

Optimalisasi Penggunaan Bahan Peledak untuk Mengurangi *Ground Vibration* dan *Flying Rock* (Studi Kasus Infrastruktur Jalur Kereta Cepat Jakarta-Bandung di CV Panghegar Blok Gunung Patapaan, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat)

Giri Waluyo Nugraha*, Yuliadi, Dudi Nasrudin Usman

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*nugrahagiri123@gmail.com, yuliadi@unisba.ac.id, dudinasrudin@unisba.ac.id

Abstract. Examples of negative impacts can be found in explosive activities such as ground vibration and fly rock. There needs to be a study of the negative impact of the explosion on the site of the study, given that the location of the research with the national vital objects of the Indonesia-China High Speed Train infrastructure is close enough that the negative effects of the blast could affect the infrastructure. The purpose of this study is, among other things, to evaluate the use of explosives so that the negative impact of the explosion does not occur. The evaluation is based on the parameters that could result in increased ground vibration and fly rock. Basic analysis in this study is based on the determination by the KCIC with a vibration rate of 25 mm/s and Kepmen ESDM 1827 K/30/MEM/2018 on the safe range of explosion. The research was based on linking the Peak Vector Summary parameters to the Scaled Distance that would produce explosion constants of K and e. After that, a load of explosives per delay time is obtained that can still be used and a simulation of the stemming used to reduce the fly rock. From the results of this survey it is clear that the negative impact of the resulting explosion on the research site as a whole does not exceed the threshold value for the national infrastructure of vital objects. Parameters that influence the negative impact of an explosion are the distance, explosion geometry, and the load of the explosives. Recommended loading of explosives to reduce ground vibration at the nearest mining site to the infrastructure of national vital objects of 40,19 kg, while the recommended loading for explosive material to reduce excess fly rock of 9 kg to 9,47 kg.

Keywords: *Indonesia-China High Speed Train, Ground Vibration, Fly Rock.*

Abstrak. Contoh dampak negatif yang dapat ditemui dalam kegiatan peledakan seperti *ground vibration* dan *fly rock*. Perlu adanya penelitian dampak negatif peledakan pada lokasi penelitian, mengingat lokasi penelitian dengan objek vital nasional yaitu infrastruktur Kereta Cepat Indonesia-China cukup dekat sehingga dampak negatif peledakan dapat mempengaruhi infrastruktur tersebut. Maksud dari penelitian ini antara lain adalah untuk mengevaluasi penggunaan bahan peledak agar tidak terjadinya dampak negatif peledakan. Evaluasi yang dilakukan berdasarkan parameter yang dapat mengakibatkan terjadinya peningkatan *ground vibration* dan *fly rock*. Acuan dasar dalam menganalisis dalam penelitian ini berdasarkan ketentuan pihak KCIC dengan tingkat getaran 25 mm/s dan Kepmen ESDM 1827 K/30/MEM/2018 tentang jarak aman peledakan. Penelitian dilakukan berdasarkan menghubungkan parameter *Peak Vector Summary* dengan *Scaled Distance* yang akan menghasilkan konstanta peledakan berupa K dan e. Setelah itu didapatkan muatan bahan peledak per waktu tunda yang masih dapat digunakan dan simulasi *stemming* yang digunakan mereduksi *fly rock*. Dari hasil penelitian ini dapat diketahui, dampak negatif peledakan yang dihasilkan pada lokasi penelitian secara keseluruhan tidak melebihi nilai ambang batas untuk infrastruktur objek vital nasional. Parameter yang berpengaruh pada dampak negatif peledakan adalah jarak, geometri peledakan, dan muatan bahan peledak. Rekomendasi muatan bahan peledak untuk mengurangi *ground vibration* pada terdekat lokasi penambangan hingga infrastruktur objek vital nasional sebesar 40,19 kg. Sedangkan rekomendasi muatan bahan peledak untuk mengurangi *fly rock* berlebihan sebesar 9 kg hingga 9,47 kg.

Kata Kunci: *Kereta Cepat Indonesia-China, Ground Vibration, Fly Rock.*

A. Pendahuluan

Peledakan adalah kegiatan dari penghancuran struktur batuan sebagai akibat dari adanya efek fisik yang berurutan dari bahan peledak. Kegiatan peledakan ini biasanya digunakan pada kegiatan tambang terbuka jika ditemukan kondisi massa batuan yang sifatnya massif untuk dibongkar sehingga dapat berpengaruh pada produktivitas alat gali muat. Selain untuk pembongkaran batuan, peledakan juga bertujuan untuk membuat rekahan dan melepas batuan dari batuan induknya agar proses dari pembongkaran batuan dapat berjalan secara efektif (1).

Ground vibration atau yang biasa dikenal sebagai getaran tanah akibat peledakan adalah gelombang yang merambat dalam tanah karena adanya sumber energi, yang bisa berasal dari peristiwa alam seperti gempa bumi atau aktivitas manusia seperti peledakan dalam operasi penambangan bahan galian (2). Getaran tanah terjadi di daerah elastis, sesuai dengan sifat elastis material yang membuat volume kembali ke kondisi semula setelah tegangan berhenti. Tegangan yang merambat di daerah elastis akan menciptakan gelombang elastis. Getaran tanah adalah pergerakan bumi yang muncul akibat penyebaran gelombang seismik di dalam tanah. Salah satu penyebab gelombang seismik adalah aktivitas peledakan. Diketahui bahwa tujuan peledakan adalah memecahkan batuan dengan energi besar yang melebihi kemampuan elastis batuan sehingga batuan bisa pecah (3–6).

