

## Studi Pengaruh Geometri Peledakan Berdasarkan Analisis Regresi Linear Berganda Terhadap Nilai Airblast di PT. X

### *Study of the Effect of Blast Geometry Based on Multiple Linear Regression Analysis on Airblast Value at PT. X*

Ilham<sup>1\*</sup>, Revia Oktaviani<sup>1</sup>, Lucia Respati<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik, S-1 Teknik Pertambangan, Universitas Mulawarman

\*Email Korespondensi : ilham.akhmad99@gmail.com

#### ABSTRAK

Airblast merupakan gelombang tekanan udara berlebih yang dihasilkan dari peledakan dan dapat menimbulkan gangguan lingkungan maupun kerusakan struktur di sekitar area tambang. Jumlah isian bahan peledak dan panjang stemming diidentifikasi sebagai variabel utama yang mempengaruhi intensitas airblast. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data primer berupa geometri peledakan, jumlah isian bahan peledak, panjang stemming, jarak pengukuran, serta hasil pengukuran airblast menggunakan Micromate, dan data sekunder berupa peta serta informasi teknis lokasi penelitian. Analisis regresi linier berganda digunakan untuk mengetahui hubungan dan kontribusi masing-masing variabel terhadap nilai Sound Pressure Level (SPL) airblast. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua variabel tersebut berpengaruh signifikan terhadap besaran airblast. Peningkatan jumlah isian bahan peledak cenderung menaikkan nilai SPL, sedangkan peningkatan panjang stemming menurunkannya. Sebagian besar nilai SPL berada di bawah baku tingkat kebisingan SNI 7570:2010, namun terdapat beberapa kejadian yang melebihi batas rekomendasi sehingga diperlukan penyesuaian desain peledakan. Kesimpulannya, pengendalian airblast dapat dioptimalkan melalui pengaturan jumlah isian bahan peledak per lubang dan penerapan panjang stemming yang sesuai kondisi geologi setempat. Rekomendasi mencakup pengaturan powder factor serta penggunaan material stemming dengan kepadatan dan panjang optimal untuk meminimalkan dampak airblast.

**Kata kunci:** airblast, bahan peledak, stemming, peledakan, SPL

#### ABSTRACT

*Airblast is an excessive air pressure wave generated by blasting, which can cause environmental disturbances and structural damage in the vicinity of the mining area. The amount of explosive charge and stemming length were identified as the main variables influencing airblast intensity. The research method employed a quantitative approach, utilizing primary data consisting of blasting geometry, explosive charge amount, stemming length, measurement distance, and airblast measurement results using a Micromate, as well as secondary data in the form of maps and technical information of the study site. Multiple linear regression analysis was used to determine the relationship and contribution of each variable to the Sound Pressure Level (SPL) of airblast. The results indicated that both variables significantly affected airblast magnitude. An increase in the amount of explosive charge tended to raise SPL values, while an increase in stemming length reduced them. Most SPL values were below the SNI 7570:2010 noise level standard, although several instances exceeded the recommended limits, necessitating adjustments to blasting design. In conclusion, airblast control can be optimized by regulating the amount of explosive charge per hole and applying stemming lengths suited to local geological conditions. Recommendations include adjusting the powder factor and using stemming materials with optimal density and length to minimize airblast impact.*

**Keyword :** airblast, explosives, stemming, blasting, SPL

#### PENDAHULUAN

Peledakan adalah salah satu metode pembongkaran pada batuan atau lapisan penutup. Metode ini bertujuan untuk meretakkan, menghancurkan ataupun membongkar batuan dari batuan induknya untuk memenuhi target produksi dan memperlancar proses pemuatan dan pengangkutan. Kegiatan peledakan dinyatakan berhasil dengan baik pada kegiatan penambangan salah satunya bila dampak terhadap lingkungan (flyrock, vibration, airblast, gas beracun dan debu) dapat terkendali. Air overpressure/airblast adalah gelombang tekanan kompresi yang melebihi tekanan atmosfer dan ditularkan melalui udara. Airblast juga merupakan suara implusif yang disebabkan oleh ledakan eksplosif yang dihasilkan dari fragmentasi batuan dan pergerakan/movement. Efek airblast dimanifestasikan menjadi bagian yang dapat didengar, pergerakan

struktural, dan keretakan pada jendela. Airblast ini pada tingkat tertentu bisa menyebabkan terjadinya kerusakan struktur disekitar lokasi peledakan. Karena itu keadaan bahaya yang mungkin ditimbulkan oleh operasi peledakan tidak bisa diabaikan.

