Kegiatan ini dilakukan dengan mencari bahan-bahan pustaka penunjang yang diperoleh dari: instansi terkait, buku - buku materi acuan, jurnal ilmiah, skripsi terdahulu, diktat kuliah, hingga hasil materi diskusi dengan para ahli dalam bidang peledakan dan bidang geoteknik tambang.

2.2 Tahap Pengambilan Data Lapangan

Ketika pengambilan data lapangan data tersebut diperoleh dalam bentuk data primer dan data sekunder yang sebagian besar merupakan data peledakan dan data geoteknik. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

2.2.1 Data primer

Data primer adalah data yang diperoleh dengan melakukan pengumpulan data secara langsung di lapangan. Data primer peledakan berupa jarak peledakan dengan titik pengukuran, muatan bahan peledak perwaktu tunda, dan hasil *output* alat ukur getaran (*event report Minimate II Plus*), sementara data primer geoteknik tidak diambil.

2.2.2 Data sekunder

Data sekunder adalah data-data pendukung penyusunan penelitian yang diperoleh dari rencana ataupun laporan penelitian yang telah ada sebelumnya di perusahaan. Data sekunder peledakan berupa proposal *event blasting* yang memuat data *geometri blasting* dan *tie up blasting* dan hasil *report* aktual *event blasting* memuat data *geometri blasting* aktual dan *tie up blasting* aktual sementara data geoteknik berupa : *crosssection* Pit Toka, *material properties* batuan. Adapun data sekunder umum berupa peta topografi, peta kesampaian daerah dan peta geologi regional.

2.3 Tahap Pengolahan Data

Dalam mengolah data dilakukan pendekatan statistik dan untuk mentabulasi data menggunakan perangkat lunak komputer. Pengolahan data getaran tanah menggunakan bantuan perangkat lunak *Blastware* dan *ShotPlus* sementara pengolahan data *material properties* batuan menggunakan perangkat lunak *Phase²*.

2.4 Tahap Pembahasan

Tahapan pembahasan meliputi : prediksi karakteristik nilai konstanta lapangan (koefisien peluruhan getaran dan kontanta massa batuan), menentukan batas maksimal percepatan getaran horizontal maksimum akibat peledakan, mengetahui dampak getaran peledakan dengan menghitung nilai faktor keamanan lereng sehingga dapat merekomendasikan jarak peledakan dan muatan bahan peledak per waktu tunda agar lereng tetap aman.

2.5 Tahap Akhir

Hasil akhir penelitian meliputi korelasi antara permasalahan yang diteliti, hasil pengolahan data hingga hasil akhir analisis yang dinyatakan singkat, jelas, dan sistematis dalam kesimpulan. Tahap akhir juga berisikan usulan dari peneliti tentang pemecahan masalah dalam penelitian ataupun ada kemungkinan untuk dilakukan penelitian lanjutan.

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Karakteristik Massa Batuan Pit Toka *stage 5*

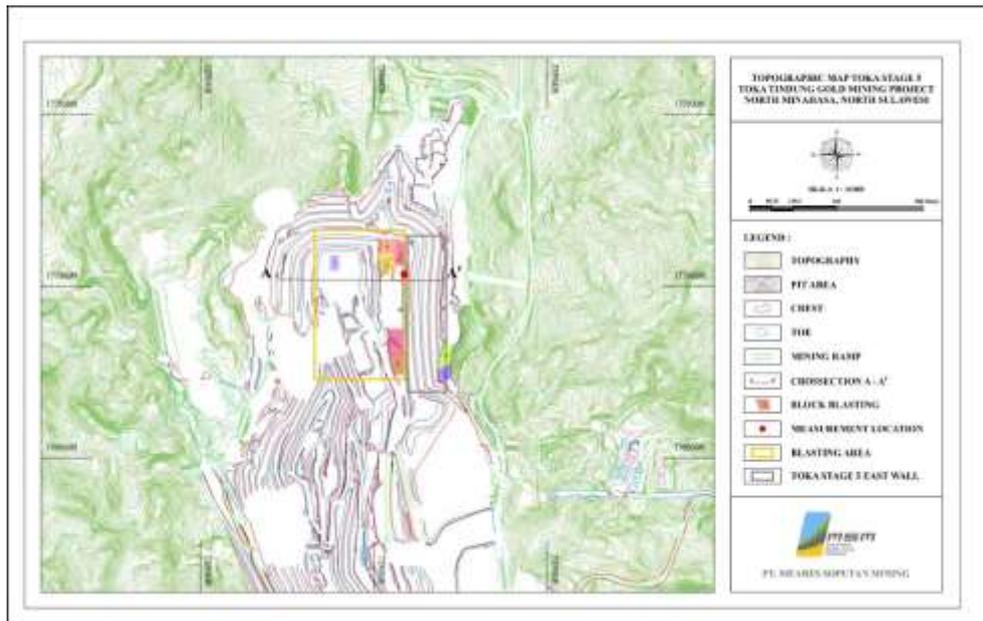
Karakteristik batuan berupa sifat fisik dan sifat mekanik batuan diperoleh secara sekunder. Adapun jenis batuan yang terdapat di Pit Toka *stage 5* seperti *Alteration Clay*, *Basaltic Andesit*, dan *Quartz Vein*, sementara jenis batuan khusus berada di lereng bagian timur yang menjadi lereng analisis yaitu *Vulcanicl Astics*. Parameter kuat geser batuan yang digunakan berdasarkan metode perhitungan *Mohr-Coulomb*, sehingga tabulasi *material properties* yang dibutuhkan seperti berikut:

Tabel 1 *Material Properties* Pit Toka stage 5

<i>Vulcanic Astics</i>							
<i>Unit Weight (kN/m³)</i>	<i>UCS (Mpa)</i>	<i>GSI</i>	<i>Disturbance Factor (D)</i>	<i>Cohesion (kPa)</i>	<i>Friction Angle (°)</i>	<i>Modulus Young (kPa)</i>	<i>Poisson Ration (ν)</i>
28	55	50	0.7	187	49.79	30000000	0.40

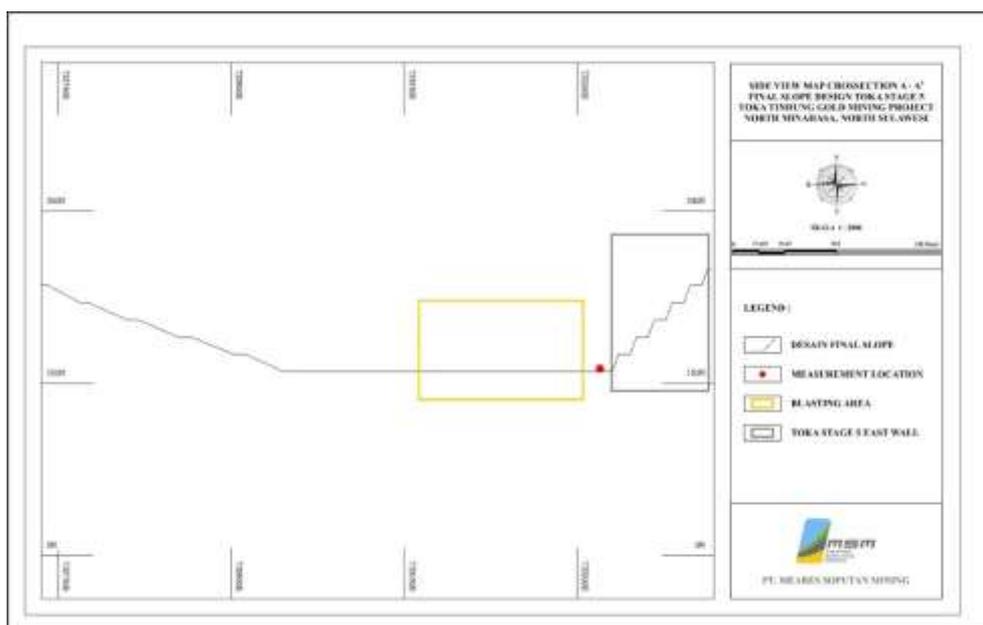
3.2 Penampang Melintang Pit Toka stage 5

Penelitian dilakukan di Pit Toka stage 5 di lereng bagian timur dan dalam melakukan analisis dibutuhkan data penampang melintang (*crosssection*) serta *material properties* lereng. Penampang melintang yang digunakan berdasarkan berdasarkan garis *crosssection* A-A' yang merepresentasikan kondisi aktual dan kemajuan tambang pada bulan Maret tahun 2020.



Gambar 1 Peta Lokasi Penampang Melintang di Pit Toka stage 5

Permodelan lereng yang digunakan pada saat analisis berdasarkan model rencana desain akhir lereng Pit Toka stage 5 dengan parameter lereng timur yaitu tinggi lereng 80 m dan kemiringan lereng 70°.



Gambar 2 Sketsa Penampang Melintang Lereng Timur Analisis

3.3 Hasil Pengukuran Getaran Peledakan

Hasil pengukuran berdasarkan *event report* getaran peledakan dengan alat ukur *Minimate II Plus* dengan pengukuran gelombang transversal, vertikal, dan longitudinal.

Tabel 2 Hasil Pengukuran Getaran Peledakan Gelombang Transversal

No.	Lokasi	Transversal			
		PPV (mm/s)	PPA (g)	PPD (mm)	F (Hz)
1.	db_toka5_130_g2_33	0.762	0.053	0.0154	13.7
2.	dh_toka6_215_a_09	1.78	0.053	0.0191	14.8
3.	db_toka5_150_p_35	10.3	0.186	0.0724	21
4.	db_toka5_155_x_37	4.06	0.106	0.0415	11.9
5.	db_toka5_155_y&z_39	4.191	0.106	0.031	19.7
6.	db_toka5_155_y2_40	6.858	0.186	0.045	31
7.	db_toka5_150_q_40	4.953	0.106	0.038	29
8.	dh_toka6_220_d1&c1	3.302	0.053	0.036	14.8

Tabel 3 Hasil Pengukuran Getaran Peledakan Gelombang Vertikal

No.	Lokasi	Vertikal			
		PPV (mm/s)	PPA (g)	PPD (mm)	F (Hz)
1.	db_toka5_130_g2_33	1.52	0.053	0.0398	7.2
2.	dh_toka6_215_a_09	2.16	0.053	0.0158	23
3.	db_toka5_150_p_35	21.6	0.424	0.103	32
4.	db_toka5_155_x_37	8.51	0.159	0.0649	26
5.	db_toka5_155_y&z_39	5.842	0.159	0.032	26
6.	db_toka5_155_y2_40	15.99	0.398	0.058	38
7.	db_toka5_150_q_40	5.842	0.159	0.037	30
8.	dh_toka6_220_d1&c1	1.778	0.053	0.028	15.1