Flyrock adalah salah satu dampak terhadap lingkungan dari hasil operasi peledakan yang didefinisikan sebagai batu terbang yang didorong melampaui area peledakan oleh adanya kekuatan ledakan. *Flyrock* hasil dari peledakan berupa fragmentasi yang berbentuk bongkah hingga halus (7). Jika *flyrock* hingga diluar batas yang telah ditentukan atau diizinkan, maka ditakutkan akan menyebabkan kerusakan fasilitas dan struktur. Terdapat beberapa alasan utama dari banyak kecelakaan operasi peledakan dalam penambangan terbuka adalah jarak *flyrock* yang melebihi zona ledakan yang ditentukan sebagai jarak aman. Fragmentasi batuan hasil peledakan terlempar yang melebihi radius atau batas aman dapat menyebabkan kerusakan-kerusakan seperti pada alat mekanis, cidera, bahkan menyebabkan kematian pada manusia. Maka dari itu, efek dari adanya *flyrock* menjadi salah satu poin penting dalam setiap operasi peledakan (8).

B. Metodologi Penelitian

Dalam mengoptimalkan bahan peledak untuk mengurangi *ground vibration* digunakan nilai koefisien K dan e. Nilai tersebut didapatkan dari hubungan antara nilai *Peak Particle Summary* dan *Scaled Distance*. Selain itu terdapat metode dalam mengoptimalkan bahan peledak untuk mengurangi *flying rock* yaitu dengan mengetahui parameter yang sangat berpengaruh dalam peledakan.

Scaled Distance (SD)

Metode yang mudah dan umum digunakan dalam mengontrol getaran hasil peledakan menggunakan *Scaled Distance*. Parameter *Scaled Distance* dapat memudahkan untuk nantinya menentukan jumlah bahan peledak dan jarak aman untuk tiap muatan bahan peledak yang ditentukan dan diperhitungkan. Jika hasil dari nilai *scaled distance* semakin besar, maka akan semakin aman juga. Sedangkan jika nilai *scaled distance* semakin kecil, maka akan semakin tidak aman. Hal tersebut dikarenakan semakin jauh jaraknya maka akan semakin aman dibandingkan dengan jarak yang lebih dekat (9). Nilai *scaled distance* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

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

Keterangan:

SD = *Scaled Distance* (kg/m)

D = Jarak dari sumber ledakan (m)

W = Muatan maksimum per waktu tunda (kg)

Analisis Regresi

Analisis regresi adalah metode yang digunakan untuk dapat mengetahui hubungan fungsional linear antara satu variabel respon (variabel dependen) dengan satu variabel prediktor (variabel independen) (10). Dalam model jika hanya menggunakan satu variabel, maka teknik tersebut dinamakan regresi linear sederhana (*simple linear regression*), sedangkan untuk variabel yang digunakan adalah beberapa variabel independen maka disebut dengan regresi linear berganda (*multiple linear regression*) (11). Jika membahas perihal dua variabel numerik atau lebih, maka akan digunakan dua teknik perhitungan yaitu regresi dan korelasi. Metode dari korelasi akan membahas tentang keeratan hubungan, sedangkan metode regresi akan membahas tentang prediksi (peramalan) (12). Koefisien korelasi dapat dihitung dengan mengekstrak akar dari koefisien determinasi.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Geometri Peledakan

Geometri aktual didapatkan langsung berdasarkan pengamatan yang dilakukan selama penelitian di lapangan. Data pengamatan geometri yang diambil pada lokasi penelitian diantaranya seperti *burden*, *spacing*, *stemming*, kedalaman lubang, banyak isian bahan peledak, dan jumlah lubang pada rangkaian peledakan aktual. Selama pengukuran di lapangan dibantu dengan alat ukur meteran. Terdapat 78 kali peledakan untuk mendapatkan data masing-masing getaran tanah dan *flyrock* dengan *delay* detonator yang digunakan tiap peledakannya yaitu 25 ms dan 75 ms.

Data Pengukuran Ground Vibration

Dari data pengukuran dengan menggunakan *Minimate*, didapatkan beberapa data seperti *Peak Particle Velocity* dan *Peak Vector Sum*. Dalam *Peak Particle Velocity* ini dibagi lagi menjadi tiga jenis yaitu transversal, longitudinal, dan vertikal. Dari data-data yang telah didapatkan, maka dapat dibuat hubungan antara nilai *Peak Particle Velocity* dengan nilai *Scaled Distance*. Terdapat data hasil pengukuran *Peak Particle Velocity* pada Tabel 1.