Peledakan adalah salah satu metode pembongkaran pada batuan. Metode ini bertujuan untuk meretakkan, menghancurkan ataupun membongkar batuan dari batuan induknya untuk memenuhi target produksi dan memperlancar proses pemuatan dan pengangkutan. Kegiatan peledakan dinyatakan berhasil dengan baik pada kegiatan penambangan salah satunya bila dampak terhadap lingkungan (fly rock, vibration, air blast, gas beracun dan debu) dapat terkendali (Koesnaryo, 1988).

Airblast merupakan gelombang tekanan atmosfer yang dipancarkan dari semburan ke luar ke area sekitar. Gelombang tekanan ini terdiri dari suara yang dapat didengar, dan suara subaudible yang tidak dapat didengar. Jika tekanan gelombang ini, yang disebut tekanan berlebih, cukup besar, maka dapat menyebabkan kerusakan. Umumnya airblast merupakan masalah gangguan yang tidak menyebabkan kerusakan tetapi menimbulkan ketidaknyamanan antara operator dan mereka yang terkena dampak. Airblast dihasilkan oleh gas peledak yang dilepaskan ke atmosfer saat batuan pecah, oleh hembusan yang terhenti, oleh pergeseran permukaan batuan, oleh pergeseran di sekitar lubang bor, dan oleh getaran tanah. Berbagai kombinasi ini dapat terjadi untuk setiap ledakan. (Calvin, J. 1991)

Dalam peraturan Per.13/MEN/X/2011, airblast merujuk pada gelombang udara yang dihasilkan oleh peledakan bahan peledak. Gelombang udara ini berpotensi menimbulkan gangguan atau kerusakan pada bangunan, lingkungan, dan kesehatan pekerja di sekitar area peledakan. Pengaturan mengenai airblast mencakup batasan-batasan dan prosedur untuk meminimalisir dampak dari airblast tersebut. (Per.13/MEN/X/2011)

Menurut Gujarati (2003) asumsi-asumsi pada model regresi linear berganda adalah sebagai berikut : 1) Model regresinya adalah linear dalam parameter; model harus berbentuk linear dalam parameter, meskipun tidak harus linear dalam variabel. 2) Nilai rata-rata dari error adalah nol; Hal ini menunjukkan bahwa model tidak bias (unbiased). 3) Variansi dari error adalah konstan (homoskedastik). 4) Tidak terjadi autokorelasi pada error; Error pada satu observasi tidak berkorelasi dengan error pada observasi lain. Ini sangat penting dalam data runtun waktu (time series). 5) Tidak terjadi multikolinieritas pada variabel bebas; Variabel independen tidak boleh berkorelasi secara sempurna satu sama lain. Jika ada korelasi sempurna, maka model tidak bisa diestimasi karena tidak dapat mengidentifikasi kontribusi masing-masing variabel. 6) Error berdistribusi normal; Asumsi ini tidak wajib untuk estimasi OLS, tetapi sangat penting untuk uji hipotesis dan membuat interval kepercayaan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui rekomendasi geometri peledakan

## **METODE PENELITIAN**

Data berupa angka untuk menganalisis dan melakukan kajian penelitian, terutama mengenai penelitian yang sudah dilakukan. Dalam pelaksanaannya terdapat beberapa tahapan yaitu tahap sebelum lapangan, tahap lapangan dan tahap setelah lapangan.

### **A. Waktu penelitian**

Penelitian lapangan dimulai pada tanggal 16 April 2025 sampai dengan 15 Juni 2025

### **B. Tahapan dan Metode Penelitian**

#### **1. Orientasi lapangan**

Melakukan pengenalan lapangan dengan tujuan untuk mendapatkan gambaran dan inspirasi dalam penentuan masalah yang akan dikaji dalam penelitian

#### **2. Pengumpulan data**

Data yang diambil terbagi menjadi 2, yaitu berupa data primer dan data sekunder, data primer merupakan data aktual yang diambil dari lapangan saat kegiatan penelitian meliputi, geometri, stemming, jarak pengukuran, dan jumlah isian bahan peledak. Data sekunder tersebut meliputi peta geologi, dan peta kesampaian daerah.