Tabel 4 Hasil Pengukuran Getaran Peledakan Gelombang Longitudinal

No.	Lokasi	Longitudinal			
		PPV (mm/s)	PPA (g)	PPD (mm)	F (Hz)
1.	db_toka5_130_g2_33	1.27	0.053	0.0182	11.0
2.	dh_toka6_215_a_09	1.52	0.053	0.0125	20
3.	db_toka5_150_p_35	7.87	0.212	0.0652	23
4.	db_toka5_155_x_37	6.10	0.133	0.0638	16.3
5.	db_toka5_155_y&z_39	5.842	0.106	0.046	29
6.	db_toka5_155_y2_40	9.906	0.292	0.049	43
7.	db_toka5_150_q_40	6.604	0.159	0.047	24
8.	dh_toka6_220_d1&c1	2.794	0.053	0.043	16.3

3.4 Perhitungan Percepatan Getaran Horizontal Maksimum (A_{maks})

Perhitungan menggunakan pendekatan *Frank J. Lucca* (2003) untuk mendapatkan nilai percepatan getaran horizontal maksimal sebagai faktor seismik lereng dengan persamaan:

$$A_{maks} = \frac{2 \times \pi \times PPV \times f}{386.4} \quad (1)$$

Pemilihan arah gelombang getaran yang memberikan pengaruh terhadap kestabilan lereng pada garis *crosssection* A-A', berdasarkan pada arah gelombang yang paling berpengaruh di dekat area tersebut. Arah gelombang longitudinal merupakan yang paling berpengaruh pada garis *crosssection* A-A' karena arah getaran gelombang longitudinal searah dengan garis *crosssection* A-A' pada lereng analisis (lereng timur) di Pit Toka *stage* 5 (Gambar 3.1). Arah gelombang longitudinal tersebut merambat searah dengan perambatan gelombang dan menimbulkan kompresi dan dilatasi (pengembangan).

Tabel 5 Hasil Pengukuran Getaran Peledakan Gelombang Longitudinal

No.	Tanggal	Lokasi	PPV (mm/s)	Hasil Perhitungan A _{maks}			A _{maks} (g)
				PPA (g)	PPD (mm/s ²)	F (Hertz)	
1.	11/03/2020	db_toka5_130_g2_33	1,27	0,053	0,0182	11	0,009
2.	12/03/2020	dh_toka6_215_a_09	1,52	0,053	0,0125	20	0,019
3.	15/03/2020	db_toka5_150_p_35	7,87	0,212	0,0652	23	0,116
4.	17/03/2020	db_toka5_155_x_37	6,1	0,133	0,0638	16,3	0,064
5.	20/03/2020	db_toka5_155_y&z_39	5,842	0,106	0,046	29	0,109
6.	21/03/2020	db_toka5_155_y2_40	9,906	0,292	0,049	43	0,273
7.	23/03/2020	db_toka5_150_q_40	6,604	0,159	0,047	24	0,102
8.	24/03/2020	dh_toka6_220_d1&c1	2,794	0,053	0,043	16,3	0,029

3.5 Perhitungan *Scaled Distance* (SD)

Nilai *Scaled Distance* (SD) merupakan perbandingan jarak pengukuran (R) dengan muatan bahan peledak per waktu tunda (W) atau bahan peledak yang meledak bersamaan dalam rentang waktu tertentu. Rentang waktu tunda yang digunakan adalah 8 ms yang artinya perhitungan jumlah bahan peledak meledak bersamaan hanya dalam interval 8 ms. Persamaan *Scaled Distance* (SD) yang digunakan mengikuti pendekatan *Square Root Scaled Distance* (SRSD) dengan persamaan sebagai berikut:

$$Scaled\ Distance\ (SD) = \frac{R}{\sqrt{W}} \tag{2}$$

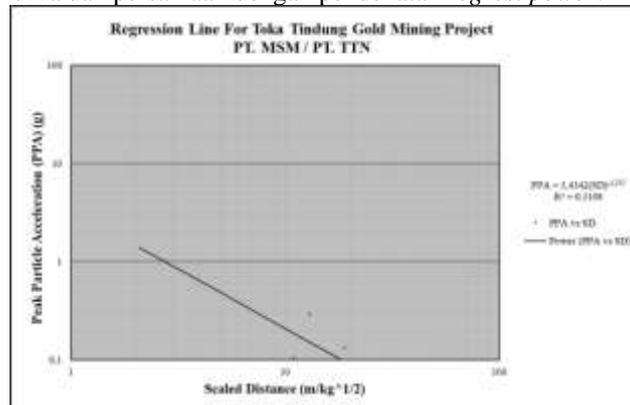
Tabel 6 Hasil Pengukuran Getaran Peledakan Gelombang Longitudinal

No.	Tanggal	Lokasi	Meledak Bersamaan	Distance (m)	Weight (Kg)	Scaled Distance (SD)
2.	12/03/2020	dh_toka6_215_a_09	4	230	208	16
3.	15/03/2020	db_toka5_150_p_35	5	176	164	14
4.	17/03/2020	db_toka5_155_x_37	4	180	100	18
5.	20/03/2020	db_toka5_155_y&Z_39	3	86	65	11
6.	21/03/2020	db_toka5_155_y2_40	4	102	61	13
7.	23/03/2020	db_toka5_150_q_40	4	145	90	15
8.	24/03/2020	dh_toka6_220_d1&c1	3	220	114	21

