



## **Analisis Pengaruh Penggunaan Air Deck Terhadap Ground Vibration pada Aktivitas Peledakan di Pit Sentuk PT Multi Harapan Utama Provinsi Kalimantan Timur**

**Dimas Daffa Erlangga<sup>1\*</sup>, Revia Oktaviani<sup>2</sup>, Lucia Litha Respati<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Universitas Mulawarman, Indonesia

Korespondensi penulis: [dmsdfaerlng@gmail.com](mailto:dmsdfaerlng@gmail.com)

**Abstract :** *Blasting is an activity that breaks rocks from their parent rock using explosives to create smaller fragments, making the loading and transportation processes easier. One of the environmental impacts of blasting activities is ground vibration. Ground vibration is one of the outcomes of blasting activities, and it is measured using the PPV (Peak Particle Velocity) value. Ground vibration can become a problem for companies if it exceeds the safe vibration quality standard (SNI 7571: 2010), as it can pose a danger to humans and nearby buildings. The Air Deck is an air column in the blast hole that aims to reduce energy vertically, this method can reduce the use of explosives. This research was conducted at the Sentuk Pit of PT. Multi Harapan Utama in East Kalimantan. Observations were made during 42 blast events to determine the impact of the air deck method on the resulting vibration. During the study, the maximum PPV value was 13.87 mm/s, while the minimum PPV value was 1.13 mm/s. The average ground vibration measurement value for non-air deck blasting was 4.40 mm/s, while the average ground vibration measurement value for air deck blasting was 3.95 mm/s. The use of this method also reduced the powder factor value. For non-air deck blasting, the average powder factor value was 0.26 kg/m<sup>3</sup>, and for air deck blasting, the powder factor value was 0.20 kg/m<sup>3</sup>, resulting in a 23.08% reduction in explosive usage. To calculate the predicted PPV, scaled distance calculations were used. Based on the predicted PPV calculation results, the deviation from the actual PPV was 1.59 mm/s.*

**Keywords :** *Air Deck, Ground Vibration, PPV Prediction, Scaled Distance, Powder Factor*

**Abstrak :** Peledakan merupakan kegiatan memberai batuan dari batuan induknya menggunakan bahan peledak agar menjadi fragmen-fragmen yang lebih kecil sehingga memudahkan dalam proses pemuatan dan pengangkutan. Salah satu efek terhadap lingkungan dari kegiatan peledakan yaitu adanya *ground vibration*. *Ground vibration* atau getaran tanah merupakan salah satu hasil dari kegiatan peledakan yang dilakukan, dimana getaran tanah dinyatakan dengan nilai PPV (*Peak Particle Velocity*). Getaran tanah dapat menjadi salah satu masalah bagi perusahaan jika melebihi baku mutu aman getaran (SNI 7571 : 2010), karena dapat membahayakan manusia dan bangunan disekitarnya. *Air Deck* adalah kolom udara pada lubang ledak yang bertujuan untuk mengurangi energi secara vertikal, metode ini mampu mengurangi penggunaan bahan peledak. Pada penelitian kali ini dilakukan di Pit Sentuk PT. Multi Harapan Utama Provinsi Kalimantan Timur. Pengamatan dilakukan sebanyak 42 kali peledakan untuk mengetahui pengaruh dari metode *air deck* terhadap getaran yang dihasilkan. Selama penelitian dilakukan didapatkan nilai PPV maksimum yaitu 13,87 mm/s, sedangkan nilai PPV minimum yaitu 1,13 mm/s. Untuk rata-rata nilai pengukuran getaran tanah pada peledakan *non air deck* yaitu 4,40 mm/s dan rata-rata nilai pengukuran getaran tanah pada peledakan *air deck* yaitu 3,95 mm/s. Penggunaan metode ini juga mampu menurunkan nilai *powder factor*, pada peledakan *non air deck* untuk rata-rata nilai *powder factor* yaitu 0,25 kg/m<sup>3</sup> dan nilai *powder factor* pada peledakan *air deck* yaitu 0,20 kg/m<sup>3</sup>, metode *air deck* menurunkan penggunaan bahan peledak sebesar 23,08%. Untuk menghitung PPV prediksi digunakan perhitungan *scaled distance*. Berdasarkan hasil perhitungan PPV prediksi, penyimpangan terhadap PPV aktual sebesar 1,59 mm/s

**Kata Kunci :** *Air Deck, Getaran Tanah, PPV Prediksi, Scaled Distance, Powder Factor*

### **1. PENDAHULUAN**

PT Multi Harapan Utama (MHU) adalah salah satu perusahaan yang bergerak di sektor pertambangan, khususnya di bidang penambangan batubara. Perusahaan ini memiliki sejumlah tambang yang tersebar di beberapa wilayah Indonesia, salah satunya adalah pit Sentuk. Sebagai perusahaan yang berfokus pada peningkatan produktivitas dan keberlanjutan, PT Multi Harapan Utama memiliki komitmen yang tinggi terhadap pengelolaan lingkungan, termasuk dalam mengelola dampak yang ditimbulkan oleh aktivitas peledakan yang dilakukan di area tambangnya.

*Air deck* adalah teknik yang melibatkan penggunaan air sebagai media pengisi ruang dalam lubang ledakan, yang dapat membantu mengurangi energi yang dihasilkan dan menyebarkannya dengan lebih merata. Penerapan metode ini diharapkan dapat mengurangi konsentrasi energi yang dapat menyebabkan getaran tinggi.