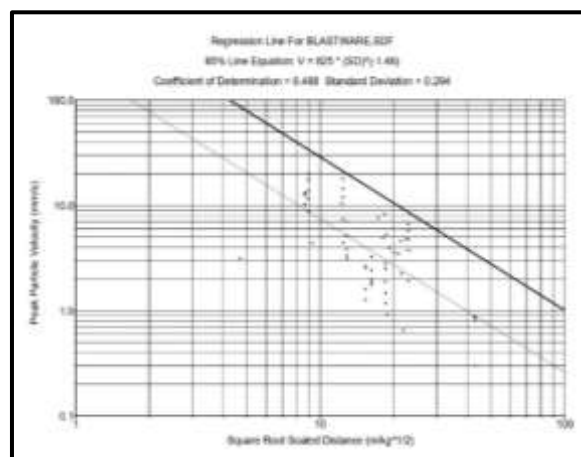
Tabel 1. Data Peak Particle Velocity (PPV)

Tanggal Peledakan	Q/Lubang (kg)	Jumlah Lubang Meledak Bersamaan	Q/Delay (kg)	Jarak (m)	Peak Particle Velocity (PPV)			PVS (mm/detik)	Scale Distance (kg ^{0,5} /m)
					Transversal	Vertikal	Longitudinal		
26/10/2022	9,83	6	58,95	137,0	1,86	3,14	2,68	3,28	17,84
	9,34	7	65,41	121,0	3,25	2,68	4,40	4,41	14,96
	7,60	5	37,98	79	3,11	2,39	3,13	3,54	12,82
	7,60	5	37,98	79	4,26	4,69	6,98	7,18	12,82
	7,60	5	37,98	79	5,23	3,09	4,52	5,24	12,82
	7,60	5	37,98	79	2,36	2,10	3,33	3,95	12,82
	7,60	5	37,98	79	2,18	1,88	3,85	4,03	12,82
	7,60	5	37,98	100	1,95	1,89	1,99	2,29	16,23
10/06/2023	7,60	5	37,98	100	2,32	1,96	3,25	3,36	16,23
	7,60	5	37,98	100	2,43	1,82	1,68	2,83	16,23
	7,60	5	37,98	100	1,77	1,51	1,67	2,22	16,23
	7,60	5	37,98	100	1,18	1,33	1,87	1,92	16,23
	7,60	5	37,98	114	1,47	1,26	1,44	1,79	18,50
	7,60	5	37,98	114	1,83	2,49	2,01	2,92	18,50
	7,60	5	37,98	114	1,43	1,89	1,40	2,03	18,50
	7,60	5	37,98	114	0,98	1,17	1,04	1,28	18,50
12/08/2023	7,60	6	45,58	58	13,08	9,78	4,79	13,14	8,59
	7,60	6	45,58	58	10,21	8,10	5,83	10,81	8,59
	7,60	6	45,58	58	12,54	8,21	6,32	12,65	8,59
	7,60	6	45,58	58	13,18	5,16	8,76	13,61	8,59
	7,60	6	45,58	103	1,30	2,64	1,98	2,68	15,26
	7,60	6	45,58	103	1,14	1,27	1,25	1,60	15,26
	7,60	6	45,58	103	1,84	2,56	1,86	2,81	15,26
	7,60	6	45,58	103	0,84	1,60	1,48	1,70	15,26
30/08/2023	7,60	6	45,58	60,0	8,213	13,670	11,830	15,86	8,89
	7,60	6	45,58	60,0	6,834	19,960	16,190	25,89	8,89
	7,60	6	45,58	60,0	5,431	6,006	8,757	9,48	8,89

Tanggal Peledakan	Q/Lubang (kg)	Jumlah Lubang Meledak Bersamaan	Q/Delay (kg)	Jarak (m)	Peak Particle Velocity (PPV)			PVS (mm/detik)	Scale Distance (kg ^{0,5} /m)
					Transversal	Vertikal	Longitudinal		
					(mm/s)				
	7,60	6	45,58	60,0	3,531	5,494	11,630	12,70	8,89
	7,60	6	45,58	60,0	5,872	14,670	17,670	23,31	8,89
	7,60	6	45,58	83,0	7,070	6,455	11,980	13,93	12,29
	7,60	6	45,58	83,0	10,050	17,850	12,370	19,71	12,29
	7,60	6	45,58	83,0	4,406	5,375	7,401	8,14	12,29
	7,60	6	45,58	83,0	7,275	14,430	7,054	15,68	12,29
	7,60	6	45,58	154,0	4,164	3,405	5,754	5,89	22,81
	7,60	6	45,58	154,0	3,500	4,445	6,621	6,93	22,81
	7,60	6	45,58	154,0	1,758	1,513	1,931	2,32	22,81
	7,60	6	45,58	154,0	2,743	2,309	3,752	3,78	22,81
	7,60	6	45,58	154,0	2,491	3,673	4,753	5,23	22,81
	7,60	6	45,58	288,0	0,536	0,394	0,859	1,08	42,66
	7,60	6	45,58	288,0	0,804	0,709	0,867	1,17	42,66
	7,60	6	45,58	288,0	0,780	0,701	0,883	1,10	42,66
	7,60	6	45,58	288,0	0,812	0,757	0,662	0,97	42,66
	7,60	6	45,58	288	0,81	0,76	0,66	0,97	42,66
	7,60	6	45,58	288	0,09	0,12	0,30	0,32	42,66
16/09/2023	9,12	5	45,58	148,0	0,603	0,381	0,651	0,85	21,92
	9,12	5	45,58	127,0	0,571	0,556	0,921	0,99	18,81
	9,12	5	45,58	125	2,78	1,83	2,70	3,89	18,51
26/09/2023	9,12	5	45,58	141	2,64	1,73	3,48	3,49	20,88
	9,22	5	46,09	145	2,46	4,56	3,00	5,59	21,36
	9,32	5	46,59	123	1,97	1,89	4,89	5,37	18,02
	9,01	5	45,07	129	3,94	1,91	3,94	5,51	19,21
12/10/2023	9,14	5	45,71	126	4,00	3,95	5,30	6,90	18,64
	8,96	5	44,82	82	5,89	4,78	10,40	12,00	12,25
17/10/2023	9,19	5	45,96	124	8,25	2,44	7,43	8,70	18,29
	9,37	5	46,85	118	5,00	7,02	7,62	8,33	17,24
	9,29	5	46,47	137	3,60	1,48	3,38	4,81	20,10
21/10/2023	9,27	5	46,34	153	4,13	4,18	4,76	5,95	22,48
	9,37	5	46,85	147	2,03	2,25	1,54	2,57	21,48