3.6 Prediksi *Site* Konstanta

3.6.1 Hubungan PPA dengan *Scaled Distance*

Hubungan *Peak Particle Acceleration* (PPA) terhadap nilai *Scaled Distance* (SD) dilakukan dengan membuat kurva logaritma ganda (log-log) antara *Scaled Distance* (SD) yang mewakili parameter peledakan terhadap PPA dari hasil pengukuran getaran tanah. Grafik log tersebut dapat menunjukkan hubungan keduanya dalam sebuah kurva dan persamaan dengan pendekatan *regresi power*.



Gambar 3 Kurva Regresi PPA dengan SD

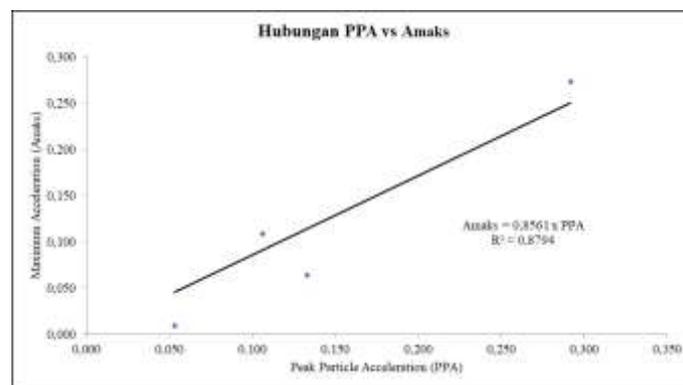
Dari kurva tersebut didapatkan hubungan antara PPA dengan SD yang dinyatakan dalam sebuah persamaan:

$$PPA = K \times (SD)^{-\alpha} = 3,4341 \times \left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)^{-1,215} \quad (3)$$

Data yang digunakan ketika analisis penentuan *site* konstanta hanya 4 data, berupa data yang memberikan pengaruh signifikan dari satu *block blasting* terhadap *crosssection* A-A' yang mencakup area *event blasting* 1, 4, 5 dan 6 (Gambar 1) sementara data yang lainnya dianggap varian data. Banyaknya data peledakan dalam suatu *block blasting* memungkinkan prediksi nilai K dan nilai $-\alpha$ menjadi lebih akurat dengan ditunjang nilai koefisien determinasi yang lebih baik.

3.6.2 Hubungan PPA dan A_{maks}

Hubungan PPA dan A_{maks} didapatkan dengan persamaan *linear* dari data getaran tanah yang diolah dalam satuan gravitasi (g) berupa nilai *Peak Particle Acceleration* (PPA) dan nilai percepatan horizontal maksimal (A_{maks}). Data tersebut dibuat dalam bentuk kurva yang selanjutnya akan menunjukkan hubungan PPA dan A_{maks} .



Gambar 4 Kurva Hubungan PPA dengan A_{maks}

Dari kurva tersebut didapatkan hubungan antara PPA dan A_{maks} , yang dinyatakan dalam sebuah persamaan:

$$A_{maks} = z \times PPA = 0.8561 \times PPA \quad (4)$$

Dari hasil persamaan tersebut diketahui nilai z sebagai nilai koefisien analisis yang menunjukkan hubungan antara A_{maks} terhadap PPA di Lereng timur Pit Toka *stage* 5. Nilai koefisien analisis tersebut menunjukkan bahwa nilai A_{maks} akan selalu lebih kecil dari nilai PPA dan disimpulkan semakin besar nilai PPA maka akan semakin besar pula nilai A_{maks} . Persamaan tersebut menyatakan bahwa besarnya nilai A_{maks} adalah 85.61 % dari nilai PPA. Hasil ini hampir mendekati rekomendasi yang diberikan oleh *Matsuo* (1984) yang merekomendasikan nilai A_{maks} sebesar 65 % dari nilai PPA dan berbeda dengan rekomendasi yang diberikan oleh *Seed* (1979) yang merekomendasikan nilai A_{maks} 20 – 30 % dari nilai PPA.

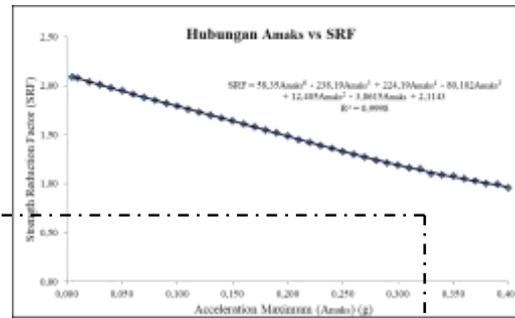
3.7 Hubungan A_{maks} dengan Kestabilan Lereng

Perhitungan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Phase²* dan data keluaran dari *software* tersebut ditabulasikan dalam bentuk tabel lalu membuat kurva A_{maks} dengan SRF sehingga dapat menunjukkan hubungan keduanya dan mengetahui batas aman getaran saat kondisi lereng kering dan saat kondisi lereng jenuh. Pengaruh getaran peledakan terhadap stabilitas lereng dan hubungan keduanya dapat diketahui dengan membuat grafik *polynomial* sederhana. Nilai yang dimasukkan memuat nilai percepatan getaran horizontal maksimal (A_{maks}) sebagai parameter peledakan dan nilai SRF sebagai parameter kestabilan lereng.