Berdasarkan KEPMEN 1827 Tahun 2018, jarak aman bagi alat dan fasilitas pertambangan yaitu 300 meter dan manusia 500 meter dari batas terluar peledakan. Operasi seperti peledakan dan lain sebagainya selalu akan menghasilkan getaran atau gelombang seismik. Tujuan dari peledakan umumnya adalah memecahkan batuan. Pekerjaan ini membutuhkan sejumlah energi yang cukup sehingga melebihi/melampaui kekuatan batuan atau melampaui batas elastis. Apabila hal tersebut terjadi batuan akan pecah (Moelhim, 1990).

## **2. TINJAUAN LITERATUR**

### **Peledakan**

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, ground vibration, air blast, gas beracun dan debu) minimal (Koesnaryo, 1988).

### **Mekanisme Pecahnya Batuan Akibat Peledakan**

Dikutip dari Sunaryadi (2011), pada prinsipnya pecahnya batuan akibat energi peledakan dapat dibagi dalam 3 tahap, yaitu *dynamic loading*, *quasi-static loading*, dan *release of loading*.

### **Metode Air Deck**

Menurut Hidayat (2019), *Air deck blasting* adalah rekayasa peledakan dengan membuat rongga udara dalam lubang ledak yang berfungsi untuk membuat perangkap energi dan mengurangi *loses* energi secara vertikal. Menurut Jhanwar & Jethwa (2000), tekanan yang dihasilkan oleh peledakan dengan penggunaan *air deck* mampu mengurangi intensitas gelombang kejut pada tahap awal inisiasi, tetapi menyebabkan peningkatan durasi dalam kekuatan gelombang kejut untuk menciptakan retakan-retakan mikro yang dapat menghasilkan fragmen batuan yang lebih kecil. Menurut Jhanwar (2011), metode ini telah terbukti menurunkan nilai *powder factor*. Metode ini juga dapat meningkatkan kualitas fragmentasi hasil peledakan (Kabwe, 2016).

## **Ground Vibration**

Ketika ledakan terjadi, getaran tanah memancar ke segala arah. Intensitas (amplitudo, frekuensi, dan durasi) getaran di suatu lokasi akan bergantung pada ukuran ledakan, jalur perjalanan, dan karakteristik lokasi. Getaran merambat di dalam tubuh bumi dan sepanjang permukaan bumi. Getaran yang dihasilkan di lokasi tertentu bisa sangat kompleks, terdiri dari banyak kelompok gelombang yang berbeda (Stiehr, 2011).

## **Gelombang Seismik**

Menurut Konya & Walter (1991), gelombang seismik adalah gelombang yang menjalar melalui bumi. Gelombang ini menggambarkan penyebaran energi melalui bumi yang padat. Penyebaran gelombang yang lain adalah gelombang suara, gelombang cahaya dan lain sebagainya. Gempa bumi menghasilkan gelombang seismik. Selain gelombang seismik yang dihasilkan alam, banyak sumber-sumber gelombang seismik sebagai akibat perbuatan manusia, salah satu contoh adalah gelombang seismik sebagai hasil peledakan. Akibat peledakan yang kita rasakan adalah sebagai "getaran".

## **Analisis Regresi dan Korelasi**

Regresi adalah salah satu metode statistika yang mempelajari pola hubungan yang logis antara dua atau lebih variabel dimana salah satunya ada yang berlaku sebagai variabel terikat/dependen (variabel yang nilai-nilainya tergantung pada variabel lain dan merupakan variabel yang diramalkan atau diterangkan nilainya) dan yang lainnya sebagai variabel bebas/independen (variabel yang nilai-nilainya tidak tergantung pada variabel lain dan merupakan variabel yang digunakan untuk meramalkan atau menerangkan variabel lain) (Wulansari, 2014).

## **3. METODE PENELITIAN**

### **Tahap Penelitian**

Pada penelitian ini menggunakan gabungan antara teori dengan data-data yang akan diambil di lapangan, sehingga diharapkan didapatkan pendekatan penyelesaian masalah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kuantitatif dimana menggunakan proses data-data berupa angka untuk menganalisis dan melakukan kajian penelitian, terutama mengenai penelitian yang sudah dilakukan. Dalam pelaksanaannya terdapat beberapa tahapan yaitu tahap pralapangan, tahap lapangan dan tahap pasca lapangan.

### **Jadwal Penelitian**

Berikut adalah tabel jadwal penelitian yang akan dilaksanakan:

**Tabel 1 Jadwal Penelitian**

No.	Kegiatan	Oktober				November				Desember		
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
1	Studi Literatur											
2	Pengamatan Lapangan											
3	Pengumpulan Data											
4	Pengolahan Data											
5	Analisis Data											
6	Penyerahan Laporan											

metilen biru diukur dengan spektrofotometer UV-Vis.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Kegiatan Pemboran di Pit Sentuk

Sebelum dilaksanakan kegiatan peledakan, lokasi peledakan harus dipersiapkan dengan baik sesuai *plan* yang sudah ditentukan oleh perusahaan. Dalam persiapan lokasi ini menggunakan alat mekanis yaitu *dozer*. *Dozer* digunakan untuk meratakan lokasi peledakan, membuat tanggul pada area terluar lokasi peledakan sebagai batas area peledakan. Selanjutnya pemasangan pita (Gambar.1) sebelum kegiatan pemboran yaitu bertujuan untuk menentukan titik yang akan di bor. Kegiatan pemboran adalah proses awal peledakan untuk menyiapkan lubang yang akan diisi oleh bahan peledak. Pola pemboran yang digunakan yaitu pola zig-zag dengan sistem pemboran *rotary drilling* yang dimana pemecahan batuan ini dilakukan dengan cara pemutaran secara tegak lurus. Alat bor yang digunakan pada kegiatan pemboran ini adalah Sandvik D245S dengan diameter 6 ¾ inch.