Penentuan Nilai Konstanta Peluruhan (K) dan Site Exponent (e)

Dalam penentuan nilai konstanta peledakan yang terjadi, dilakukan dengan bantuan grafik yang dibuat pada perangkat lunak *Blastware*. Data yang digunakan pada *software Blastware* seperti total muatan bahan peledak, nilai *Peak Particle Velocity*, dan jarak pengukuran *Minimate* dengan lokasi peledakan. Data tersebut akan di-input pada *tools Scaled Distance* yang selanjutnya dibuat grafik penentuan *scaled distance* dengan hasil berupa nilai konstanta K dan e. Terdapat penentuan nilai konstanta peluruhan dan *site exponent* pada Gambar 2.



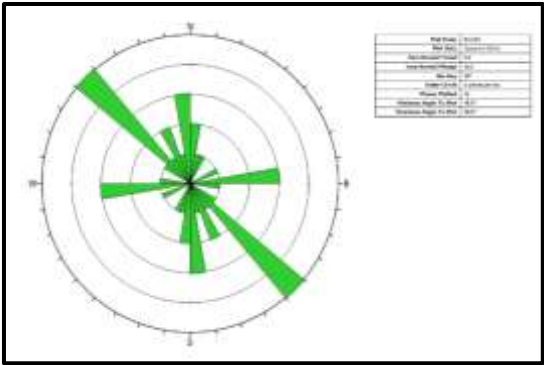
Gambar 2. Grafik Hubungan Peak Particle Velocity dengan Scaled Distance

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan *Blastware* didapatkan nilai konstanta K sebesar 825 dan untuk nilai e sebesar 1,46. Sehingga didapatkan persamaan rumus hubungan

antara nilai *Peak Particle Velocity* dengan *Scaled Distance* yaitu $V = 825 (SD)^{-1,46}$. Sedangkan untuk nilai koefisien determinasi yang didapatkan sebesar 0,488, artinya untuk kedua variabel tersebut memiliki hubungan yang kuat.

Pengaruh Struktur Terhadap Dampak Negatif Peledakan

Struktur geologi yang ada pada lokasi penelitian memiliki kekar yang cukup banyak. Dari hasil pembobotan *Rock Mass Rating*, maka didapatkan nilai RMR berkisar antara 69 – 75 untuk setiap pengukuran struktur geologi. Keterdapatannya banyaknya struktur geologi akan membuat getaran yang dihasilkan dari operasi peledakan teredam. Arah umum dari struktur geologi juga dapat membantu dalam memprediksi arah lemparan *fly rock*. Terdapat hasil penyajian data lereng struktur geologi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Arah Umum Kekar Lokasi Penelitian

Jenis Gelombang Getaran

Berdasarkan hasil pengolahan yang dilakukan, dapat dianalisis gelombang yang dihasilkan dari peledakan terdiri dari gelombang transversal, vertikal, dan longitudinal. Gelombang yang berpengaruh secara besar pada lokasi penelitian yaitu gelombang vertikal. Hal ini dapat dibuktikan dengan nilai dari konstanta K dan e yang lebih besar dibandingkan dengan konstanta yang dihasilkan oleh gelombang lainnya. Terlihat pada Tabel 3 yang menunjukkan hasil dari masing-masing gelombang.

Tabel 3. Rekapitulasi Persamaan Regresi Gelombang Getar

Jenis Gelombang	Nilai K	Nilai e	Persamaan PPV	R ²	R
Transversal	244,37	1,612	$PPV_T = 113,31 (SD)^{-1,356}$	0,5897	0,767919
Vertikal	368,27	1,756	$PPV_V = 187,84 (SD)^{-1,536}$	0,4746	0,688912
Longitudinal	271,34	1,573	$PPV_L = 122,35 (SD)^{-1,304}$	0,4971	0,705053
Summary	471,42	1,68	$PVS = 202,79 (SD)^{-1,39}$	0,5893	0,767659

Analisis Lemparan *Fly Rock*

Arah dan jarak lemparan dari *flying rock* dapat dipengaruhi dari beberapa parameter yang digunakan, *initial point*, dan geometri peledakannya. Geometri peledakan yang dapat mempengaruhi dari jarak lemparan *flying rock* seperti *burden*, *spacing*, *stemming*, kedalaman lubang ledak, isian bahan peledak, dan *powder factor* (7). Untuk dapat mengetahui hubungan antara parameter geometri peledakan terhadap *fly rock* dapat menggunakan regresi linear.