3.7.1 Perhitungan SRF dengan Nilai A_{maks} saat Kondisi Kering

Tabel 7 Hasil Pengukuran Getaran Peledakan Gelombang Longitudinal

No.	A_{maks}	SRF									
1	0,005	2,09	16	0,150	1,64	31	0,300	1,19	46	0,450	0,88
2	0,010	2,08	17	0,160	1,61	32	0,310	1,16	47	0,460	0,84
3	0,020	2,04	18	0,170	1,58	33	0,320	1,15	48	0,470	0,83
4	0,030	2,01	19	0,180	1,55	34	0,330	1,10	49	0,480	0,81
5	0,040	1,98	20	0,190	1,52	35	0,340	1,09	50	0,500	-
6	0,050	1,95	21	0,200	1,49	36	0,350	1,08	51	0,510	-
7	0,060	1,91	22	0,210	1,45	37	0,360	1,05	52	0,520	-
8	0,070	1,88	23	0,220	1,42	38	0,370	1,03	53	0,540	-
9	0,080	1,85	24	0,230	1,39	39	0,380	1,00	54	0,560	-
10	0,090	1,82	25	0,240	1,36	40	0,390	0,99	55	0,580	-
11	0,100	1,79	26	0,250	1,33	41	0,400	0,96	56	0,600	-
12	0,110	1,76	27	0,260	1,30	42	0,410	0,95	57	0,700	-
13	0,120	1,73	28	0,270	1,27	43	0,420	0,93	58	0,800	-
14	0,130	1,70	29	0,280	1,24	44	0,430	0,91	59	0,900	-
15	0,140	1,67	30	0,290	1,21	45	0,440	0,89	60	1,000	-



Gambar 5 Kurva Hubungan A_{maks} dengan SRF saat Kondisi Kering

Dari kurva tersebut diperoleh hubungan A_{maks} terhadap kestabilan lereng saat kondisi lereng kering, dalam fungsi SRF dengan rentang A_{maks} 0 g - 0,49 g adalah:

$$SRF = 58.35A_{maks}^6 - 283.19A_{maks}^5 + 224.19A_{maks}^4 - 80.102A_{maks}^3 + 12.405A_{maks}^2 - 3.8651A_{maks} + 2.1143 \tag{5}$$

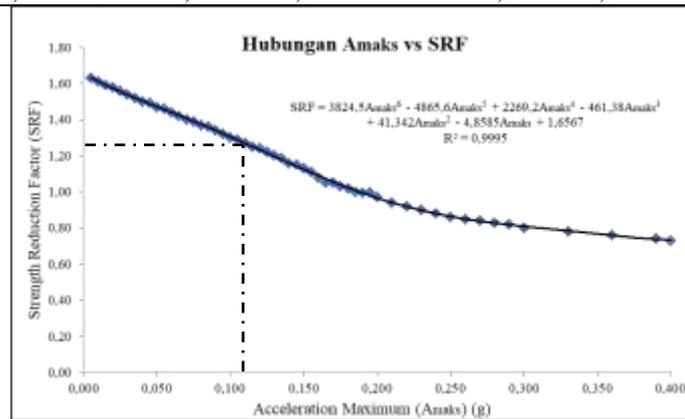
Dari persamaan tersebut didapatkan batas nilai A_{maks} kritis pada kondisi lereng kering dan saat nilai *critical* SRF sebesar 1.2 adalah 0.29 g. Jika pada waktu pengujian nilai A_{maks} terbesar adalah 0.273 g maka nilai getaran ini masih bisa ditoleransi karena batasan getaran tanah setelah pengujian langsung adalah 0.29 g.

3.7.2 Perhitungan SRF dengan Nilai A_{maks} saat Kondisi Jenuh

Tabel 8 Hasil Pengukuran Getaran Peledakan Gelombang Longitudinal

No.	A_{maks}	SRF									
1	0,005	1,63	16	0,080	1,37	31	0,155	1,11	46	0,260	0,85
2	0,010	1,61	17	0,085	1,36	32	0,160	1,08	47	0,270	0,84
3	0,015	1,59	18	0,090	1,34	33	0,165	1,05	48	0,280	0,83
4	0,020	1,58	19	0,095	1,32	34	0,170	1,05	49	0,290	0,82
5	0,025	1,56	20	0,100	1,30	35	0,175	1,03	50	0,300	0,80
6	0,030	1,54	21	0,105	1,29	36	0,180	1,02	51	0,330	0,78
7	0,035	1,52	22	0,110	1,27	37	0,185	1,00	52	0,360	0,76
8	0,040	1,50	23	0,115	1,25	38	0,190	0,99	53	0,390	0,74
9	0,045	1,49	24	0,120	1,24	39	0,195	0,98	54	0,400	0,73
10	0,050	1,47	25	0,125	1,22	40	0,200	0,97	55	0,500	-
11	0,055	1,46	26	0,130	1,20	41	0,210	0,94	56	0,600	-
12	0,060	1,44	27	0,135	1,19	42	0,220	0,92	57	0,700	-
13	0,065	1,42	28	0,140	1,16	43	0,230	0,90	58	0,800	-
14	0,070	1,40	29	0,145	1,15	44	0,240	0,88	59	0,900	-

