

KAJIAN TEKNIS PENGONTROLAN *GROUND VIBRATION LEVEL* PADA OPERASI PELEDAKAN *BEDROCK* SOROWAKO EAST DAN WEST AREA PT VALE INDONESIA TBK, SOROWAKO KECAMATAN NUHA KABUPATEN LUWU TIMUR PROVINSI SULAWESI SELATAN

Arwan Wira Yudha, R. Hariyanto, Hasywir Thaib Siri, Ketut Gunawan, Indri Lesta Siwidiani
Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta
No. Telp: 082140235554 E-mail: arwanyudha@gmail.com

Abstrak

PT Vale Indonesia Tbk, merupakan perusahaan yang bergerak di bidang usaha pertambangan dengan komoditas tambang utamanya adalah mineral logam yang berupa nikel laterit dan berada di Sorowako Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. *Bedrock* dari komoditas tambang nikel laterit tersebut dimanfaatkan sebagai material penguatan bersama dengan material *slag* dan *reject* yang nantinya akan digunakan dalam pembuatan *dyke*, disposal dan *main haul road*. Pembongkaran *bedrock* dilakukan dengan metode pengeboran dan peledakan. Salah satu masalah yang sering timbul akibat kegiatan peledakan adalah efek getaran tanah (*ground vibration*). Tercatat pada bulan Januari hingga Maret 2020 nilai *peak particle velocity* (PPV) mencapai 3,5 mm/s pada jarak 420 meter di Sorowako *east* dan telah melebihi standar ambang batas nilai PPV terhadap bangunan sekitar.

Menurut SNI 7571 : 2010 efek peledakan pada salah satu *quarry* Sorowako *east* dikatakan tidak aman terhadap bangunan dan kebun warga sekitar. Bangunan warga yang masuk ke dalam *radius safe distance* peledakan tergolong bangunan kelas II “jenis bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen saja, termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberi adukan semen”, dengan nilai batas aman *peak particle velocity* < 3 mm/s.

Berdasarkan data hasil pengukuran *ground vibration* aktual dianalisis menggunakan pendekatan teori *scaled distance* dan *multivariate regression analysis* untuk mendapatkan hubungan antara *ground vibration* dan jumlah isian bahan peledak anfo per *delay*. Rumusan hasil analisis dapat dijadikan acuan untuk menentukan jumlah isian bahan peledak anfo per *delay* agar *ground vibration* yang dihasilkan dapat terkontrol dan tidak melebihi batas aman.

Hasil prediksi rumusan *ground vibration* usulan untuk Sorowako *west* dan *east* adalah rumusan prediksi berdasarkan teori *multivariate regression analysis* dengan persen kesalahan relatif rata - rata untuk *peak particle velocity* (PPV) prediksi yaitu sebesar 22,36 % dan 30,99 % terhadap *peak particle velocity* (PPV) aktual. Rumusan prediksi *ground vibration* usulan kemudian digunakan untuk usulan isian bahan peledak anfo per *delay* Sorowako *west* dengan bangunan kelas III yaitu jarak 100 meter sebanyak 20,41 kg/*delay* dan jarak 700 meter sebanyak 5328,31 kg/*delay*, sementara untuk Sorowako *east* dengan bangunan kelas II yaitu jarak 100 meter sebanyak 22,69 kg/*delay* dan jarak 700 meter sebanyak 472,77 kg/*delay*.

Kata Kunci : *Peledakan, Ground Vibration, Peak Particle Velocity, Saclaed Distance, Multivariate Regression Analysis*

Abstract

PT Vale Indonesia Tbk, is a company engaged in the mining business with the main mining commodity of metal minerals in the form of nickel laterite in Sorowako, Nuha District, East Luwu Regency, South Sulawesi Province. Demolition of rocks in the bedrock layer is carried out by drilling and blasting methods. These rocks are used as reinforcing material along with slag and reject materials which will later be used in the manufacture of dyke, disposal and main haul road. One of the problems that often arise due to blasting activities is the effect of ground vibration. It was recorded that in January to March 2020 the peak particle

velocity (PPV) value reached 3.5 mm / s at a distance of 420 meters in Sorowako east and has exceeded the PPV value threshold standard for surrounding buildings.

According to SNI 7571: 2010 the effect of blasting on one of the Sorowako East quarries is said to be unsafe on the buildings and gardens of local residents. Where the residents' buildings that fall into the radius of the blasting safe distance are classified as class II buildings "the type of building with foundation, masonry and mortar only, including buildings with wooden foundations and mortar floors", with a safety limit value of peak particle velocity <math>< 3 \text{ mm / s}</math>.

Base on the result data of actual ground vibration measurement to be analysed use the scaled distance theory approach and multivariate regression analysis, to get the relation between the amount of anfo explosive charge per delay and the resulting ground vibration. In the future, it is hoped that the formulation of this proposal can be used as a reference for determining the amount of anfo explosive charge per delay so that the resulting ground vibration can be controlled and does not exceed the safe limit.

The prediction results of the proposed ground vibration formulation for Sorowako West and East is a prediction formula based on the theory of multivariate regression analysis with the average percent relative errors for peak particle velocity (PPV) prediction of 22.36% and 30.99% for peak particle velocity (PPV) actual. The ground vibration prediction formula is then used for the proposed filling of anfo per delay in Sorowako west with class III buildings, namely a distance of 100 meters as much as 20.41 kg / delay and a distance of 700 meters as much as 5328.31 kg / delay, while for Sorowako east with buildings Class II, namely a distance of 100 meters as much as 22.69 kg / delay and a distance of 700 meters as much as 472.77 kg / delay.

Keywords : *Blasting, Ground Vibration, Peak Particle Velocity, Scaled Distance, Multivariate Regression Analysis*

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Lokasi penelitian ini terletak di Sorowako Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. Penambangan bijih nikel di lokasi penelitian, terbagi atas empat daerah penambangan, yaitu Sorowako *west*, Sorowako *east*, Petea dan Bahodopi. Pembagian blok disebabkan karena adanya perbedaan jenis batuan pada lapisan *bedrock*, di lapisan *bedrock* ini juga dilakukan kegiatan penambangan dengan komoditas tambang batuan dengan metode penambangan *quarry* yang dimanfaatkan sebagai material penguatan bersama dengan material *slag* dan *reject* yang nantinya akan digunakan dalam pembuatan *dyke*, disposal dan *main haul road*. Pembongkaran batuan pada lapisan *bedrock* dilakukan dengan metode pengeboran dan peledakan. Salah satu masalah yang sering timbul pada kegiatan penambangan dengan peledakan adalah efek getaran tanah (*ground vibration*).