(a)

(b)

**Gambar 1 a). Pemasangan Pita TitikBor b). Alat Bor Sandvik D245S**

##### Kegiatan Peledakan di Pit Sentuk

Pada penelitian kali ini dilakukan pengambilan data selama 2 bulan mulai dari tanggal 16 Oktober – 5 Desember 2024. Pengambilan data ini dilakukan di Pit Sentuk PT. Multi

Harapan Utama. Kegiatan peledakan pada Pit Sentuk dilakukan setiap hari, dimana terdapat 1-2 lokasi yang diledakkan pada Pit Sentuk. Pengambilan data ini diperoleh sebanyak 21 data untuk getaran peledakan *air deck* dan 21 data sekunder untuk getaran peledakan *non air deck*.

Kegiatan peledakan dilakukan untuk memberai batuan agar lebih memudahkan dalam proses *exposed* batubara. Material *overburden* yang diledakkan di Pit Sentuk yaitu *sandstone* dan *claystone*. Untuk kegiatan peledakan mulai dari pengisian bahan peledak hingga merangkai desain dilapangan dilakukan oleh PT. Dahana.

Bahan peledak yang digunakan PT. Dahana yaitu *Dabex (Dahana Bulk Emulsion Matrix)*. *Dabex* merupakan bahan peledak dengan komposisi 70% emulsi, serta 30% amonium nitrat, dan oli bekas. *Dabex* ini sangat efektif untuk digunakan pada lubang basah karena memiliki sifat tahan air dan memiliki densitas 1,3 gr/cc.



**Gambar 2 Bahan Peledak *Dabex***

Rangkaian desain pada kegiatan peledakan di Pit Sentuk dilakukan oleh *blaster* dengan acuan plan yang sudah ditentukan oleh perusahaan. Pola peledakan yang digunakan selama penelitian berlangsung yaitu pola *echelon cut*. *Inhole delay* yang digunakan bervariasi yaitu 500ms, 1000ms, 3000ms, 6000ms, dan *surface delay* 17ms, 25ms, 42ms, 67ms, dan 109ms.



**Gambar 3 *Inhole Delay* dan *Surface Connector***



Gambar 4 Kegiatan Peledakan

### Geometri Peledakan Non Air Deck Di Pit Sentuk

Data geometri peledakan *non air deck* di Pit Sentuk ini terdiri dari *Burden* (B), *Spacing* (S), *Powder Column* (PC), Kedalaman Lubang Ledak (H), *Stemming* (T), Jumlah Isian dan *Powder Factor* (PF). Data tersebut dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2 Geometri Peledakan *Non Air Deck*

Geometri Aktual Non Baldeck										
No	Tanggal	Lokasi	B	S	H	D	PC	T	Dabex	PF
			m	m	m	mm	m	m	kg	kg/m <sup>3</sup>
1	09/01/24	Sentuk	7	8	6,5	171,45	3,14	3,33	94	0,26
2	10/01/24	Sentuk	7	8	6,6	171,45	3,16	3,45	98	0,26
3	31/01/24	Sentuk	7	8	7,5	171,45	3,5	4	106	0,25
4	15/02/24	Sentuk	7	8	5,8	171,45	2,7	3,1	83	0,25
5	14/03/24	Sentuk	7	8	8,2	171,45	3,97	4,22	119	0,26
6	17/03/24	Sentuk	7,5	8,5	7,4	171,45	3,7	3,7	113	0,24
7	08/04/24	Sentuk	8	8	6,8	171,45	3,2	3,6	95	0,22
8	18/04/24	Sentuk	8	9	8,5	171,45	4,3	4,2	128	0,21
9	25/04/24	Sentuk	7	8	5,9	171,45	2,7	3,2	82	0,25
10	27/05/24	Sentuk	7,5	8,5	7,5	171,45	3,5	4	107	0,22
11	09/08/24	Sentuk	6	7	6,6	171,45	2,7	3,9	82	0,29
12	11/08/24	Sentuk	6	7	5	171,45	2	3	59	0,28

Geometri Aktual Non Baldeck										
No	Tanggal	Lokasi	B	S	H	D	PC	T	Dabex	PF
			m	m	m	mm	m	m	kg	kg/m <sup>3</sup>
13	12/08/24	Sentuk	6	7	5,5	171,45	2,2	3,3	65,5	0,28
14	23/08/24	Sentuk	6	7	6,1	171,45	2,8	3,3	83	0,32
15	30/08/24	Sentuk	7	8	7,5	171,45	3,5	4	104	0,25
16	02/09/24	Sentuk	6	7	4,67	171,45	1,87	2,8	56	0,28
17	03/09/24	Sentuk	6	7	4,9	171,45	2,1	2,8	63	0,3
18	04/09/24	Sentuk	6	7	4,4	171,45	1,7	2,7	50	0,28
19	05/09/24	Sentuk	7	7	5,8	171,45	2,5	3,3	75	0,27
20	22/09/24	Sentuk	7	8	7,8	171,45	3,7	4,10	112	0,26
21	23/09/24	Sentuk	7	8	8,6	171,45	4	4,6	125	0,26
Rata-Rata			6,8	7,7	6,55	171,45	3	3,55	90,45	0,26