#### **3. Pengolahan data**

Adapun tahapan pengolahan data penelitian adalah sebagai berikut:

##### **a. Perhitungan jarak antara lokasi peledakan dengan lokasi pengukuran airblast**

Pada tahap ini dilakukan perhitungan jarak untuk mendapatkan nilai scaled distance. Dimana dalam menghitung jarak digunakan metode koordinat dengan mengambil data koordinat dari lokasi peledakan dan koordinat dari lokasi pengukuran airblast.

##### **b. Perhitungan scale distance**

Perhitungan scale distance dihitung menggunakan rumus yaitu jarak dari lokasi peledakan ke lokasi pengukuran getaran per akar dari isian bahan peledak/delay

Dilakukan perhitungan scale distance dengan rumus:

$$SD = \frac{D}{\sqrt{W}}$$

Dimana:

SD : Scale Distance

D : Jarak dari lokasi peledakan ke lokasi pengukuran getaran

$\sqrt{W}$  : Berat maksimum bahan peledak per penundaan (delay)

c.Perhitungan nilai k dan e

Untuk penentuan nilai K (konstanta terkait dengan kondisi lokasi) dan e (eksponen terkait dengan kondisi lokasi) ini menggunakan analisis regresi power dari hubungan antara scale distance dengan SPL pada microsoft excel.

## HASIL DAN ANALISIS

### A.Hasil Penelitian

#### 1. Rekomendasi Geometri

##### a) Data Variabel Bebas dan Variabel Tetap Pengolahan Regresi Linear Berganda Menggunakan SPSS

Nilai spl merupakan variabel tetap dan nilai isian bahan peledak keseluruhan, stemming, depth, dan jarak merupakan 4 variabel bebas yang mempengaruhi nilai spl.

**Tabel 1.** Data Variabel Bebas dan Tetap

No	Tanggal	SPL (dB)	Isian Keseluruhan (Kg)	Stemming (m)	Depth (m)	Jarak (m)
1	2/5/2025	46	3175	4	7.7	500
2	3/5/2025	56.3	3704	2.4	5.6	500
3	4/5/2025	90.4	6878	3	6.3	350
4	5/5/2025	95	7407	2.5	5.8	350
5	6/5/2025	63.3	4021	3.2	6.3	500
6	7/5/2025	54.6	3704	3	6.5	500
7	8/5/2025	89.2	6032	2.6	6.2	350
8	9/5/2025	68.3	5079	3.3	7.7	500
9	10/5/2025	72.67	7407	4.7	9	500
10	11/5/2025	69.4	5291	3.2	7.4	500
11	13/5/2025	45.2	2328	1.9	5.9	500
12	14/5/2025	57.37	4233	2.8	6.9	500
13	16/5/2025	54.55	4233	3.1	6	500
14	17/5/2025	48	2963	2.1	5.4	500
15	18/5/2025	43.6	3175	3.8	7.6	500
16	19/5/2025	96.7	8677	4.2	8	350
17	20/5/2025	94.3	8466	3.5	6.3	350
18	21/5/2025	42.63	2011	3	5.3	500
19	23/5/2025	55	4974	4	7.4	500
20	24/5/2025	68.6	5714	1.3	8	500
21	25/5/2025	46.37	3175	2.5	9	500
22	26/5/2025	40.23	847	1.3	4.7	500
23	28/5/2025	42.65	1587	2.5	5.7	500
24	29/5/2025	52.88	4026	3.4	6.4	500
25	30/5/2025	65.6	5185	4.4	8	500

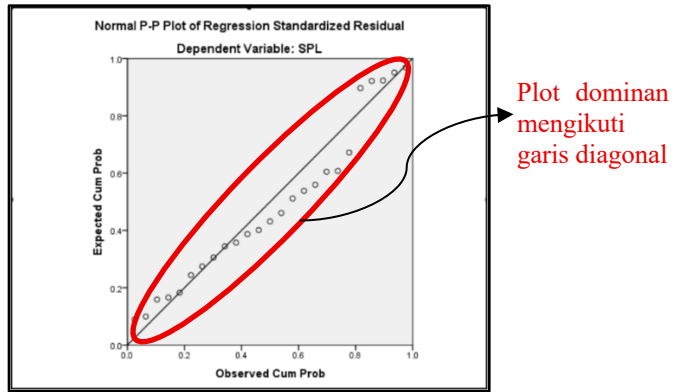
##### b) Analisis Regresi Linear Berganda dengan 4 Variabel Bebas

###### 1). Uji Asumsi Klasik

###### a. Uji Normalitas Residual

Uji ini bertujuan untuk menguji apakah dalam model regresi variabel residu memiliki distribusi normal.