Nilai *Peak Particle Velocity* (PPV) *ground vibration* dikontrol dengan

penetapan nilai ambang batas bangunan yang terdapat pada *quarry* serta mengacu pada SNI 7571 tahun 2010, mengingat telah majunya arah penambangan *quarry* terhadap suatu bangunan. Adapun bangunan yang telah masuk ke dalam radius *safe distance* peledakan yaitu gudang handak lama dengan jenis bangunan golongan terendah kelas III pada *quarry* Lembo Sorowako *west*, sementara pada Sorowako *east* terdapat kebun warga yang terdiri dari kebun merica dan beberapa bangunan golongan terendah kelas II di *quarry* Tonea Terry. Tercatat pada bulan Januari 2020 hingga Maret 2020 nilai *Peak Particle Velocity* (PPV) mencapai 3,5 mm/s pada jarak 420 meter di Sorowako *east* dan telah melebihi standar ambang batas nilai PPV terhadap bangunan sekitar. Kondisi ini menjadi latar belakang topik penelitian, mengingat perlu adanya peledakan yang terkontrol untuk memperoleh usulan isian bahan peledak Anfo/delay agar dampak negatif dari operasi peledakan yang dilakukan tetap aman bagi lingkungan, peralatan tambang, pekerja dan bangunan sekitar.

1.2. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis hasil pengukuran *ground vibration* aktual pada operasi peledakan *quarry* di Sorowako *east* dan *west area* terhadap lingkungan sekitar.
2. Menganalisis dan mendapatkan rumusan prediksi *ground vibration* usulan berdasarkan teori *Scaled distance* menurut USBM, Langefors & Kihlstrom, Ambraseys – Hendron dan teori *multivariate regression analysis*.
3. Mendapatkan usulan maksimal isian bahan peledak Anfo per *delay* pada operasi peledakan *quarry* Sorowako *east* dan *west area*

II. DASAR TEORI

2.1. Getaran Tanah

Menurut Konya dan Walter (1990), peledakan menghasilkan dua jenis energi, yaitu *work energy* dan *waste energy*. *Work energy* merupakan energi peledakan yang menyebabkan terpecahnya batuan. Energi ini terbagi menjadi dua, yaitu *Shock energy* dan *gas energy*. Ketika peledakan terjadi, tidak semua energi yang dihasilkan ini disebut *waste energy*. *Waste energy* terdiri dari cahaya, panas, suara dan energi seismik. *Waste energy* (terutama *seismic*) dapat menimbulkan efek yang berbahaya dan tidak menguntungkan dalam kegiatan peledakan.

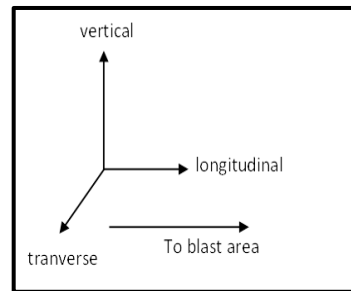
2.2. Gelombang Seismik

Konya dan Walter (1991), membagi gelombang seismik menjadi dua tipe gelombang yang dapat melewati medium elastik. Gelombang P dikenal dengan gelombang longitudinal, gelombang primer, dan gelombang kompresi yang merupakan gelombang yang arah perambatannya searah dengan gerak partikel. Sedangkan

untuk Gelombang S juga dikenal sebagai gelombang transversal, gelombang sekunder atau shear wave, yang arah rambat gelombang S ini tegak lurus terhadap gerak partikelnya.

Hasil pengukuran seismograf menampilkan tiga jenis gelombang, yaitu: gelombang vertikal (V), longitudinal atau radial (L), dan transversal (T). Masing – masing gelombang dapat diartikan sebagai berikut :

- a. Gelombang vertical (V) adalah gerakan partikel naik turun.
- b. Gelombnag longitudinal (L) adalah gerakan partikel sesuai dengan arah rambatan gelombang.
- c. Gelombang transversal (T) adalah gerakan partikel tegak lurus arah rambatan gelombang.



Gambar 1. Komponen Getaran

2.3. Faktor yang Mempengaruhi Tingkat Getaran Tanah

Getaran tanah hasil kegiatan peledakan dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu faktor yang dapat dikontrol dan yang tidak dapat dikontrol. Menurut Rosenthal & Marlock (1987) Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat getaran tanah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor yang Mempengaruhi Getaran Tanah

Variabel yang dapat dikontrol	Pengaruh terhadap tingkat getaran tanah		
	Signifikan	Sedang	Tidak Signifikan
Berat isian <i>per delay</i>	x		
<i>Delay Interval</i>	x		
Burden dan Spasi		x	
<i>Stemming</i> (jumlah)			x
<i>Stemming</i> (tipe)			x
Panjang isian dan diameter			x
Sudut lubang bor			x
Arah inisiasi		x	

Berat isian per peledakan			x
Kedalaman isian			x
<i>Bare vs Covered Primacord</i>			x
Kecocokan isian	x		
Variabel yang tidak dapat dikontrol	Pengaruh terhadap tingkat getaran tanah		
	Signifikan	Sedang	Tidak Signifikan
Keadaan umum daerah pemukiman			x
Tipe dan kedalaman <i>overburden</i>	x		
Kondisi angin dan hujan			x

2.4. Persamaan Peak Particle Velocity (PPV)

Getaran tanah yang dihasilkan dari kegiatan dapat diprediksi dengan menghubungkan hasil pengukuran getaran tanah dengan parameter-parameter peledakan yang mempengaruhinya, salah satu caranya adalah dengan menggunakan analisis regresi. Hubungan tersebut ditunjukkan oleh konsep *Peak Particle Velocity* (PPV) vs. *Scaled Distance* yang dikembangkan ke dalam hukum perambatan (*propagation law*) yang dinyatakan oleh US Bureau of Mines.

$$V = K[D_s]^m$$

$$D_s = \frac{R}{Q^{0,5}}$$

Beberapa penelitian yang menggunakan PPV sebagai kriteria yang paling berpengaruh antara lain :

1. USBM (Duvall & Fogelson, 1962)

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$V = K\left[\frac{R}{\sqrt{Q_{max}}}\right]^{-m}$$

2. Ambraseys-Hendron (1968)

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$V = K\left[\frac{R}{Q_{max}^{1/3}}\right]^{-m}$$

3. Langefors_Khilstrom (1978)

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$V = K\left[\frac{R^{3/4}}{Q_{max}^{1/2}}\right]^{-m}$$

Keterangan :

K = *Peak particle velocity* (mm/s)

Ds = *Scaled distance*

R = Jarak dari lokasi peledakan ke lokasi pengukuran (m)

Q = Berat isian bahan peledak maksimum per *delay* (kg)

K dan m = *Site constact*

Konstanta K dan m mempengaruhi tingkat getaran tanah hasil peledakan (*site factor*), kedua konstanta ini saling berhubungan satu sama lain. Hubungan antara konstanta K dan m adalah berbanding lurus, yang semakin besar nilai konstanta K, maka semakin besar pula nilai dari konstanta m, begitu pula sebaliknya. Hal ini disebabkan karena konstanta m merupakan hubungan antara geometri peledakan dan karakteristik batuan yang diledakan. Sedangkan konstanta K mengindikasikan besarnya energi hasil peledakan yang ditransferkan ke batuan sekitarnya, karena besar kecilnya pentransferan energi peledakan ke batuan dipengaruhi juga oleh karakteristik batuan tersebut terutama yang paling dominan adalah sifat mekanik batuan tersebut.