### Geometri Peledakan Air Deck Di Pit Sentuk

Data geometri peledakan *air deck* ini terdiri dari *Burden* (B), *Spacing* (S), *Powder Column* (PC), Kedalaman Lubang Ledak (H), *Stemming* (T), Jumlah isian, Kolom Udara dan *Powder Factor* (PF). Pada penelitian kali ini metode decking yang digunakan pada kegiatan peledakan ini yaitu *top decking* yaitu posisi *ball deck* berada diatas kolom isian. Data tersebut dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

**Tabel 3 Geometri Peledakan Air Deck**

Geometri Aktual Baldeck											
No	Tanggal	Lokasi	B	S	H	D	PC	T	Deck	Dabex	PF
			m	m	m	mm	m	m	m	kg	kg/m <sup>3</sup>
1	18/10/24	Sentuk Barat	7	8	6	171,45	2	3,4	0,5	61	0,18
2	22/10/24	Sentuk Barat	7,5	8,5	8	171,45	3,77	3,77	0,5	113,4	0,22
3	23/10/24	Sentuk Barat	7,5	8,5	7,6	171,45	3,29	3,81	0,5	98,75	0,2
			7	8	6,8	171,45	2,62	3,68	0,5	78,67	0,21
4	24/10/24	Sentuk Barat	7,5	8,5	7,7	171,45	3,29	3,91	0,5	98,7	0,2
5	25/10/24	Sentuk Barat	7	8	6,4	171,45	2,32	3,6	0,5	69,52	0,19
6	26/10/24	Sentuk Timur	7	8	8,7	171,45	4,2	4	0,5	126	0,26
			7,5	8,5	6,7	171,45	2,5	3,8	0,5	74,4	0,17
7	27/10/24	Sentuk Timur	7,5	8,5	8,1	171,45	3,5	4	0,5	107	0,21
8	28/10/24	Sentuk Barat	7,5	8,5	6,6	171,45	2,8	3,5	0,5	83,57	0,18

Geometri Aktual Baldeck											
No	Tanggal	Lokasi	B	S	H	D	PC	T	Deck	Dabex	PF
			m	m	m	mm	m	m	m	kg	kg/m <sup>3</sup>
9	29/10/24	Sentuk Barat	7,5	8,5	6,6	171,45	2,6	3,5	0,5	79,4	0,19
10	30/10/24	Sentuk Timur	7,5	8,5	8,3	171,45	3,8	4,06	0,5	114	0,21
11	31/10/24	Sentuk Barat	7	8	6,4	171,45	2,3	3,6	0,5	69,33	0,19
12	01/11/24	Sentuk Timur	7	8	6,5	171,46	2,3	3,7	0,5	72,61	0,2
13	04/11/24	Sentuk Timur	7	8	6,9	171,45	2,9	3,5	0,5	86	0,22
14	06/11/24	Sentuk Timur	7,5	8,5	7,4	171,45	3	3,8	0,5	92	0,2
15	07/11/24	Sentuk Timur	7,5	8,5	8,1	171,45	3,5	4,1	0,5	106	0,21
16	08/11/24	Sentuk Timur	7,5	8,5	6,1	171,45	2,4	3,2	0,5	73	0,19
17	08/11/24	Sentuk Timur	7,5	8,5	8	171,45	3,5	4	0,5	106	0,21
18	09/11/24	Sentuk Timur	7,5	8,5	7	171,45	2,8	3,6	0,5	84	0,19
19	10/11/24	Sentuk Barat	7	8	5,5	171,45	1,8	3,1	0,5	54	0,21
20	11/11/24	Sentuk Timur	7,5	8,5	5,6	171,45	2	3,1	0,5	60	0,17
21	13/11/24	Sentuk Timur	7,5	8,5	8	171,45	3,5	4	0,5	104	0,2
Rata-Rata			7,3	8,3	7,1	171,45	2,9	3,7	0,50	87,45	0,20

### **Pengukuran Getaran Peledakan Di Pit Sentuk**

Pengambilan data hasil pengukuran getaran tanah dilakukan pada jarak aman manusia yaitu 400-900 m. Alat yang digunakan untuk mengukur getaran tanah ini yaitu *micromate*. Alat ini terdiri dari *geophone* dan *microphone*. Data hasil pengukuran getaran *non air deck* dan *air deck* dapat dilihat pada tabel 5 dan tabel 6.

### **Perhitungan Scale Distance**

Perhitungan *Scaled distanced* ini digunakan untuk menghitung nilai PPV prediksi, pada perhitungan *scale distance* ini dibutuhkan nilai jumlah isian bahan peledak per delay dan jarak dari lokasi peledakan ke lokasi pengukuran getaran. Untuk isian bahan peledak per delay



didapatkan dari pelaporan jumlah bahan peledak yang digunakan dalam satu kali peledakan, sedangkan untuk jarak dari lokasi peledakan ke lokasi pengukuran didapatkan dengan menggunakan GPS atau menggunakan perhitungan metode koordinat, yaitu koordinat lokasi peledakan dan koordinat lokasi pengukuran getaran.