15	0,075	1,39	30	0,150	1,13	45	0,250	0,86	60	1,000	-
----	-------	------	----	-------	------	----	-------	------	----	-------	---



Gambar 6 Kurva Hubungan A_{maks} dengan SRF saat Kondisi Jenuh

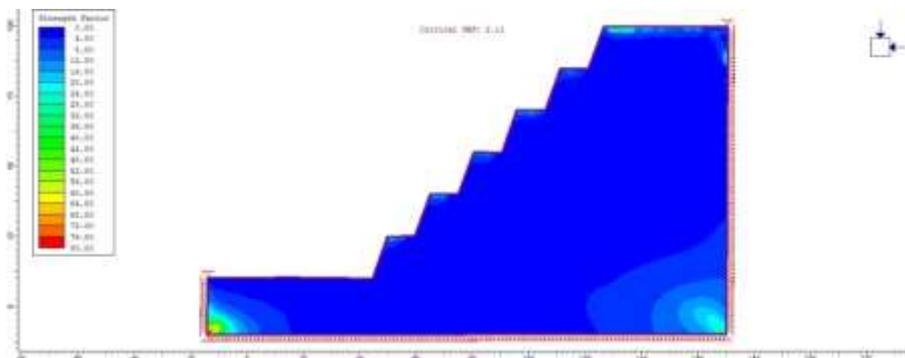
Dari kurva tersebut diperoleh hubungan A_{maks} terhadap kestabilan lereng saat kondisi lereng jenuh, dalam fungsi SRF dengan rentang A_{maks} 0 g hingga 0,40 g adalah:

$$SRF = 3824,5A_{maks}^6 - 4865,6A_{maks}^5 + 2269,2A_{maks}^4 - 461,38A_{maks}^3 + 41,342A_{maks}^2 - 4,8585A_{maks} + 1,657 \tag{6}$$

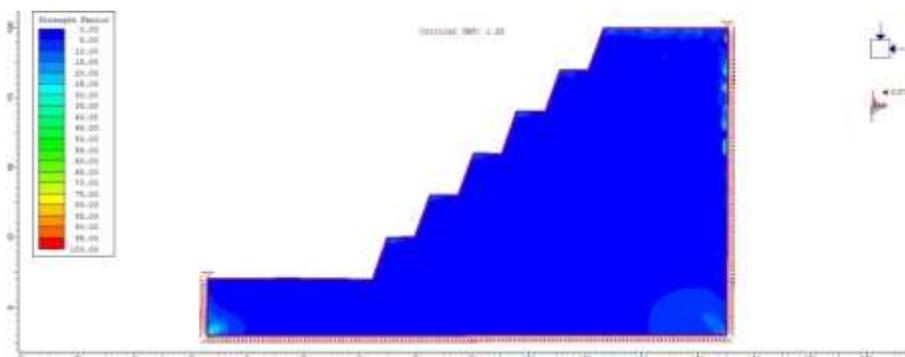
Dari persamaan tersebut didapatkan batas nilai A_{maks} kritis pada kondisi lereng jenuh dan saat nilai *critical* SRF sebesar 1.2 adalah 0.11 g. Batas Nilai A_{maks} yang dihasilkan ini hampir sama dengan nilai batas A_{maks} yang diajukan oleh perusahaan ketika kondisi lereng jenuh yaitu sebesar 0.10 g. Nilai terbesar A_{maks} yang diperoleh dari pengukuran adalah sebesar 0.273 g. Nilai A_{maks} ini sangat tidak diharapkan terjadi ketika kondisi lereng jenuh karena selisih nilai getaran tersebut terhadap batas nilai getaran saat kondisi lereng jenuh sangatlah besar dan akan sangat membahayakan karena dapat mengurangi kestabilan lereng.

3.8 Pengaruh Kestabilan Lereng di Pit Toka *stage 5*

3.8.1 Kestabilan Lereng pada Kondisi Lereng Kering



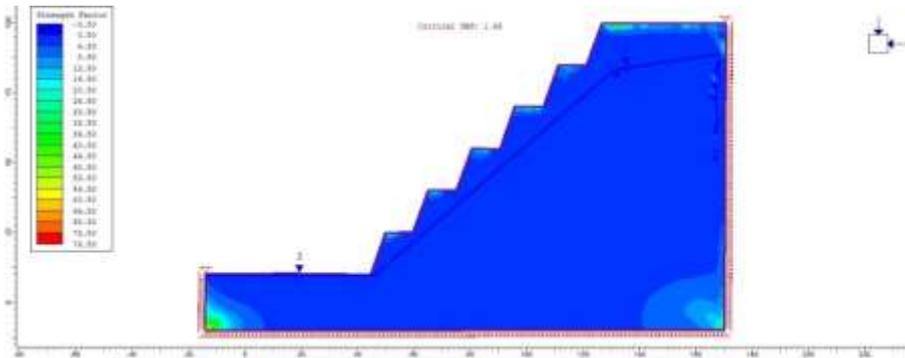
Gambar 7 Hasil Perhitungan SRF tanpa Getaran pada Lereng Kering