2.5. Analisis Regresi

Analisis regresi dapat membantu para peneliti untuk menganalisa hubungan antara variabel independen dan dependen. Variabel dependen atau variabel terikat, dalam penerapannya, merupakan *outcome* yang menjadi perhatian, sedangkan variabel independen atau variabel bebas merupakan sesuatu yang dibutuhkan untuk mencapai *outcome* tersebut (Rawlings, dkk., 1998).

Persamaan PPV didalam kajian statistik, dapat dianalisis menggunakan metode regresi non linear (*power*) pada program komputer. Berikut adalah

persamaan regresi *power* didalam kajian statistik secara umum (Irianto, 2012).

$$Y = a[X]^b$$

Keterangan :

Y = Variabel terikat

a = Konstanta

X = Variabel bebas

b = Konstanta

1. Koefesien Determinasi

Koefisien determinasi (R^2) adalah salah satu nilai statistik yang dapat digunakan untuk mengetahui apakah ada hubungan pengaruh antara dua variabel. Nilai koefisien determinasi menunjukkan persentase variasi nilai variabel terikat Y yang dapat dijelaskan oleh garis regresi yang dihasilkan (Khasanah, 2016).

2. Koefesien Korelasi

Koefisien korelasi merupakan ukuran untuk mengetahui keeratan hubungan antara satu variabel dengan variabel yang lain (Khasanah, 2016). Dua variabel dikatakan berkorelasi apabila perubahan dalam satu variabel diikuti oleh perubahan variabel lain, baik yang searah maupun tidak.

2.6. *Multivariate Regression Analysis*

Analisis regresi *multivariate* adalah analisis statistik yang dikenakan pada data yang terdiri dari banyak variabel dan antar variabel saling berkorelasi.. Misal data dari pengamatan pada p variabel, sehingga dapat disusun matriks dengan baris dan p kolom, dinotasikan X seperti berikut (Morrison, 2005).

Variate adalah suatu kombinasi linear dari variabel-variabel yang memiliki bobot empiris yang telah ditentukan. Suatu variate dari sejumlah n variabel yang terbobot (X_1 sampai dengan X_n).

Menurut Ahmad (2013), persamaan dasar dari regresi *multivariate* adalah :

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

Keterangan :

Y = Variabel terikat

X_i = Variabel bebas ; $i = 1, 2, \dots, n$

Rumusan di atas dapat dijabarkan menjadi matriks dengan rumusan kontanta dan koefesien sebagai berikut :

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

$$\hat{\beta} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & \dots & 1 \\ X_{11} & X_{12} & \dots & \dots & X_{115} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & \dots & X_{215} \\ X_{31} & X_{32} & \dots & \dots & X_{315} \\ X_{41} & X_{42} & \dots & \dots & X_{415} \\ X_{51} & X_{52} & \dots & \dots & X_{515} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & \dots & 1 \\ X_{11} & X_{12} & \dots & \dots & X_{115} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & \dots & X_{215} \\ X_{31} & X_{32} & \dots & \dots & X_{315} \\ X_{41} & X_{42} & \dots & \dots & X_{415} \\ X_{51} & X_{52} & \dots & \dots & X_{515} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \\ Y_5 \end{pmatrix}$$

Keterangan :

$\hat{\beta}$ = Konstanta dan Koefesien

X = Matriks variabel bebas

X^T = Matriks transpose variabel bebas

Y = Matriks variabel terikat

2.7. Standar Baku Tingkat Getaran Tanah

Standar Nasional Indonesia Nomor 7571 Tahun 2010 menetapkan baku tingkat getaran kejut pada beberapa jenis bangunan seperti bangunan kuno, bangunan dengan pondasi, dan lain sebagainya dapat dilihat pada Tabel 2.

Kelas	Jenis Bangunan	Peak Vector Sum (mm/s)
1	Bangunan kuno yang dilindungi undang-undang benda cagar budaya (UU No. 6 Tahun 1992)	2
2	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen saja, termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberi adukan semen	3
3	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen diikat dengan slope beton	5
4	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen slope beton, kolom dan rangka diikat dengan ring balk	7-20
5	Bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen, slope beton, kolom dan diikat dengan rangka baja	12-40

T
abe
l 2.
Ba
ku
Tin
gka
t
Get
ara
n
Pel
eda
kan

Pada Tambang Terbuka

III. HASIL PENELITIAN

3.1. Parameter Peledakan Quarry

Pada kegiatan peledakan ada beberapa faktor – faktor yang dapat

mempengaruhi sebagai parameter peledakan antara lain :

1. Faktor – faktor yang dapat dikendalikan oleh manusia , yaitu : (Tabel 3).

Tabel 3. Parameter Peledakan

Parameter	Sorowako East	Sorowako West
Pola Pengeboran	<i>Pararel dan Staggered pattern</i>	
Arah dan Kemiringan lubang ledak	Lubang ledak tegak	
Diameter lubang ledak	5 inch	5,5 inch
<i>Loading Density</i>	11,5 kg/m	10,16 kg/m
Burden	4 m	5 m
Spasi	5 m	5 m
Kedalam Lubang Ledak	9 m	
<i>Stemming</i>	5,1 m	4,5 m
<i>Powder Charge</i>	3,9 m	4,5 m
<i>Powder Factor</i>	0,25 kg/BCM	0,2 kg/BCM
<i>Surface delay</i>	42 dan 67 ms	
<i>Inhole delay</i>	500 ms	
<i>Lead in line</i>	2000 ms	
Pola Rangkaian Peledakan	<i>Row by row, hole by hole dan echelon cut</i>	
<i>Booster</i>	Dinamit dayagel Extra 100 g	

Bahan peledak yang digunakan adalah Anfo (*Ammonium Nitrate Full Oil*) yaitu campuran antara *Ammonium Nitrate (AN)* sebagai zak pengoksida dan *Fuel Oil*

(*FO*) sebagai bahan bakar dengan perbandingan campuran AN (94,5%) dan FO (5,5%) yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Anfo

2. Faktor – faktor yang tidak dapat dikendalikan oleh manusia , yaitu karakteristik batuan :

Adapun data sampel batuan pada penelitian ini berdasarkan uji *point load*

index dan *unit weight method* yang dilakukan *Departemen Geotechnical & hidrology* dengan mayoritas tipe batuan beku peridotit (*dunite*) yang dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 4. Data Sampel Batuan Hasil Pengujian Laboratorium Sorowako West