Perhitungan *scaled distance* pada peledakan 18 Oktober 2024

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

$$SD = \frac{117,94}{\sqrt{450}}$$

$$SD = 41,44$$

Berikut merupakan tabel perhitungan *scaled distance* dari data hasil pengukuran getaran

**Tabel 4 Hasil Perhitungan Scaled Distance**

No	Tanggal	Isian Per Lubang (Kg)	Lubang Meledak Bersamaan	Isian Per Delay (Kg)	Jarak (m)	SD	PPV (mm/s)
1	18/10/2022	117,94	1	117,94	450	41,44	1,20
2	22/10/2024	113,40	4	453,60	612	28,74	1,90
3	23/10/2024	78,67	8	629,36	881	35,12	1,29
4	24/10/2024	98,70	6	592,20	582	23,92	1,87
5	25/10/2024	69,52	6	417,12	473	23,16	1,56
6	26/10/2024	100,10	8	800,80	490	17,32	9,88
7	27/10/2024	107,00	8	856,00	484	16,54	7,74
8	28/10/2024	83,57	8	668,56	515	19,92	3,75
9	29/10/2024	79,38	4	317,50	931	52,25	1,13
10	30/10/2024	114,74	8	917,94	561	18,52	7,97
11	31/10/2024	69,33	7	485,29	590	26,78	2,62
12	01/11/2024	72,61	4	290,46	531	31,16	1,30
13	04/11/2024	85,91	4	343,66	571	30,80	1,40
14	06/11/2024	92,02	4	368,06	401	20,90	4,26
15	07/11/2024	106,23	10	1062,25	457	14,02	13,87
16	08/11/2024	105,71	8	845,70	542	18,64	7,21
17		72,92	4	291,70	499	29,22	1,55
18	09/11/2024	84,33	6	505,96	641	28,50	2,96
19	10/11/2024	52,46	4	209,85	465	32,10	2,79
20	11/11/2024	58,94	4	235,76	513	33,41	1,72
21	13/11/2024	103,88	4	415,53	760	37,28	2,70

#### **PPV Non Air Deck**

Data PPV *non air deck* ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT Dahana. Lokasi pengambilan data pengukuran berada di jarak 400-600 m dari lokasi peledakan. Data hasil pengukuran getaran dapat dilihat pada tabel 5 berikut

**Tabel 5 Data Pengukuran Getaran Non Air Deck**

No	Tanggal	Lokasi	Jarak	Depth	Isian	Stemming	PPV (mm/s)
1	09/01/2024	Sentuk	400	6,5	94	3,33	4,49
2	10/01/2024	Sentuk	381	6,6	98	3,45	6,17
3	31/01/2024	Sentuk	500	7,5	106	4	4,18
4	15/02/2024	Sentuk	416	5,8	83	3,1	4,78
5	14/03/2024	Sentuk	500	8,2	119	4,22	4,77
6	17/03/2024	Sentuk	400	7,4	113	3,7	4,90
7	08/04/2024	Sentuk	500	6,8	95	3,6	2,83
8	18/04/2024	Sentuk	500	8,5	128	4,2	5,78
9	25/04/2024	Sentuk	500	5,9	82	3,2	4,23
10	27/05/2024	Sentuk	511	7,5	107	4	4,58
11	09/08/2024	Sentuk	500	6,6	82	3,9	5,77
12	11/08/2024	Sentuk	500	5	59	3	3,44
13	12/08/2024	Sentuk	612	5,5	65,5	3,3	1,49
14	23/08/2024	Sentuk	600	6,1	83	3,3	2,03
15	30/08/2024	Sentuk	500	7,5	104	4	5,79
16	02/09/2024	Sentuk	500	4,67	56	2,8	6,93
17	03/09/2024	Sentuk	500	4,9	63	2,8	3,92
18	04/09/2024	Sentuk	500	4,4	50	2,7	4,05
19	05/09/2024	Sentuk	500	5,8	75	3,3	7,22
20	22/09/2024	Sentuk	530	7,8	112	4,1	6,16
21	23/09/2024	Sentuk	608	8,6	125	4,6	7,41

Dari 21 data pengukuran getaran peledakan *non air deck* yang telah dikumpulkan didapatkan nilai getaran maksimum yaitu 7,41 mm/s dan getaran minimum yaitu 1,49 mm/s. Untuk nilai rata-rata getaran yang dihasilkan peledakan *non air deck* yaitu 4,40 mm/s, menurut kelas baku standar tingkat getaran menurut SNI pada tabel 2.7 nilai PPV ini masuk pada tingkat kelas 2.

### **PPV Air Deck**

Data pengukuran getaran *air deck* ini sebanyak 21 data. Pengambilan data pengukuran getaran ini dilakukan pada jarak 450-900 m dari lokasi peledakan. Alat yang digunakan pada saat pengambilan data pengukuran getaran yaitu micromate. Data pengukuran getaran dapat dilihat pada tabel 7 berikut.