Tabel 4. Rekapitulasi Persamaan Regresi *Fly Rock* dengan Geometri Peledakan

Parameter	R ²	R
<i>Fly Rock dengan Burden</i>	0,0004	0,02
<i>Fly Rock dengan Spacing</i>	0,00002	0,004472136
<i>Fly Rock dengan Stemming</i>	0,6375	0,798435971
<i>Fly Rock dengan Kedalaman Lubang</i>	0,1153	0,339558537
<i>Fly Rock dengan W Handak</i>	0,5518	0,742832417
<i>Fly Rock dengan Powder Factor</i>	0,3375	0,580947502

Penentuan Estimasi Muatan Bahan Peledak per *Delay* untuk Batas PPV 12 mm/s Pada Berbagai Jarak

Muatan bahan peledak per *delay*-nya dan nilai *peak particle velocity* prediksi menunjukkan bahwa estimasi muatan bahan peledak yang ditingkatkan akan menghasilkan nilai PPV yang mendekati dari 12 mm/s. Terdapat rekapitulasi muatan bahan peledak berdasarkan variasi jarak dan PPV prediksi pada Tabel 4. Muatan bahan peledak dapat diketahui dan direkomendasikan pada jarak yang telah ditentukan agar tidak melebihi dari nilai ambang batas berdasarkan jenis bangunan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin jauh dari jarak peledakan, maka semakin besar juga muatan bahan peledak yang dapat digunakan.

Tabel 4. Estimasi Muatan Bahan Peledak Maksimum untuk PPV 12 mm/s

PPV (mm/s)	k	e	Jarak (m)	Optimalisasi Bahan Peledak (kg)	Scaled Distance (kg ^{0,5} /m)	PPV Prediksi (mm/s)
12	825	1,4	50	5,73	20,90	11,70
			55	6,90	20,94	11,67
			60	8,18	20,97	11,64
			65	9,57	21,01	11,62
			70	11,07	21,04	11,59
			75	12,67	21,07	11,57
			80	14,38	21,09	11,55
			85	16,20	21,12	11,53
			90	18,12	21,14	11,51
			95	20,14	21,17	11,50
			100	22,28	21,19	11,48
			105	24,51	21,21	11,46
			110	26,85	21,23	11,45
			115	29,29	21,25	11,43
			120	31,84	21,27	11,42
			125	34,50	21,28	11,41
			130	37,25	21,30	11,40
			135	40,11	21,32	11,38
			140	43,08	21,33	11,37
			145	46,14	21,35	11,36
			150	49,31	21,36	11,35
			155	52,59	21,37	11,34
			160	55,96	21,39	11,33
			165	59,44	21,40	11,32
			170	63,02	21,41	11,31
			175	66,71	21,43	11,30
			180	70,49	21,44	11,29
			185	74,38	21,45	11,28
			190	78,37	21,46	11,28
			195	82,47	21,47	11,27
			200	86,66	21,48	11,26

Penentuan Estimasi Muatan Bahan Peledak per *Delay* untuk Batas PPV 12 mm/s Pada Berbagai Jarak

Berdasarkan dari batasan nilai PPV yang ditentukan oleh pihak KCIC yaitu 25 mm/s, maka

didapatkan muatan bahan peledak untuk tiap jarak peledakannya dengan melakukan perhitungan. Dari nilai PPV yang ditentukan, dapat dianalisis untuk meningkatkan muatan bahan peledak sehingga hasil dari kegiatan peledakan menjadi lebih optimal. Hasil perhitungan muatan bahan peledak dan PPV prediksi dapat menunjukkan bahwa estimasi muatan yang ditingkatkan akan menghasilkan nilai PPV yang masih dibawah nilai 25 mm/s. Untuk estimasi muatan bahan peledak dan PPV prediksi dengan batas nilai PPV 25 mm/s dapat dilihat pada Tabel 5. Muatan bahan peledak dapat diketahui dan direkomendasikan pada jarak yang telah ditentukan agar tidak melebihi dari nilai ambang batas berdasarkan jenis bangunan