Quarry	Tanggal	Depth (m)	Avg Densitas Asli (g/cm ³)	Avg Is (50) (MPa)	Avg UCS (MPa)
Lembo	20/2/20	24 – 25	12,07	10,92	251,25
Manggali	20/2/20	27 – 28,5	3,28	4	92,02
Konde	18/2/20	16,4 – 17,6	4,04	3,22	74,13
Rata – rata			6,46	6,05	139,13

Tabel 5. Data Sampel Batuan Hasil Pengujian Laboratorium Sorowako East

Quarry	Tanggal	Depth (m)	Avg Densitas Asli (g/cm ³)	Avg Is (50) (Mpa)	Avg UCS (Mpa)
Pinang Balaba	19/2/20	13,6 – 14,05	3,04	1,05	24,26
Tonea Terry	18/2/20	18 – 19	3,2	0,8	18,3
Rata – rata			3,12	0,92	21,28

3.2. Hasil Pengukuran di Lapangan

Pengukuran *ground vibration* di lapangan bertujuan untuk mengetahui *Peak Particle Velocity* akibat peledakan. Data PPV primer pada bulan Februari - Maret 2020 selama penelitian berlangsung dan

data skunder pada bulan Desember 2019 – Januari 2020. Data tersebut kemudian digunakan sebagai data untuk analisis regresi persamaan rumus PPV prediksi yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Pengukuran *Ground Vibration*

Sorowako West									
Tanggal	Quarry	H (m)	N (Hole)	Q (Kg)	R (m)	PPV (mm/s)	Scaled Distance		
							USBM (1962)	AH (1968)	LF (1973)
29/12/2019	Manggali	5,32	50	78,4	423	2,57	47,77	110,28	10,53
27/12/2019	Manggali	5,7	28	111,05	800	0,75	75,92	169,07	14,27
09/01/2020	Lembo	6,32	74	117,8	410	3,37	37,78	84,98	8,39
13/01/2020	Anoa North	5,42	42	89,6	370	1,35	39,09	83,93	8,91
17/01/2020	Nickel Hill	8,84	65	198,38	510	2,99	36,21	89,00	7,62
20/01/2020	Manggali	5,74	60	154,26	435	2,6	35,02	82,48	7,67
23/01/2020	Anoa North	5,47	45	108,48	590	1,53	56,65	125,66	11,49
07/02/2020	Lembo	5,12	70	97,45	475	1,76	48,12	104,81	10,31
12/02/2020	Lembo	4,98	54	94,65	435	2,81	44,71	96,91	9,79
17/02/2020	Anoa North	6,27	48	144,48	718	0,85	59,73	139,12	11,54
21/02/2020	Manggali	5,47	59	105,48	600	1,79	58,42	128,97	11,80
25/02/2020	Nickel Hill	6,68	60	226,94	746	1,28	49,52	124,53	9,48
27/02/2020	Watu Labu	3,31	36	77,65	318	4,83	36,09	75,63	8,55
28/02/2020	Nickel Hill	6,24	43	241,76	250	5,34	16,08	40,87	4,04
09/03/2020	Anoa North	8,02	55	186,42	648	1,08	47,46	115,43	9,41
Sorowako East									
26/11/2019	Nayoko	8,49	50	186	150	6,79	11,00	26,74	3,14
03/12/2019	Tonea Terry	7,35	56	338,8	710	1,25	38,57	103,84	7,47
10/12/2019	Tonea Terry	8,96	60	166,4	476	2,39	36,90	88,03	7,90
17/12/2019	Tonea Terry	7,93	71	67	180	6,672	21,99	44,94	6,00

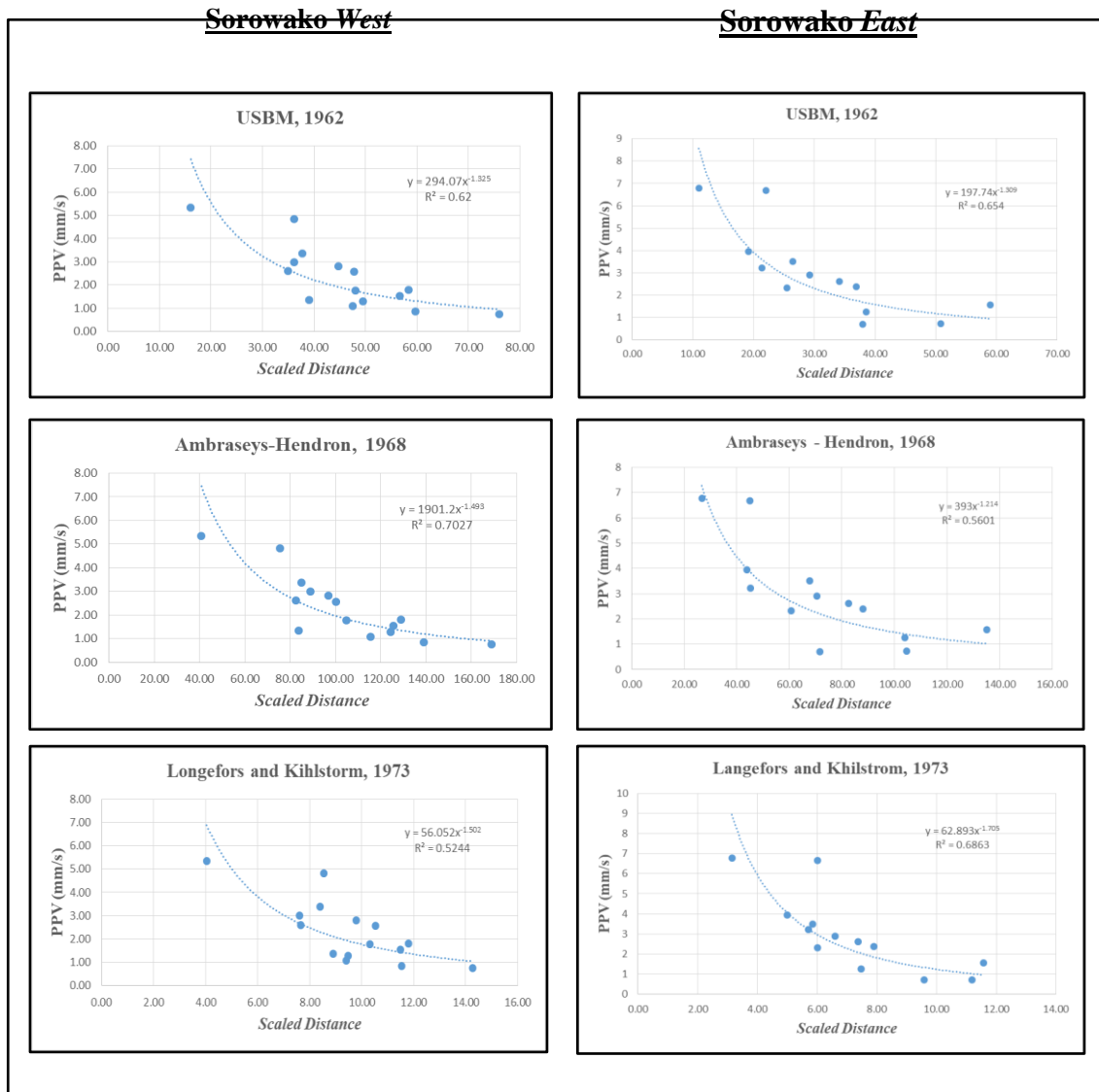
27/12/2019	Nayoko	6,12	61	42	246	0,708	37,96	71,66	9,58
30/12/2019	Nayoko	8,79	55	70	425	0,72	50,80	104,59	11,19
07/01/2020	Nayoko	6,44	45	131,2	675	1,57	58,93	135,02	11,56
14/01/2020	Tonea Terry	7,67	52	164	327	2,32	25,53	60,76	6,00
21/01/2020	Tonea Terry	6,79	66	180,6	458	2,62	34,08	82,44	7,37
28/01/2020	Tonea Terry	6,60	72	176,52	389	2,9	29,28	70,55	6,59
04/02/2020	Tonea Terry	7,17	75	252,08	420	3,5	26,45	67,72	5,84
18/02/2020	Tonea Terry	6,72	54	129,45	218	3,95	19,16	43,80	4,99
04/03/2020	Tonea Terry	7,21	45	83,52	195	3,21	21,34	45,27	5,71