- Berdasarkan Plot Grafik



Gambar 1. Plot Grafik

Jika plot mengikuti garis diagonal, maka distribusi bisa dikatakan normal.  
 - Berdasarkan Uji Kolmogorov-Smirnov

Tabel 2. Uji Kolmogorov-Smirnov

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
		Unstandardized Residual
N		25
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	.0000000
	Std. Deviation	3.55314168
Most Extreme Differences	Absolute	.143
	Positive	.143
	Negative	-.117
Test Statistic		.143
Asymp. Sig. (2-tailed)		.200 <sup>c,d</sup>
a. Test distribution is Normal.		
b. Calculated from data.		
c. Lilliefors Significance Correction.		
d. This is a lower bound of the true significance.		

Jika nilai Asymp Sig pada tabel uji Kolmogorov-Smirnov > 0,05, maka distribusi bisa dikatakan normal.  
 b. Uji Multikolinearitas

Uji Multikolinearitas bertujuan untuk menguhi apakah model regresi ditemukan adanya korelasi antara variabel bebas (independen) dan mengetahui ada tidaknya multikolinearitas didalam model regresi.

Tabel 3. Uji Multikolinearitas

Coefficients <sup>a</sup>								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	83.038	11.228		7.396	.000		
	Stemming	-2.057	1.143	-.099	-1.799	.087	.623	1.605
	ISIAN	.007	.001	.804	8.810	.000	.228	4.389
	Jarak	-.085	.024	-.284	-3.485	.002	.286	3.494
	Kedalaman	-1.042	1.013	-.066	-1.029	.316	.461	2.169

Jika pada nilai tolerance dan VIF pada tabel menunjukkan nilai tolerance < 0,1 dan VIF > 10 maka terjadi multikolinearitas. Berdasarkan data di atas maka :

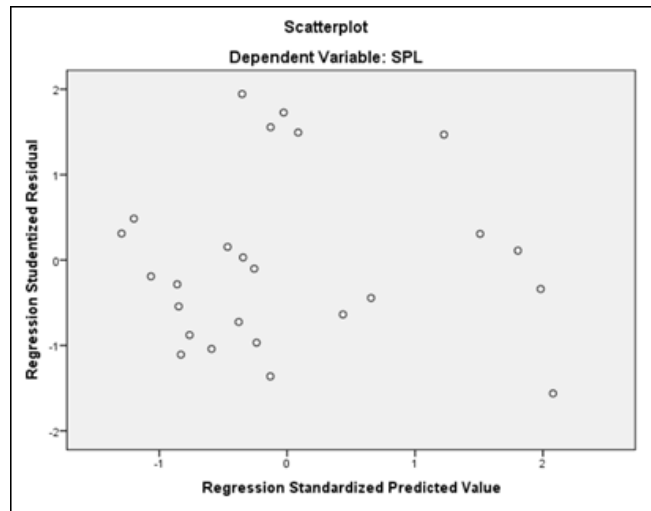
**Tabel 4. Variabel Bebas (X)**

Variabel	Tolerance	VIF	Kriteria
X1 (Stemming)	0.623	1.605	Tidak Terjadi Multikolinearitas
X2 (Isian Keseluruhan)	0.228	4.389	Tidak Terjadi Multikolinearitas
X3 (Jarak)	0.289	3.494	Tidak Terjadi Multikolinearitas
X4 (Kedalaman)	0.461	2.169	Tidak Terjadi Multikolinearitas

c. Uji Heteroskedastisitas

Uji heteroskedastisitas digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya penyimpangan asumsi klasik heteroskedastisitas yaitu adanya ketidaksamaan varian dari residual untuk semua pengamatan pada model regresi. Prasyarat yang harus terpenuhi dalam model regresi adalah tidak adanya gejala heteroskedastisitas. Ada beberapa metode pengujian yang bisa dilakukan diantaranya yaitu :

- Dengan melihat scatterplot



**Gambar 2. Scatterplot**

Jika grafik scatterplot menunjukkan plot yang menebar tidak teratur, maka tidak terjadi heteroskedastisitas.

- Dengan Metode Glejser

**Tabel 5. Metode Glejser**

Coefficients <sup>a</sup>								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	-3.898	6.455		-.604	.553		
	Stemming	.575	.657	.234	.875	.392	.623	1.605
	ISIAN	.000	.000	.296	.669	.511	.228	4.389
	Jarak	.010	.014	.296	.748	.463	.286	3.494
	Kedalaman	-.206	.582	-.110	-.354	.727	.461	2.169

a. Dependent Variable: ABSRES

Jika nilai Sig pada tabel coefficients yang berasal dari regresi variabel independent terhadap variabel abs residu > 0,05 maka tidak terjadi heteroskedastisitas.