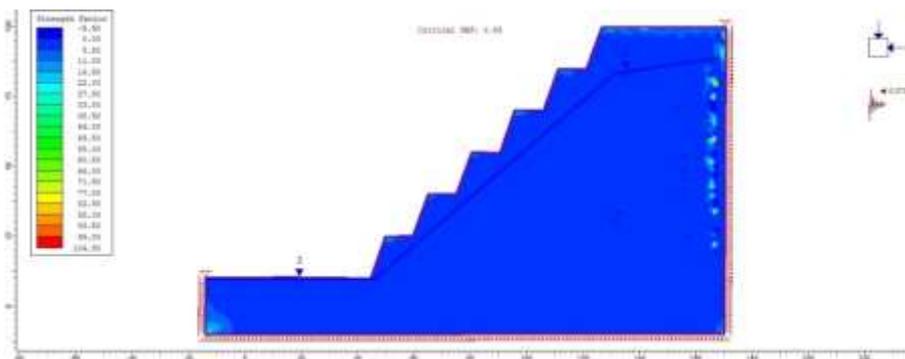
Gambar 8 Hasil Perhitungan SRF adanya Getaran pada Lereng Kering

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng dengan perangkat lunak *Phase²* diketahui *critical SRF* untuk kondisi lereng kering saat tidak menerima getaran adalah sebesar 2.11 (Gambar 7) sedangkan *critical SRF* untuk kondisi lereng kering saat menerima getaran peledakan 0.273 g adalah sebesar 1.25 (Gambar 8). Dapat ditarik kesimpulan bahwa getaran tanah akibat peledakan yang diterima oleh lereng menyebabkan penurunan nilai kestabilan lereng. Penurunan nilai *critical SRF* ini sangat signifikan namun pengaruh getaran tanah akibat peledakan terhadap lereng timur Pit Toka *stage 5* ini masih dalam kondisi cukup aman karena batas minimum nilai *critical SRF* yang digunakan oleh perusahaan adalah sebesar 1.2.

3.8.2 Kestabilan Lereng pada Kondisi Lereng Jenuh



Gambar 9 Hasil Perhitungan SRF tanpa Getaran pada Lereng Jenuh



Gambar 10 Hasil Perhitungan SRF adanya Getaran pada Lereng Jenuh

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng dengan perangkat lunak *Phase²* diketahui *critical SRF* untuk kondisi lereng jenuh saat tidak menerima getaran adalah sebesar 1.65 (Gambar 9) sedangkan *critical SRF* untuk kondisi lereng saat menerima getaran 0.273 g adalah sebesar 0.85 (Gambar 10). Nilai getaran peledakan yang begitu besar pada kondisi lereng sedang jenuh tersebut menurunkan nilai kestabilan lereng dan menyebabkan nilai *critical SRF* menjadi tidak aman karena melebihi nilai *critical SRF* yang digunakan perusahaan sebesar 1.2 akibat nilai getaran peledakan melebihi batas maksimal nilai getaran peledakan ketika kondisi jenuh yaitu sebesar 0.10 g.

3.9 Rekomendasi Jarak dan Muatan Bahan Peledak

Dalam penentuan rekomendasi jarak dan muatan bahan peledak per waktu tunda terhadap kestabilan lereng timur Pit Toka *stage 5* agar lereng tetap aman, menggunakan batasan nilai *critical SRF* pada saat kondisi lereng kering dan pada saat kondisi lereng jenuh. Pada saat kondisi lereng kering nilai maksimal getaran peledakan (A_{maks}) adalah sebesar 0.29 g sedangkan pada saat kondisi lereng jenuh sebesar 0.11 g, dengan *critical SRF* sebesar 1,2. Persamaan yang digunakan dalam memberikan rekomendasi jarak dan muatan bahan peledak yaitu berdasarkan perumusan hubungan PPA dengan *Scaled Distance* dan hubungan PPA dengan A_{maks} , dimana nilai *site* kontanta dari persamaan tersebut telah diperoleh pada perhitungan sebelumnya (persamaan 3.3 dan persamaan 3.4).

3.9.1 Rekomendasi Jarak dan Muatan Bahan Peledak Kondisi Kering

Tabel 9 Hasil Pengukuran Getaran Peledakan Gelombang Longitudinal

No.	Jarak Pengukuran (R) (meter)	Maximum Muatan (W) (kg)	Scaled Distance	Prediksi PPA (g)	Prediksi A _{maks} (g)
1.	20	8	7,071	0,319	0,273
2.	50	53	6,868	0,330	0,283
3.	75	120	6,847	0,332	0,284
4.	100	210	6,901	0,329	0,281
5.	125	330	6,881	0,330	0,282
6.	150	490	6,776	0,336	0,288
7.	175	650	6,864	0,331	0,283
8.	200	870	6,781	0,336	0,287
9.	225	1100	6,784	0,335	0,287
10.	250	1350	6,804	0,334	0,286

3.9.2 Rekomendasi Jarak dan Muatan Bahan Peledak Kondisi Kering

Tabel 10 Hasil Pengukuran Getaran Peledakan Gelombang Longitudinal

No.	Jarak Pengukuran (R) (meter)	Maximum Muatan (W) (kg)	Scaled Distance	Prediksi PPA (g)	Prediksi A _{maks} (g)
1.	50	10	15,811	0,120	0,103
2.	50	11	15,076	0,127	0,109
3.	75	25	15,000	0,128	0,109
4.	100	45	14,907	0,129	0,110
5.	125	70	14,940	0,129	0,110
6.	150	100	15,000	0,128	0,109
7.	175	140	14,790	0,130	0,111
8.	200	180	14,907	0,129	0,110
9.	225	230	14,836	0,130	0,111
10.	250	285	14,809	0,130	0,111