Catatan : **H : Kedalam Lubang, N : Jumlah Lubang, Q : Isian Bahan peledak, R : jarak, AH : Ambraseys – Hendron, LK : Langefors & Kihlstorm

3.3. Rumusan Prediksi *Peak Particle Velocity (PPV)* Berdasarkan Teori *Scaled Distance*

Hubungan antara nilai *Scale Distance* dan

Peak Particle Velocity (PPV) dapat dilihat pada grafik berikut : (Gambar 3).



Gambar 3. Grafik hubungan *Scale Distance* (SD) dan *Peak Particle Velocity* (PPV)

3.4.

Rumusan Prediksi *Peak Particle Velocity* (PPV) Berdasarkan Teori *Multivariate Regression Analysis*

Rumusan prediksi *Peak Particle Velocity* (PPV) berdasarkan pendekatan teori *multivariate regression analysis* yang dibantu menggunakan program komputer *excel* 2016 dan *SPSS*. Variabel yang digunakan adalah variabel terikat yaitu PPV, sedangkan variabel bebas yang memengaruhi variabel terikat diantaranya jarak, isian bahan peledak dalam satu *delay*, jumlah lubang ledak, dan kedalaman lubang ledak.

Berdasarkan penggunaan rumus regresi *multivariate* $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$, data dari variabel bebas yang sudah dirubah dalam skala log natural kemudian diolah dan menghasilkan nilai konstanta dan koefisien.

Berdasarkan nilai konstanta dan koefisien dari hasil regresi, dapat diketahui rumusan regresi sebagai berikut :

$$\log PPV \text{ West} = 5,689 + 0,708 \log N - 0,907 \log L + 0,482 \log Q - 1,380 \log R$$

$$\log PPV \text{ East} = 0,387 + 0,680 \log N + 0,510 \log L + 0,782 \log Q - 1,221 \log R$$

Kemudian dari persamaan regresi tersebut dengan menggunakan perhitungan logaritma, persamaan PPV berdasarkan pendekatan teori *multivariate regression analysis* sebagai berikut :

$$PPV \text{ West} = \frac{N^{0,708} Q^{0,482}}{L^{0,907} R^{1,380}} = 295,722$$

$$PPV \text{ East} = \frac{N^{0,680} L^{0,510} Q^{0,782}}{R^{1,221}} = 1,473$$

3.5. Analisa Rumusan *Peak Particle Velocity* (PPV)

Analisa Rumusan *Peak Particle Velocity* (PPV) dilakukan tanpa menghilangkan beberapa data yang dianggap memiliki anomali yang kemudian didapatkan rumusan untuk mencari *Peak Particle Velocity* (PPV) berdasarkan teori *scaled distance* dan *multivariate regression analysis*.

Tabel 7. Analisa Rumusan Prediksi *Peak Particle Velocity* (PPV) Berdasarkan Teori *Scaled Distance*

Equation	Blok	Site parameter		R ²	Keterangan Koefesien	
		K	m		Determinasi	Korelasi
USBM (1962)	West	294,07	-1,325	0,62	Fair	Kuat
	East	197,74	-1,309	0,654	Fair	Sangat Kuat
Ambraseys – Hendron (1968)	West	1901,2	-1,493	0,7027	Significant	Sangat Kuat
	East	393	-1,214	0,5601	Poor	Kuat
Langefors – Khilstrom (1973)	West	56,052	-1,502	0,5244	Poor	Kuat
	East	62,893	-1,705	0,6863	Fair	Sangat Kuat

Tabel 8. Analisa Rumusan Prediksi *Peak Particle Velocity* (PPV) Berdasarkan Teori *Regression Multivariate Analysis*

Equation	Blok	Constanta dan Coefficient					R ²	Keterangan Koefesien	
		β ₀	β ₁	β ₂	β ₃	β ₄		Determinasi	Korelasi
MVRA	West	5,689	0,708	-0,907	0,482	-1,380	0,793	Significant	Sangat Kuat
	East	0,387	0,680	0,510	0,782	-1,221	0,705	Significant	Sangat Kuat

Persamaan diatas kemudian digunakan untuk menghitung nilai PPV prediksi dengan cara membandingkan hasil perhitungan Prediksi PPV. Hal ini bertujuan untuk melakukan kecocokan antara PPV aktual dan PPV prediksi menurut teori *scale distance* dan regresi *multivariate* untuk

mendapatkan persen kesalahan relatif rata – rata terkecil dan nilai R^2 (koefisien determinasi) terbesar. Koefisien determinasi menunjukkan angka kecocokan data dalam bentuk titik terhadap garis regresi yang dibentuk, semakin mendekati 1 artinya regresi tersebut semakin signifikan.