2). Uji Hipotesis

- a. Uji F

Tabel 6. Uji F

ANOVA <sup>a</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7680.173	4	1920.043	126.737	.000 <sup>b</sup>
	Residual	302.996	20	15.150		
	Total	7983.169	24			

a. Dependent Variable: SPL  
b. Predictors: (Constant), Kedalaman, Jarak, Stemming, ISIAN

Jika F hitung > F tabel, maka variabel independent berpengaruh terhadap variabel dependen. Dari data di atas didapat F tabel menggunakan software excel dengan fungsi rumus =FINV(0.05;Dof1;Dof2) atau terbaca =FINV(0.05;4;20), maka didapat nilai F tabel sebesar 126,737. Jadi dapat disimpulkan F hitung < F tabel atau 126,737 < 2,866. Berdasarkan hal ini maka data lolos uji F, sehingga dapat dilakukan analisis regresi linear berganda dengan data tersebut.

b. Uji R2

Tabel 7. Uji R2

Model Summary <sup>b</sup>				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.981 <sup>a</sup>	.962	.954	3.89227

a. Predictors: (Constant), Kedalaman, Jarak, Stemming, ISIAN  
b. Dependent Variable: SPL

Dari hasil pengolahan diperoleh nilai R square menunjukkan angka 0,962 sehingga besarnya persentase pengaruh variabel independent terhadap variabel dependen sebesar 96,2% masuk ke kategori sedang.

c. Uji T

Tabel 8. Uji T

Coefficients <sup>a</sup>								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	83.038	11.228		7.396	.000		
	Stemming	-2.057	1.143	-.099	-1.799	.087	.623	1.605
	ISIAN	.007	.001	.804	8.810	.000	.228	4.389
	Jarak	-.085	.024	-.284	-3.485	.002	.286	3.494
	Kedalaman	-1.042	1.013	-.066	-1.029	.316	.461	2.169

a. Dependent Variable: SPL

3). Persamaan Regresi Linear Berganda

Berdasarkan hasil pengolahan data, maka diperoleh model akhir dari persamaan regresi linear berganda yaitu :

$$Y = 83.038 - 2.057X_1 + 0.007X_2 - 0.085X_3 - 1.042X_4$$

Tabel 9. Kenaikan 1% Variabel Bebas dan Tetap

Kenaikan (%)	Jarak (m)	Kedalaman (m)	Isian Keseluruhan (Kg)	Stemming (m)	SPL SPSS (dB)
Rata Rata	470	6.764	4571.68	3.028	61.813076
1	465.3	6.69636	4617.3968	2.99772	62.66536044
2	455.9	6.56108	4708.8304	3.08856	64.05849952
3	441.8	6.35816	4845.9808	3.11884	66.366209
4	423	6.0876	5028.848	3.14912	69.46391696
5	399.5	5.7494	5257.432	3.1794	73.3516234
6	371.3	5.34356	5531.7328	3.20968	78.02932832
7	338.4	4.87008	5851.7504	3.23996	83.49703172
8	300.8	4.32896	6217.4848	3.27024	89.7547336
9	258.5	3.7202	6628.936	3.30052	96.80243396
10	211.5	3.0438	7086.104	3.3308	104.6401328
11	159.8	2.29976	7588.9888	3.36108	113.2678301
12	103.4	1.48808	8137.5904	3.39136	122.6855259

13	42.3	0.60876	8731.9088	3.42164	132.8932202
Permenaker	500	10	9600	3.2	90.7356
SNI	500	10	12000	3.2	107.5356

a. Rekomendasi berdasarkan (SNI 7570:2010)

Jika plan *SPL* adalah sebesar 110 dB maka nilai *X* yang tepat untuk mencapai target atau di bawah standar tersebut adalah :

$$\begin{aligned} X1 (\textit{Stemming}) &= 3,2 \text{ meter} \\ X2 (\text{Jumlah Isian Bahan Peledak}) &= 12000 \text{ Kg} \\ X3 (\text{Jarak}) &= 500 \text{ meter} \\ X4 (\text{Kedalaman}) &= 10 \text{ meter} \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai rata-rata tersebut, substitusi variabel *X* ke persamaan linear berganda maka akan berubah menjadi :

$$\begin{aligned} SPL &= 83.038 - 2.057X1 + 0.007X2 - 0.085X3 - 1.042X4 \\ &= 83.038 - 2.057(3.2) + 0.007(12000) - 0.085(500) - 1.042(10) \\ &= 83.038 - 6.582 + 84 - 42.5 - 10.4 \\ &= 107.5 \text{ dB} \end{aligned}$$

b. Rekomendasi berdasarkan (PER.13/MEN/X/2011)