Tabel 5. Estimasi Muatan Bahan Peledak Maksimum untuk PPV 25 mm/s

PPV (mm/s)	k	e	Jarak (m)	Optimalisasi Bahan Peledak (kg)	Scaled Distance ($\text{kg}^{0.5}/\text{m}$)	PPV Prediksi (mm/s)
25	825	1,4	50	16,00	12,50	24,03
			55	19,28	12,52	23,97
			60	22,87	12,55	23,91
			65	26,75	12,57	23,85
			70	30,94	12,59	23,80
			75	35,42	12,60	23,76
			80	40,19	12,62	23,72
			85	45,26	12,63	23,67
			90	50,63	12,65	23,64
			95	56,29	12,66	23,60
			100	62,24	12,68	23,57
			105	68,49	12,69	23,54
			110	75,03	12,70	23,50
			115	81,86	12,71	23,48
			120	88,98	12,72	23,45
			125	96,39	12,73	23,42
			130	104,09	12,74	23,39
			135	112,08	12,75	23,37
			140	120,36	12,76	23,35
			145	128,93	12,77	23,32
			150	137,79	12,78	23,30
			155	146,94	12,79	23,28
			160	156,37	12,80	23,26
			165	166,09	12,80	23,24
			170	176,10	12,81	23,22
			175	186,40	12,82	23,20
			180	196,98	12,83	23,18
			185	207,84	12,83	23,16
			190	219,00	12,84	23,15
			195	230,43	12,85	23,13
			200	242,16	12,85	23,11

Penentuan Estimasi Muatan Bahan Peledak per Delay untuk Batas PPV 12 mm/s Pada Berbagai Jarak

Berdasarkan hasil analisis regresi untuk setiap parameter geometri peledakan terhadap jarak lemparan *fly rock* aktual, didapatkan nilai regresi paling besar yaitu pada tinggi *stemming* sebesar 63,57% sehingga perlu dilakukannya analisis simulasi *stemming*. Artinya *fly rock* yang terjadi di lokasi penelitian, dipengaruhi langsung oleh ketebalan atau tinggi dari *stemming*. Prediksi dari jarak lemparan *fly rock* yang digunakan menggunakan persamaan Ebrahim Ghasemi dan Shakeri. Simulasi tinggi atau ketebalan *stemming* dilakukan dengan cara menambah dan mengurangi tinggi *stemming* dengan asumsi sebesar 0,2 m. Dilakukan beberapa kali simulasi agar mendapatkan jarak *fly rock* terjauh dengan mempertimbangkan jarak antara *front* penambangan menuju *trase* rel Kereta Cepat Indonesia-China. Didapatkan simulasi yang dianggap paling optimal yaitu pada simulasi pengurangan tinggi *stemming* 0,6 m, data tersebut

disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Simulasi *Stemming* Terhadap Jarak Lemparan *Fly Rock*

Lokasi	Tanggal	Stemming -0,6 m				
		Stemming (m)	Stemming Simulasi (m)	Flying Rock Actual (m)	Ebrahim Ghasemi (m)	Shakeri (m)
1	26/09/2023	2,00	1,40	29,44	13,54	38,87
2		2,00	1,40	27,77	16,96	35,06
3		2,00	1,40	20,6	13,54	38,87
4		2,00	1,40	23,59	16,96	35,06
5		1,96	1,36	16,84	14,29	36,09
6	12/10/2023	1,92	1,32	37,6	14,40	36,56
7	17/10/2023	2,04	1,44	32,43	17,63	34,62
8		2,03	1,43	33,49	17,77	34,37
9		1,91	1,31	31,18	13,72	34,68
10		1,92	1,32	38,92	14,20	35,32
11		2,06	1,46	26,89	16,47	34,80
12	21/10/2023	1,97	1,37	22,31	14,35	36,19
13		1,90	1,30	27,62	12,37	36,75
14		2,10	1,50	27,56	18,03	36,00
15		1,96	1,36	27,26	14,22	37,98
16		2,03	1,43	24,07	14,94	38,84
17	04/11/2023	2,04	1,44	34,13	17,19	35,77
18		2,00	1,40	15,3	16,90	38,19
19		1,92	1,32	12,09	14,20	35,32
20		2,17	1,57	11,59	19,91	34,20
21		2,20	1,60	15,24	20,32	34,82
22	11/11/2023	2,19	1,59	14,28	20,18	35,39
23		2,18	1,58	17,88	20,04	35,95
24		2,16	1,56	19,52	19,91	35,35
25		2,15	1,55	18,51	19,61	35,11
26		2,15	1,55	21,08	19,33	34,93
27	16/11/2023	2,16	1,56	29,51	19,58	34,90
28		2,17	1,57	28,94	18,92	34,96
29		1,93	1,33	23,68	14,38	35,06
30		1,94	1,34	29,04	14,27	36,39
31		2,00	1,40	31,29	16,10	36,03

D. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam hasil penelitian ini, peneliti menyimpulkan beberapa hasil penelitian berdasarkan tujuan penelitian sebagai berikut:

Terdapat parameter yang berpengaruh pada besaran tingkat getaran tanah yaitu dari muatan bahan peledak yang digunakan per *delay*-nya. Semakin besar nilai muatan bahan peledak yang meledak secara bersamaan, maka nilai *Peak Vector Sum* akan semakin besar. Sedangkan pada parameter yang berpengaruh pada jarak *fly rock* yaitu panjang dari *stemming* dan muatan bahan peledak tiap lubangnya. Semakin rendah tinggi *stemming* maka muatan bahan peledak akan semakin banyak dan jarak *fly rock* akan semakin besar.