Tabel 9. Rumusan Prediksi *Peak Particle Velocity* (PPV) Sorowako West

Teori	Persamaan	R^2	Persen Kesalahan Relatif Rata- Rata (%)
USBM (Duvall & Fogelson, 1962)	$294,07[\frac{R}{\sqrt{Q}}]^{-1,325}$	0,62	31,63
Ambraseys – Hendron (1968)	$1901,2[\frac{R}{Q^{1/3}}]^{-1,493}$	0,7027	28,11
Langefors - Khilstrom (1978)	$56,052[\frac{R^{3/4}}{Q^{1/2}}]^{-1,502}$	0,5244	34,76
<i>Multivariate Regression Analysis</i>	$295,722 \frac{N^{0,708}, Q^{0,482}}{L^{0,907}, R^{1,380}}$	0,793	22,36

Tabel 10. Rumusan Prediksi *Peak Particle Velocity* (PPV) Sorowako East

Teori	Persamaan	R^2	Persen Kesalahan Relatif Rata- Rata (%)
USBM (Duvall & Fogelson, 1962)	$197,74[\frac{R}{\sqrt{Q}}]^{-1,309}$	0,654	36,79
Ambraseys – Hendron (1968)	$393[\frac{R}{Q^{1/3}}]^{-1,214}$	0,5601	42,25
Langefors - Khilstrom (1978)	$62,893[\frac{R^{3/4}}{Q^{1/2}}]^{-1,705}$	0,6863	32,09
<i>Multivariate Regression Analysis</i>	$1,473 \frac{N^{0,680}, L^{0,510}, Q^{0,782}}{R^{1,221}}$	0,705	30,99

IV. PEMBAHASAN

4.1. Analisis *Ground Vibration Terhadap Lingkungan*

Berdasarkan SNI 7571 tahun 2010 mengenai baku tingkat getaran untuk Sorowako west nilai PPV aktual yang dihasilkan tidak melebihi dari batas aman getaran. Bangunan dan fasilitas tambang pada Sorowako west sudah diatas golongan kelas III yaitu bangunan dengan pondasi,

pasangan bata dan adukan semen diikat dengan slope beton dengan batas aman PPV 5 mm/s yang dapat dilihat pada Gambar 4, selain itu juga bangunan dan fasilitas tambang yang masuk kedalam radius *safe distance* selama penelitian berlangsung hanya *quarry* Lembo selebihnya pada *quarry* lain bangunan atau fasilitas tambang tidak ditemukan, sehingga peledakan dapat dikatakan aman.



Gambar 4. Bangunan Gudang Handak Lama

Nilai PPV pada Sorowako *east* telah mencapai 3,5 mm/s di jarak 420 meter pada *quarry* Tonea Terry, mengingat telah masuknya kebun merica dan beberapa bangunan warga ke dalam radius *safe distance* peledakan. Berdasarkan SNI 7571 tahun 2010 mengenai baku tingkat getaran, bangunan yang terdapat pada *quarry* Tonea terry yaitu bangunan golongan terendah kelas II dimana jenis bangunan dengan pondasi, pasangan bata dan adukan semen saja, termasuk bangunan dengan pondasi dari kayu dan lantainya diberi adukan semen, dengan nilai batas aman PPV yaitu 3 mm/s yang dapat dilihat pada Gambar 5, walaupun efek getaran yang terjadi cukup kecil dan belum adanya warga yang memprotes dari kegiatan peledakan tersebut namun dengan paparan setiap harinya maka akan menyebabkan kerusakan sedikit demi

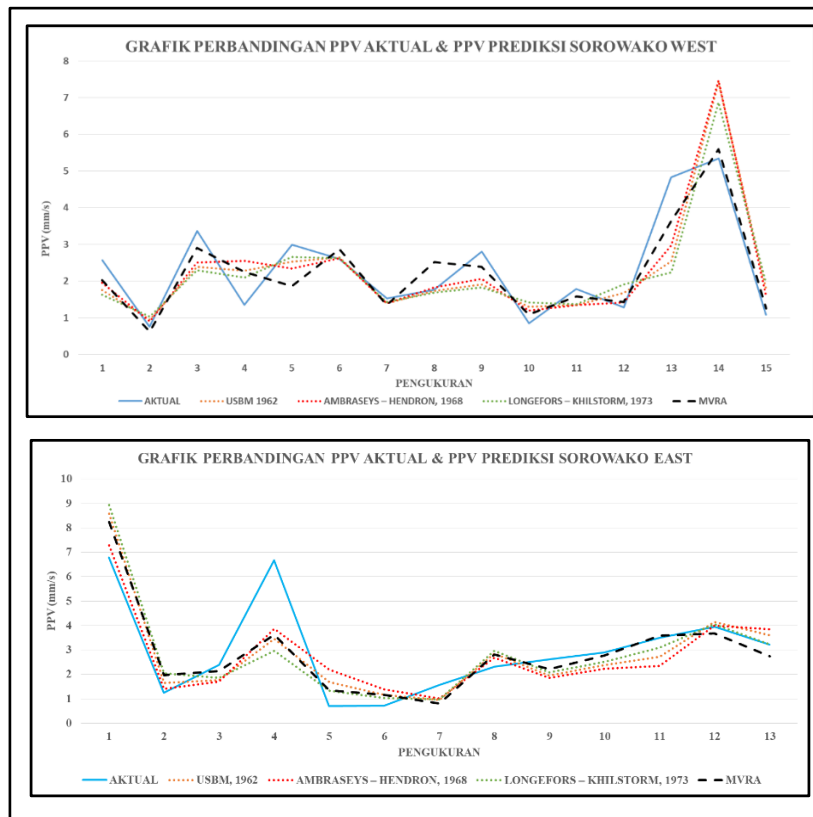
sedikit dan akhirnya terjadi kerusakan pada bangunan dan mengganggu hasil panen kebun warga jika tidak dikontrol, sehingga peledakan dapat dikatakan tidak aman.



Gambar 5. Kebun dan Bangunan Warga

4.2. Usulan Rumusan Prediksi *Ground Vibration*

Berikut adalah grafik perbandingan antara PPV aktual dan PPV prediksi dari setiap rumusan prediksi yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Perbandingan PPV Aktual dan PPV Prediksi Sorowako

Rumusan prediksi *Peak Particle Velocity* (PPV) yang diusulkan untuk Sorowako *west* dan *east* adalah hasil analisa rumusan PPV yang mempunyai nilai R^2 (koefisien determinasi) terbesar dan persen kesalahan relatif rata – rata terkecil. Berdasarkan teori *scaled distance* yang memiliki dua faktor yang mempengaruhi *ground vibration* yaitu jarak dan isian bahan peledak/*delay*, sehingga menghasilkan rumusan prediksi usulan yaitu rumusan prediksi Ambraseys – Hendron (1968) dengan nilai R^2 (koefisien determinasi) 0,7027 (*significant*) yang sisanya dipengaruhi oleh faktor lain dengan persen kesalahan relatif rata - rata 28,11 % untuk Sorowako *west*. Pada Sorowako *east* rumusan prediksi yang diusulkan yaitu rumusan prediksi Langefors - Khilstrom (1978) dengan nilai R^2 (koefisien determinasi) 0,6863 (*fair*) yang sisanya dipengaruhi oleh faktor lain dengan persen kesalahan relatif rata – rata 32,09 %.