**Gambar 5 Alat Micromate**



**Gambar 6 Pengukuran Getaran**

**Tabel 7 Data Pengukuran Getaran Air Deck**

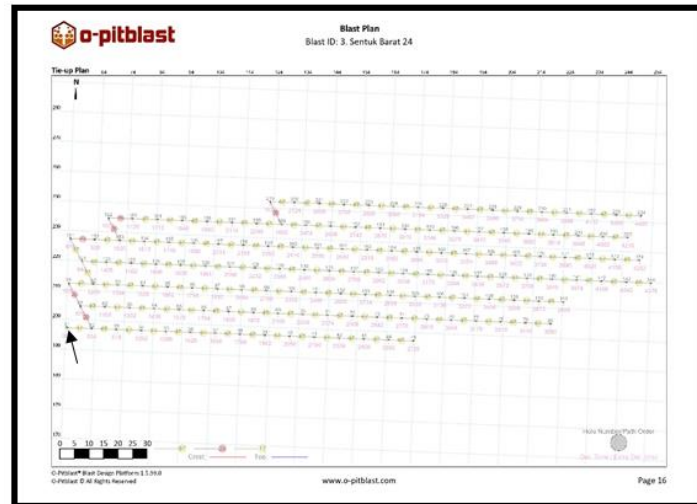
No	Lokasi	Tanggal	Jarak	Depth	Isian	Stemming	PPV (mm/s)
1	Sentuk Barat	18/10/2024	450	6	61	3,4	1,3
2	Sentuk Barat	22/10/2024	612	8	113,4	3,77	1,9
3	Sentuk Barat	23/10/2024	881	7,2	88,71	3,71	1,29
4	Sentuk Barat	24/10/2024	582	7,7	98,7	3,93	1,87
5	Sentuk Barat	25/10/2024	473	6,4	69,52	3,6	1,56
6	Sentuk Timur	26/10/2024	491	7,7	100,1	3,9	9,88
7	Sentuk Timur	27/10/2024	484	8,1	107	4	7,74
8	Sentuk Barat	28/10/2024	515	6,6	83,57	3,5	3,75
9	Sentuk Barat	29/10/2024	931	6,6	79,4	3,5	1,13
10	Sentuk Timur	30/10/2024	561	8,3	114	4,06	7,97
11	Sentuk Barat	31/10/2024	590	6,4	69,33	3,6	2,62

No	Lokasi	Tanggal	Jarak	Depth	Isian	Stemming	PPV (mm/s)
12	Sentuk Timur	01/11/2024	531	6,5	72,61	3,7	3,26
13	Sentuk Timur	04/11/2024	571	6,9	86	3,5	1,40
14	Sentuk Timur	06/11/2024	401	7,4	92	3,8	4,26
15	Sentuk Timur	07/11/2024	457	8,1	106	4,1	13,87
16	Sentuk Timur	08/11/2024	542	6,1	73	3,2	7,21
17			499	8	106	4	1,55
18	Sentuk Timur	09/11/2024	641	7	84	3,6	2,96
19	Sentuk Barat	10/11/2024	465	5,5	54	3,1	2,79
20	Sentuk Timur	11/11/2024	513	5,6	60	3,1	1,72
21	Sentuk Timur	13/11/2024	760	8	104	4	2,70

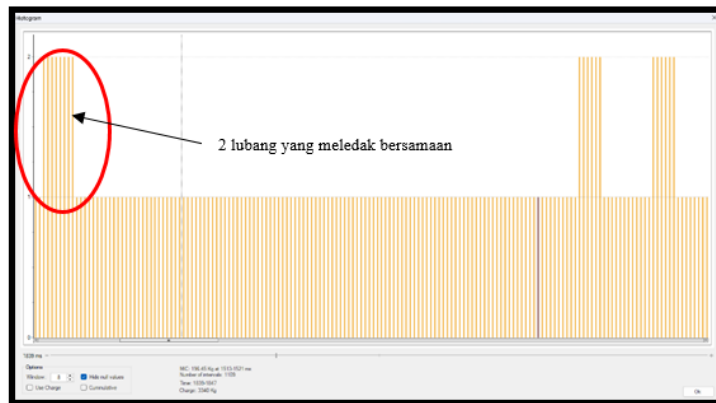
Dari 21 data yang telah dikumpulkan didapatkan nilai getaran maksimum pada peledakan *air deck* yaitu 13,87 mm/s dan getaran minimum yaitu 1,13. Untuk nilai rata-rata pada getaran peledakan *air deck* yaitu 3,93 mm/s. Nilai getaran maksimum pada tanggal 7 November 2024 disebabkan oleh beberapa faktor yaitu banyaknya lubang yang meledak bersamaan dan lokasi pengukuran getaran yang lebih tinggi dari lokasi peledakan. Menurut kelas baku standar tingkat getaran SNI Tahun 2023, nilai getaran maksimum yang dihasilkan ini masuk pada tingkat kelas 3, 4 dan 5. Namun karena lokasi peledakan jauh dari pemukiman maka nilai PPV tersebut tidak menjadi permasalahan bagi perusahaan.