Jika plan *SPL* adalah sebesar 91 dB maka nilai *X* yang tepat untuk mencapai target atau di bawah standar tersebut adalah :

$$\begin{aligned} X1 (\textit{Stemming}) &= 3,2 \text{ meter} \\ X2 (\text{Jumlah Isian Bahan Peledak}) &= 9600 \text{ Kg} \\ X3 (\text{Jarak}) &= 500 \text{ meter} \\ X4 (\text{Kedalaman}) &= 10 \text{ meter} \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai rata-rata tersebut, substitusi variabel *X* ke persamaan linear berganda maka akan berubah menjadi :

$$\begin{aligned} SPL &= 83.038 - 2.057X1 + 0.007X2 - 0.085X3 - 1.042X4 \\ &= 83.038 - 2.057(3.2) + 0.007(9600) - 0.085(500) - 1.042(10) \\ &= 83.038 - 6.582 + 67.2 - 42.5 - 10.4 \end{aligned}$$

$$= 90.7 \text{ Db}$$

## KESIMPULAN

Rekomendasi geometri untuk mendapatkan nilai *airblast* berdasarkan SNI 7570:2010 didapatkan nilai *stemming* (3,2 meter), jumlah isian bahan peledak (12000 Kg), jarak (500 meter), dan kedalaman (10 meter) didapatkan nilai *airblast* sebesar 107,5 dB, Sedangkan Rekomendasi geometri untuk mendapatkan nilai *airblast* berdasarkan PER.13/MEN/X/2011 didapatkan nilai *stemming* (3,2 meter), jumlah isian bahan peledak (9600 Kg), jarak (500 meter), dan kedalaman (10 meter) didapatkan nilai *airblast* sebesar 90,7 dB.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. Ir. Hj. Revia Oktaviani, S.T., M.T., dan Ir. Lucia Litha Respati, S.T., M.E., selaku pembimbing atas bimbingan, masukan, dan dukungannya dalam menyelesaikan penelitian ini **UCAPAN TERIMAKASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. Ir. Hj. Revia Oktaviani, S.T., M.T., dan Ir. Lucia Litha Respati, S.T., M.E., selaku pembimbing atas bimbingan, masukan, dan dukungannya dalam menyelesaikan penelitian ini

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Anggara, 2017, Teknik Peledakan, Balai Pendidikan dan Pelatihan Tambang Bawah Tanah.
- [2] Anonim, 2004, Kursus Juru Ledak Kelas II, Departemen Pertambangan dan Energi, Yogyakarta.
- [3] Anonim, 1989, Handbook of Blasting Tables, ICI Explosives Australia Operations Pty Ltd, Sydney.
- [4] S. Bhandari, Engineering Rock Blasting Operations. A.A Balkema : Rotterdam.
- [5] A. I. Cahyadi, "Analisis Pengaruh Getaran Tanah Akibat Peledakan Terhadap Kestabilan Lereng Highwall Pit 4200 Blok 1 South Block 1 (Rml) Pt. Trubaindo Coal Mining Kabupaten Kutai Barat Kalimantan Timur," UNMUL., Samarinda. 2017,.

- 
- [6] R. Cahyadi, Analisis Korelasi Scaled Distance Terhadap Getaran Tanah Pada Operasi Peledakan Batu Kapur PT. Semen Baturaja (PERSERO), 2017.
  - [7] C. Dowding, Effects of Repeated Blasting on a Wood Frame House. Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement. USA, 1984.
  - [8] C. L. Jimeno, Drilling and Blasting of Rock. A.A Balema : Rotterdam, 1995.
  - [9] W. Ketut, Buku Ajar Fisika. Fakultas Teknik, Universitas Udayana, 2014.
  - [10] Koesnaryo, Bahan Peledak dan Metode Peledakan. Universitas Pembangunan Veteran Yogyakarta, Yogyakarta. 1988.
  - [11] SNI 7570 : 2010, Baku Tingkat Kebisingan pada Kegiatan Pertambangan Terhadap Lingkungan. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.