Berdasarkan teori *multivariate regression analysis* nilai R^2 (koefisien determinasi) yang dihasilkan untuk Sorowako *west* adalah 0,793 (*significant*) dengan persen kesalahan relatif rata – rata 22,36 %, sedangkan Sorowako *east* menghasilkan nilai R^2 (koefisien determinasi) sebesar 0,705 (*significant*) dengan persen kesalahan relatif rata – rata 30,99 %. Rumusan prediksi *Peak Particle Velocity* (PPV) berdasarkan teori *regression multivariate analysis* mengalami kenaikan pada nilai R^2 (koefisien determinasi) serta penurunan persen kesalahan relatif rata – rata dibandingkan dengan teori *scaled distance*, hal tersebut disebabkan karena adanya penambahan dua faktor yang mempengaruhi nilai PPV yaitu jumlah lubang ledak dan kedalaman lubang ledak. Semakin banyak faktor yang mempengaruhi *ground vibration* yang dimasukkan ke dalam rumusan prediksi, maka nilai PPV prediksi yang dihasilkan akan lebih mendekati nilai PPV aktual, sehingga dapat disimpulkan usulan rumusan prediksi *Peak Particle Velocity* (PPV) yang dapat digunakan adalah rumusan prediksi *Peak Particle Velocity*

(PPV) berdasarkan teori *multivariate regression analysis*.

Adapun kedua rumusan tersebut yang dapat digunakan sebagai acuan dalam menghitung prediksi PPV dan usulan isian bahan peledak peledakan *quarry* selanjutnya. Persamaan PPV prediksi usulan sebagai berikut :

$$PPV \text{ Sorowako } west \\ = 295,722 \frac{N^{0,708} \cdot Q^{0,482}}{L^{0,907} \cdot R^{1,380}}$$

$$PPV \text{ Sorowako } east \\ = 1,473 \frac{N^{0,680} \cdot L^{0,510} \cdot Q^{0,782}}{R^{1,221}}$$

Keterangan :

PPV	= <i>Peak Particle Velocity</i> (mm/s)
Q	= Maksimum <i>Charge per delay</i> (kg)
R	= Jarak <i>blast face</i> ke titik pengukuran (m)
N	= Jumlah lubang ledak
L	= Kedalaman lubang ledak (m)

4.3. Usulan Isian Bahan Peledak ANFO Berdasarkan Rumusan Prediksi

Berdasarkan hasil dari rumusan prediksi usulan dengan teori *multivariate regression analysis* untuk *ground vibration*, kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan isian bahan peledak maksimal per *delay* pada Sorowako *west* dan Sorowako *east* agar menjadi acuan kegiatan peledakan yang tidak menimbulkan efek *ground vibration* yang melebihi ambang batas bangunan pada area sekitar sesuai dengan SNI 7571 : 2010, usulan isian bahan peledak maksimal diprediksi untuk jarak 100 sampai 700 m dengan kelipatan 50 m.

Geometri ideal untuk Sorowako *west* 4 m × 5 m × 9 m, *powder charge* 3,9 m, *loading density* 11,5 kg/m dan *powder factor* 0,25 kg/BCM, sehingga batas maksimal isian bahan peledak ANFO per lubang sebesar 44,85 kg dengan rata-rata jumlah lubang ledak sebanyak 53 lubang. Usulan isian bahan peledak ANFO untuk Sorowako *west* dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Usulan Isian Bahan Peledak Sorowako *West*

Usulan Isian Bahan Peledak				
Jarak (m)	PPV (mm/s)	Charge/delay (kg/delay)	Charge/hole (kg/hole)	Max Overlap Holes (Hole/delay)
100	5	20,41	20,41	0
150	5	65,08	44,85	1
200	5	148,17	44,85	3
250	5	280,46	44,85	6
300	5	472,40	44,85	10
350	5	734,09	44,85	16
400	5	1075,44	44,85	24
450	5	1506,14	44,85	33
500	5	2035,71	44,85	45
550	5	2673,52	44,85	59
600	5	3428,83	44,85	76
650	5	4310,75	44,85	96
700	5	5328,31	44,85	118

Geometri ideal untuk Sorowako *east* 5 m × 5 m × 9 m, *powder charge* 4,5 m, *loading density* 10,1 kg/m dan *powder factor* 0,2 kg/BCM, sehingga batas maksimal isian bahan peledak ANFO per

lubang sebesar 45,45 kg dengan rata - rata jumlah lubang ledak sebanyak 59 lubang. Usulan isian bahan peledak ANFO untuk Sorowako *east* dapat dilihat Tabel 12.

Tabel 12. Usulan Isian Bahan Peledak Sorowako *East*

Usulan Isian Bahan Peledak				
Jarak (m)	PPV (mm/s)	Charge/delay (kg/delay)	Charge/hole (kg/hole)	Max Overlap Holes (Hole/delay)
100	3	22,69	22,69	0
150	3	42,72	42,72	1
200	3	66,92	45,45	1
250	3	94,80	45,45	2
300	3	126,01	45,45	3
350	3	160,28	45,45	4
400	3	197,41	45,45	4
450	3	237,24	45,45	5
500	3	279,64	45,45	6
550	3	324,49	45,45	7
600	3	371,68	45,45	8
650	3	421,14	45,45	9
700	3	472,77	45,45	10

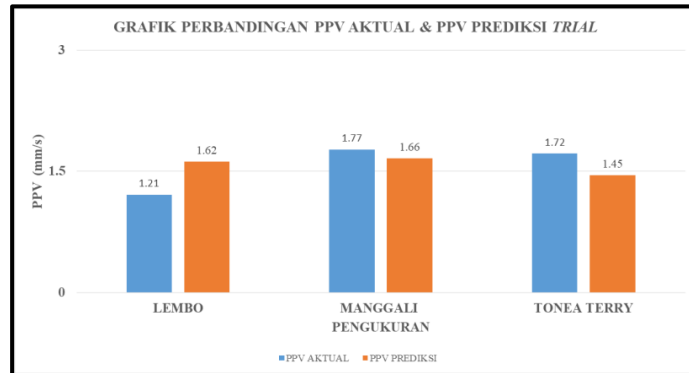
Adapun hasil analisa peledakan *trial*, bahwa usulan rumusan prediksi *Peak Particle Velocity* (PPV) dan usulan bahan peledak maksimum per *delay* dapat diterapkan oleh perusahaan pada Sorowako *west* dan Sorowako *east* sehingga dapat menjadi acuan dalam kegiatan peledakan *quarry* selanjutnya.

Dari Tabel 13 dapat diketahui bahwa nilai PPV aktual telah di bawah ambang batas bangunan, nilai persen kesalahan sebesar 18,72 % dengan jumlah data 3 (tiga) titik pengukuran. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai PPV prediksi mendekati nilai PPV aktual, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 7.