### **Analisis Lubang Meledak Bersamaan**

Dalam suatu rangkaian pada kegiatan peledakan, perlu diperhatikan dalam penggunaan *delay*. Tujuan dari penggunaan *delay* sendiri yaitu untuk mengatur lubang yang meledak bersamaan agar dampak getaran yang dihasilkan oleh peledakan tersebut kecil. Dalam menentukan adanya lubang yang meledak bersamaan dilakukan simulasi rangkaian peledakan aktual menggunakan *software* O Pit Blast. Setelah dilakukan simulasi pada *software* dapat dilihat pada gambar 8 diagram histogram terhadap jumlah lubang yang meledak bersamaan. Berikut contoh diagram histogram pada peledakan tanggal 24 Oktober 2024 di Sentuk Barat.



**Gambar 7 Rangkaian Peledakan Aktual 24 Oktober 2024**



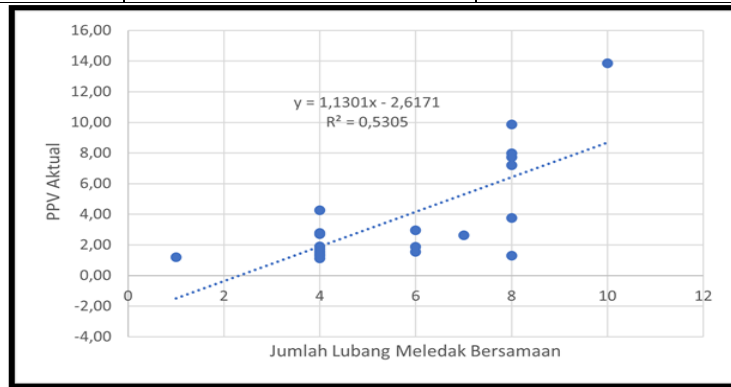
**Gambar 8 Diagram Histogram O Pit Blast**

Gambar 8 merupakan diagram histogram yang memperlihatkan adanya 2 lubang yang meledak bersamaan pada satu waktu. *Inhole delay* yang digunakan 500 ms dan 1000 ms. *Surface delay* yang digunakan yaitu 17 ms, 25 ms dan 67 ms. Pola peledakan menggunakan pola *echelon cut* dengan arah lemparan batuan cenderung ke arah *initiation point* dari pola peledakan tersebut.

**Tabel 8 Data Lubang Meledak Bersamaan**

No	Tanggal	Lubang Meledak Bersamaan	PPV
1	18/10/2022	1	1,20
2	22/10/2024	4	1,90
3	23/10/2024	8	1,29
4	24/10/2024	6	1,87
5	25/10/2024	6	1,56
6	26/10/2024	8	9,88
7	27/10/2024	8	7,74
8	28/10/2024	8	3,75
9	29/10/2024	4	1,13

No	Tanggal	Lubang Meledak Bersamaan	PPV
10	30/10/2024	8	7,97
11	31/10/2024	7	2,62
12	01/11/2024	4	1,30
13	04/11/2024	4	1,40
14	06/11/2024	4	4,26
15	07/11/2024	10	13,87
16	08/11/2024	8	7,21
17		4	1,55
18	09/11/2024	6	2,96
19	10/11/2024	4	2,79
20	11/11/2024	4	1,72
21	13/11/2024	4	2,70



**Gambar 9 Grafik Lubang Meledak Bersamaan Terhadap PPV**

Berdasarkan tabel 7 dan gambar 8 diatas menunjukkan bahwa grafik regresi linear sederhana dari hubungan antara lubang meledak bersamaan dengan PPV didapatkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,5305 dan nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,7283543. Berdasarkan tabel untuk koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,7283543 masuk ke dalam tingkat hubungan kuat. Sehingga pengaruh dari jumlah lubang yang meledak bersamaan terhadap PPV yaitu semakin banyak jumlah lubang yang meledak bersamaan maka PPV yang dihasilkan akan semakin tinggi.

### **Pengaruh Decking Terhadap Penggunaan Bahan Peledak**

Pengaplikasian *air deck* ini bertujuan untuk membuat kolom udara pada lubang ledak, selain itu juga dapat mengurangi panjang stemming ataupun kolom isian pada bahan peledak. Jenis media *air deck* yang digunakan yaitu *ball deck*. Dapat dilihat pada tabel untuk nilai *powder factor* pada peledakan *non air deck* dengan peledakan *air deck*. Pada peledakan *non air deck* didapatkan nilai rata-rata untuk *powder factor* sebesar 0,26 dan pada peledakan *air deck* didapatkan nilai rata-rata *powder factor* sebesar 0,20. Sehingga pengaruh penggunaan *air deck* terhadap *powder factor* terjadi penurunan sebesar 23,08%.

$$\text{Persentase Penurunan} = \frac{\text{Nilai Awal} - \text{Nilai Akhir}}{\text{Nilai Awal}} \times 100\%$$

$$\text{Persentase Penurunan} = \frac{0,26 - 0,20}{0,26} \times 100\%$$

$$\text{Persentase Penurunan} = 23,08\%$$

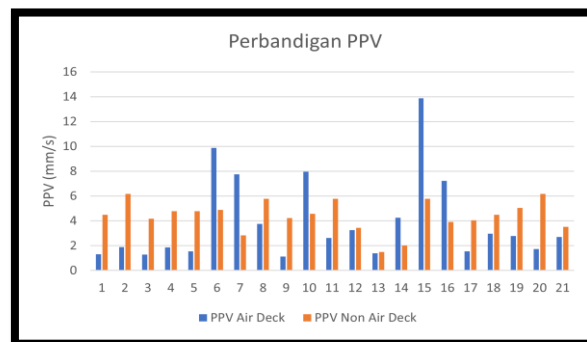
### Pengaruh Decking Terhadap *Ground Vibration*