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah dilakukan maka pada penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

- a. Kurva peluruhan getaran dengan parameter *Peak Particle Acceleration* (PPA) menghasilkan sebuah persamaan:

$$PPA = K \times (SD)^{-\alpha} = 3,4341 \times \left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)^{-1,215}$$

Hubungan yang diperoleh dari nilai percepatan getaran horizontal maksimum (A_{maks}) dengan nilai *Peak Particle Acceleration* (PPA) yaitu A_{maks} = 0.8561 × PPA. Persamaan ini berdekatan dengan rekomendasi yang diberikan oleh Matsuo (1984) dan sangat berbeda dengan rekomendasi Seed (1979).

- b. Analisis stabilitas lereng dengan menghitung besarnya *Strength Reduction Factor* (SRF) yang bervariasi mulai A_{maks} 0 g – 0.49 g pada kondisi lereng kering dan A_{maks} 0 g – 0.40 g pada kondisi lereng jenuh menghasilkan hubungan A_{maks} dengan SRF sebagai berikut:

- Saat kondisi lereng kering:

$$SRF = 58.35A_{maks}^6 - 283.19A_{maks}^5 + 224.19A_{maks}^4 - 80.102A_{maks}^3 + 12.405A_{maks}^2 - 3.8651A_{maks} + 2.1143$$

- Saat kondisi lereng jenuh:

$$SRF = 3824.5A_{maks}^6 - 4865.6A_{maks}^5 + 2269.2A_{maks}^4 - 461.38A_{maks}^3 + 41.342A_{maks}^2 - 4.8585A_{maks} + 1.6567$$

Dari penelitian ini dihasilkan batasan nilai getaran tanah atau nilai percepatan getaran horizontal maksimum (A_{maks}) dengan menggunakan nilai *critical* SRF sebesar 1.2 yaitu sebesar 0.29 g pada kondisi lereng kering dan pada kondisi lereng jenuh didapatkan maksimal nilai getaran tanah sebesar 0.11 g.

- c. Pengaruh getaran peledakan pada lereng timur Pit Toka *stage* 5 yakni mengalami penurunan nilai *critical* SRF pada kedua kondisi walaupun pada kondisi lereng kering masih dalam batas aman sementara pada lereng jenuh melebihi batas aman *critical* SRF sebesar 1,2. Pada kondisi lereng kering mengalami penurunan nilai *critical* SRF dari 2.11 menjadi 1.25 sedangkan pada kondisi jenuh mengalami penurunan dari 1.65 menjadi 0.85.
- d. Dari penelitian ini dihasilkan pula rekomendasi muatan bahan peledak pada jarak tertentu dengan menggunakan nilai *critical* SRF sebesar 1.2. Jumlah muatan bahan peledak yang meledak bersamaan pada kondisi kering dengan jarak terdekat 20 meter dari lereng yaitu 8 kg dan dengan jarak terjauh 250 meter dari lereng yaitu 1350 kg sementara untuk kondisi lereng jenuh dengan jarak terdekat 50 meter dari lereng yaitu 10 kg dan dengan jarak terjauh 250 meter dari lereng yaitu 285 kg.

5. SARAN

Ada beberapa saran yang yang perlu ditekankan dari peneltian ini antara lain sebagai berikut:

- a. Sangat diperlukan data yang cukup banyak dalam penelitian agar hasil analisis dapat merepresentasikan kondisi aktual di lapangan ataupun untuk menjamin nilai koefisien determinasi R^2 yang lebih akurat sehingga bisa menghasilkan suatu permodelan yang baik.
- b. Perlunya melakukan pengukuran getaran tanah pada jarak lebih bervariasi atau pada titik pengukuran berbeda dengan jumlah data tertentu sehingga diperoleh sebaran data yang lebih baik.
- c. Perlunya membagi beberapa lokasi peledakan yang memiliki lokasi yang sama atau berdekatan dengan titik pengukuran ke dalam suatu blok peledakan khusus agar nilai *site* konstanta yang dihasilkan dapat mewakili setiap blok peledakan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Dr. Supandi, S.T., M.T., selaku penulis kedua dan Bapak Novandri Kusuma Wardana, S.T., S.Si., M.T., selaku penulis ketiga yang telah membantu dalam penulisan paper ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak PT. Meares Soputan Mining (MSM) yang telah membantu dalam kegiatan penelitian di lapangan dan proses pengambilan data.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Arif, I. *Geoteknik Tambang "Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng"*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta. 2016
- [2]. Dowding, C. H. *Blast Vibration Monitoring and Control*, Prentice Hall, Englewood Cliffs. 1985
- [3]. Lucca, F. J. *Tight Construction Blasting: Ground Vibration Basic, Monitoring and Prediction*. Terra Dinamica L.L.C. 2003
- [4]. Yasman, W., Analisis Pengaruh Getaran Tanah Akibat Peledakan Terhadap Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Elemen Hingga di Lowwall Pit C2 Tambang Sambarata PT. Berau Coal, *Skripsi*, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung. 2013