Tabel 13. Hasil Pengukuran Peledakan *Trial*

Quarry	TGL	Lokasi Pengukuran	Batas Aman SNI (mm/s)	R (m)	Q (kg)	N (hole)	L (m)	PPV Prediksi (mm/s)	PPV Aktual (mm/s)	Persen Kesalahan Relatif (%)
Lembo (West)	02/03 2020	Gudang Handak lama	5	400	63,3	40	5,53	1,62	1,21	34,25

Manggali (West)	11/03 2020	Jalan Angkut	-	300	24,12	51	6,04	1,66	1,77	6,09
Tonea Terry (east)	10/03 2020	Kebun Warga	3	412	76	60	9,8	1,45	1,72	15,83
Rata – rata										18,72



Gambar 7. Grafik Perbandingan PPV Aktual dan PPV Prediksi Trial

Grafik di atas menunjukkan bahwa antara PPV prediksi dan PPV aktual, perbedaan nilai *ground vibration* yang dihasilkan tidak mengalami perbedaan yang besar. Ketiga pengamatan yang dilakukan juga tidak melebihi batas jumlah bahan peledak yang diusulkan sehingga nilai *ground vibration* yang dihasilkan pun tidak melewati batas yang ditetapkan.

Jika dilihat pada Tabel 13, nilai getaran tanah yang dihasilkan khususnya pengukuran yang dilakukan di kebun warga menunjukkan nilai getaran tanah yang tidak melebihi 3 mm/s, yaitu pada jarak 412 meter menghasilkan nilai PPV aktual sebesar 1,72 mm/s dengan nilai PPV prediksi sebesar 1,45 mm/s, sehingga dengan mengacu pada SNI 7571 : 2010 nilai getaran tanah yang dihasilkan dapat dikatakan telah aman.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Hasil analisis *ground vibration* dalam operasi peledakan *quarry* yang mengacu pada SNI 7571 : 2010 pada Sorowako west tergolong aman tercatat nilai *Peak Particle Velocity* (PPV) aktual selama penelitian berlangsung tidak melebihi batas aman bangunan golongan kelas III. Hasil analisis *ground vibration* pada Sorowako east tergolong tidak aman tercatat nilai PPV *quarry* Tonea terry

mencapai 3,5 mm/s pada jarak 420 meter dan telah melebihi batas bangunan golongan kelas II.

2. Rumusan prediksi *Peak Particle Velocity* (PPV) yang diusulkan untuk Sorowako west dan east adalah rumusan prediksi berdasarkan teori *multivariate regression analysis* dengan persamaan :

$$a) \text{ PPV Sorowako west} = 295,722 \frac{N^{0,708} Q^{0,482}}{L^{0,907} R^{1,380}}$$

$$b) \text{ PPV Sorowako east} = 1,473 \frac{N^{0,680} L^{0,510} Q^{0,782}}{R^{1,221}}$$

3. Usulan isian maksimum bahan peledak anfo per *delay* yang dapat dijadikan acuan oleh perusahaan pada operasi peledakan *quarry* selanjutnya untuk Sorowako west dengan bangunan kelas III yaitu jarak 100 meter sebanyak 20,41 kg/*delay* dan jarak 700 meter sebanyak 5328,31 kg/*delay*, sementara untuk Sorowako east dengan bangunan kelas II yaitu jarak 100 meter sebanyak 22,69 kg/*delay* dan jarak 700 meter sebanyak 472,77 kg/*delay*.

5.2. Saran

1. Analisa lebih lanjut mengenai faktor - faktor yang mempengaruhi *ground*

- vibration* terhadap rumusan prediksi *Peak Particle Velocity* (PPV).
2. Dilakukan pengurangan *charge/delay* sesuai dengan batas lubang yang meledak secara bersamaan, agar nilai *ground vibration* yang dihasilkan tidak melebihi batas aman bangunan sekitar.

DAFTAR PUSTAKA

- Sukamto, R. (1975). *Perkembangan Tektoknik di Sulawesi dan Daerah Sekitarnya, Suatu Sintesis Perkembangan Berdasarkan Tektoknik Lempeng*. Majalah IAGI, (2) 1 : 1-13.
- Golightly, J.P. (1979). *Geology of Soroako Nickleliferous Laterite Deposits*. INCO Metals Company. Canada
- Jimeno, C. L. (1995). *Drilling and Blasting of Rocks*. Rotterdam : A. A. Balkema Publishers.
- Hustrulid, William. (1999). *Blasting Principles For Open Pit Mining Volume 1*. Rotterdam : A. A. Balkema Publishers.
- Bhandari, Sushil. (1997). *Engineering Rock Blasting Operation*. Rotterdam : A. A. Balkema Publishers.
- Konya, J.C & Walter, J.E. (1990). *Surface Blast Design*. New Jersey : Seismological Observatory John Carroll University.
- Konya J.C & Walter, J.E. (1991). *Rock Blasting and Over Break Control*. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Office of Implementation.
- Saptono, S. (2006). *Teknik Peledakan*. Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknologi Mineral. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
- Devine, et. Al. (1966). *Effect of Charge Weight on Vibration Levels From Quarry Blasting*. Bureau of Mines. USA
- Hossaini, S.M.F & Sen, G. C. (2006). *A study of The Influence Of Different Blasting Modes and Explosive Type on Ground Vibrations*. Iranian Journal of Science & Technology, Vol. 30, No. B3.
- Zaidan, et. Al (2018). *Analisis Ground Vibration pada Pembongkaran Overburden Terhadap Pemukiman Penduduk di PIT Paringin PT Bukit Makmur Mandiri Utama Jobsite PT Adaro Indonesia*. Jurnal Geosapta vol. 4 No. 2.
- Himanshu, Vivek K. (2018). *Multivariate Statistical Analysis Approach for Prediction of Blast-Induced Ground Vibration*. Arabian Journal of Geoscience, Vol. 11 : 460.
- Rawlings, J. A., S.G. Pantula, D. A. Dickey. (1998). *Applied Regression Analysis : A Research Tool 2nd ed*. Springer. USA.
- Khasanah, U. (2016). *Analisis Regresi*. Program Studi Pendidikan Matematika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan UAD Yogyakarta.
- Walpole, Ronald E. (1993). *Pengantar Statistika Edisi ke 3*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Umum.
- Supardi. (2013). *Aplikasi Statistika dalam Penelitian*. Jakarta : Smart
- Jaiswal, A. K & Anju K. (2009). *A Text Book of Computer Based Numerical and Statistical Technique*. New Age International Limited Publishers.
- Rencher, A. C. (2002). *Methods of Multivariate Analysis 2nd Edition*. John Wiley & Sons. Canada.
- Mattjik, Ahmad A. (2013). *Perencanaan*

Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab. Bogor : PT Penerbit IPB Press.

Tingkat Getaran Peledakan Pada Kegiatan Tambang Terbuka terhadap Bangunan. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia. (2010). *Baku*