Pengaruh dari adanya struktur geologi pada penggunaan bahan peledak yaitu semakin banyak struktur geologi yang terdapat di lokasi penelitian, maka semakin berkurang penggunaan bahan peledak. Selain itu terdapat pengaruh dari struktur geologi pada dampak negatif peledakan yaitu menunjukkan arah lemparan dari *fly rock* dan semakin banyaknya massa batuan yang terkekarkan, maka getaran hasil peledakan akan didistribusikan keluar atau diredam oleh adanya struktur geologi. Sedangkan semakin dekat *joint spacing* dan bukaan kekar yang besar akan menyebabkan *fly rock* yang berlebihan.

Didapatkan bahan peledak yang optimal dalam mengurangi tingkat getaran tanah yaitu sebesar 40,19 kg dengan jarak terdekat dari lokasi peledakan menuju ke infrastruktur Kereta Cepat Indonesia-China sekitar 80 meter. Dengan rata-rata penggunaan bahan peledak tiap lubangnya sebesar 9 kg hingga 9,5 kg untuk mendapatkan jarak *fly rock*

sebesar kurang dari 40 meter.

Acknowledge

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu untuk menyelesaikan Skripsi ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Yunus Ashari, M.T. sebagai Ketua Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Islam Bandung;
- Bapak Noor Fauzi Isniarno, S.Pd., S.Si., M.T. sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Islam Bandung;
- Bapak Ir. Zaenal, M.T. sebagai Koordinator Skripsi yang senantiasa mengarahkan dalam kelancaran pelaksanaan kegiatan Skripsi;
- Ibu Linda Pulungan, Ir., M.T. sebagai Wali Dosen yang telah banyak membantu selama perkuliahan hingga penulis dapat lulus dengan waktu yang tepat;
- Bapak Ir. Yuliadi, S.T, M.T., IPM. dan Bapak Dr. Ir. Dudi Nasrudin Usman, S.T., M.T., IPM sebagai Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing hingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini;
- Bapak Ir. Teguh Marjanto selaku kepala Teknik tambang yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian skripsi di CV Panghegar;
- Bapak Entis Sutisna selaku juru ledak yang telah banyak membantu kegiatan lapangan dalam pengumpulan data;
- Bapak Parman selaku kepala gudang bahan peledak yang telah selalu berkoordinasi dalam adanya kegiatan peledakan.

Daftar Pustaka

- [1] Agnesty, I., Purwoko, B., dan Meilasari, F. 2018. "Kajian Biaya Peledakan Pada Proses Pembongkaran Batuan Granit di PT HANSINDO MINERAL PERSADA". *JeLAST: Jurnal PWK*. 1(1). 1–12.
- [2] Anonim. 2010. "Baku Tingkat Getaran Peledakan pada Kegiatan Tambang Terhadap Bangunan". Standar Nasional Indonesia. 1–5.
- [3] Anonim. 2018. "Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik". Keputusan Meteri Energi Dan Sumber Daya Mineral. No. 1827. Hal 79.
- [4] Astuti, W. S. & C. C. 2017. "Statistika Dasar Konsep Dan Aplikasinya". Umsida Press.
- [5] Desy Mahda, dan Yuliadi. 2022. "Analisis Pengaruh Getaran Peledakan Terhadap Kestabilan Lereng pada PT. XYZ Blok Paniisan". *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*. 125–132.
- [6] Farnanda, A. N., dan Pratama, F. H. 2020. "Proyek Kereta Cepat Jakarta Bandung". Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [7] Ghasemi, E., Sari, M., dan Ataei, M. 2012. "*Development of an Empirical Model for Predicting the Effects of Controllable Blasting Parameters on Flyrock Distance in Surface Mines*". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 52. 163–170.
- [8] Hajarisman, N., Bandung, U. I., Herlina, M., dan Bandung, U. I. 2023. "Buku Ajar Analisis Regresi dan Aplikasinya Menggunakan SPSS". Universitas Islam Bandung. Program Studi Statistika.
- [9] Harlan, J. 2018. "Analisis Regresi Linear". Penerbit Gunadarma.
- [10] Insan Pribadi, B., Yuliadi, dan Marmer, D. 2017. "Analisis Getaran Tanah Hasil Peledakan Berdasarkan Tingkat Peluruhan di PT Dahana JSP PT Ricobana Abadi-Berau". *Prosiding Teknik Pertambangan*. 3(2). 652–660.
- [11] Jagad Gineung Pratidina, S., Rachmawati, D., Muhammad Badra, L., Fajar, N., Faqih, M., dan Lundeto, F. 2019. "Optimalisasi Distribusi Dan Tingkat Energi Bahan Peledak Dengan Sistem *Differential Energy TM* (DELTA E)". *Prosiding TPT XXVIII PERHAPI*. 397–410.

- [12] Kumar, R., Choudhury, D., dan Bhargava, K. 2016. "*Determination of Blast-Induced Ground Vibration Equations for Rocks Using Mechanical and Geological Properties*". *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 8(3). 341–349.
- [13] Lu, X., Hasanipanah, M., Brindhadevi, K., Bakhshandeh Amnieh, H., dan Khalafi, S. 2020. "*ORELM: A Novel Machine Learning Approach for Prediction of Flyrock in Mine Blasting*". *Natural Resources Research*. 29(2). 641–654.
- [14] Marlina, R., Zakri, R. S., dan Novrianto. 2020. "Analisis Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap *Fly Rock* Hasil Peledakan Di PT Bintang Sumatra Pacific Kecamatan Pangkalan, Kabupaten Lima Puluh Kota". *Jurnal Sains Dan Teknologi*. 20(2), 238–245.
- [15] Mulyadi, D., Prasastya Santosa, I., Zulfadrian, Y., dan Dwi Laksono, E. 2021. "Kabupaten Purwakarta Dalam Angka". Badan Pusat Statistik Kabupaten Purwakarta.
- [16] Nugraha, A., Yuliadi, dan Iswandaru. 2021. "Optimalisasi Penggunaan Bahan Peledak dan Penggunaan *Delay* berdasarkan Baku Tingkat Getaran Tanah di PT Chunur Jabal Nur (CJN), Desa Batujajar Timur, Kecamatan Batujajar, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat". *Prosiding Teknik Pertambangan*. 7(2). 325–335.
- [17] Olofsson, Stig O. 1988. "*Applied Explosives Technology For Construction And Mining*". Publisher APPLEX. Swedia.
- [18] Ramadhan, F., Yuliadi, N., dan Fauzi, I. 2021. "Analisis Parameter Peledakan yang Sangat Mempengaruhi Arah dan Jarak *Flying Rock* pada Tambang Andesit PT Gunung Kulalet Kecamatan Baleendah, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat". *Prosiding Teknik Pertambangan*. 7(2). 502–509.
- [19] Ramadhan, R., dan Yulhendra, D. 2020. "Kajian Potensi *Flying Rock* Peledakan Terhadap Radius Aman Alat Peremuk *Crusher* di CV Tekad Jaya Halaban Kabupaten Lima Puluh Kota Sumatera Barat". *Bina Tambang*. 5(2302–3333). 1–6.
- [20] Sari, H. V, Isjudarto, A., dan Sidiq, H. 2020. "Analisis Pengaruh Pola Rangkaian Peledakan Terhadap Tingkat Getaran Tanah Di *Quarry* Tuban I-IV PT Semen Indonesia (Persero)". *Mining Insight*. 01(01). 63–70.
- [21] Shakeri, J., Khoshalan, H. A., Dehghani, H., Bascompta, M., dan Onyelowe, K. 2022. "*Developing New Models for Flyrock Distance Assessment in Open-Pit Mines*". *Journal of Mining and Environment*. 13(2). 377–391.
- [22] Sofyan, R. N., Saismana, U., Hakim, R. N., Rakhmawan, A. A., dan Novianti, Y. S. 2017. "Evaluasi Desain Geometri Peledakan Terhadap *Payload Bucket* Untuk Meningkatkan Produktivitas Alat Gali Muat PC4000 Class". *Jurnal GEOSAPTA*. 3(1).
- [23] Sundari, W. 2021. "Analisis Lubang Ledak dan Geometri Peledakan dengan Menggunakan Metode *Anderson* untuk Mencapai Target Produksi pada PT Andesit Lumbung Sejahtera di Desa Bandar Dalam, Kecamatan Sidomulyo, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung". *Jurnal Ilmiah Teknologi FST Undana*. 15(1). 43–52.
- [24] Syeban, N., Marsudi, dan Syafrianto, K. M. 2019. "Kajian Batu Terbang (*Fly Rock*) untuk Mengurangi Radius Aman Pada Peledakan Penambangan Granodiorit PT Total Optima Prakarsa Peniraman Kecamatan Sungai Pinyuh, Kabupaten Mempawah, Provinsi Kalimantan Barat". *Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*. 6. 1–7.
- [25] Wei, H., Zhu, J., Yang, X., dan Chu, H. 2023. "*Prediction Method of Ground Vibration Effect of Layered Rock Mass Under High-Pressure Gas Impact*". *Journal of Vibration and Shock*. 42(20). 1–11.
- [26] Jagad Gineung Pratidina S, Rachmawati D, Muhammad Badra L, Fajar N, Faqih M, Lundeto F. OPTIMALISASI DISTRIBUSI DAN TINGKAT ENERGI BAHAN PELEDAK DENGAN SISTEM DIFFERENTIAL ENERGY TM (DELTA E). *Prosiding TPT XXVIII PERHAPI*. 2019;397–410.
- [27] 2. Lu X, Hasanipanah M, Brindhadevi K, Bakhshandeh Amnieh H, Khalafi S. ORELM: A Novel Machine Learning Approach for Prediction of Flyrock in Mine Blasting. *Natural Resources Research*. 2020;29(2):641–54.

- [28] Astuti WS& CC. Statistika Dasar Konsep Dan Aplikasinya. Universitas Muhammadiyah Sidoarjo; 2017.
- [29] Harlan J. ANALISIS REGRESI LINEAR. 1st ed. Penerbit Gunadarma; 2018. 1–118 p.
- [30] Hajarisman N, Bandung UI, Herlina M, Bandung UI. Buku Ajar Analisis Regresi dan Aplikasinya menggunakan SPSS. 2023;(March).