*Decking* merupakan kolom udara pada lubang ledak yang bertujuan untuk menciptakan kurungan energi serta mengurangi pengeluaran gas secara vertikal. *Air deck* juga dapat mengurangi gelombang kejut yang dihasilkan pada saat bahan peledak di inisiasi. Berdasarkan tabel data hasil pengukuran getaran peledakan *non air deck* didapatkan nilai PPV maksimum yaitu 7,41 mm/s. Untuk rata-rata hasil pengukuran getaran pada peledakan *non air deck* yaitu 4,40 mm/s. Selanjutnya pada peledakan *air deck* dapat dilihat pada tabel didapatkan nilai PPV maksimum yaitu 13,87 dan rata-rata hasil pengukuran getaran pada peledakan *air deck* yaitu sebesar 3,93 mm/s.

$$\text{Persentase Penurunan} = \frac{\text{Nilai Awal} - \text{Nilai Akhir}}{\text{Nilai Awal}} \times 100\%$$

$$\text{Persentase Penurunan} = \frac{4,40 - 3,93}{4,40} \times 100\%$$

$$\text{Persentase Penurunan} = 10,68\%$$



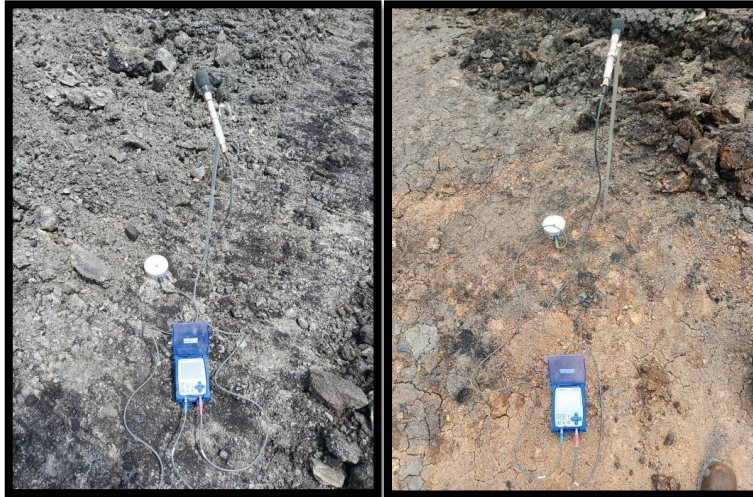
**Gambar 10 Grafik Perbandingan PPV**

Gambar 10 memperlihatkan penggunaan *air deck* tidak selalu membuat PPV menjadi lebih kecil, tetapi secara keseluruhan dari pengujian yang telah dilakukan penggunaan *air deck* memiliki nilai rata-rata PPV yang lebih kecil sehingga terjadi penurunan sebesar 10,68% dari nilai PPV pada peledakan tanpa *air deck*.

### Faktor Penyebab Nilai PPV Besar

Pada pengambilan data yang telah dilakukan di Pit Sentuk Barat dan Sentuk Timur, terdapat beberapa nilai getaran yang tinggi terutama pada Pit Sentuk Timur. Pada tabel dapat dilihat pada tanggal 7 November 2024, nilai getaran yang dihasilkan sebesar 13,87 mm/s. Hal ini dikarenakan oleh beberapa faktor. Faktor yang pertama yaitu disebabkan oleh banyaknya lubang yang meledak bersamaan sehingga getaran yang dihasilkan besar. Faktor yang kedua

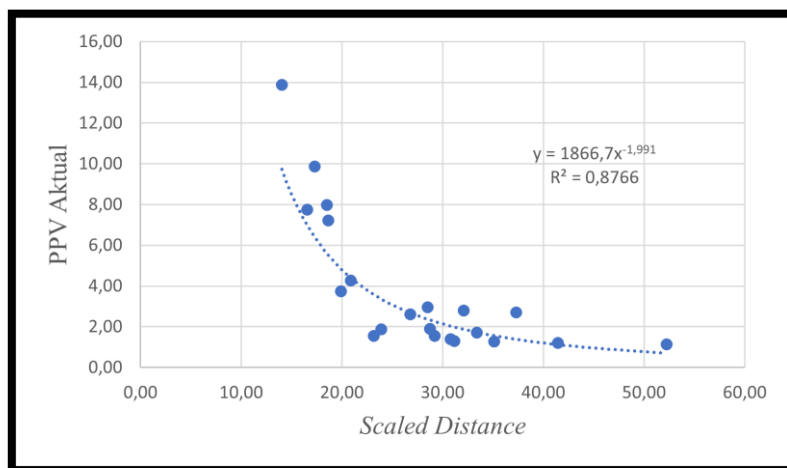
adalah lokasi pengukuran getaran. Apabila lokasi pengukuran getaran dilakukan pada tanah timbunan dengan elevasi lokasi monitoring yang lebih tinggi daripada lokasi peledakan, maka nilai getaran yang dihasilkan dapat lebih besar karena berasal dari getaran tanah dan gelombang udara seperti pada gambar 2.22 (Stiehr, 2011).



**Gambar 11 Kondisi Lokasi Pengukuran Pada Tanah Timbunan**

#### Analisis Penentuan Nilai K dan e

PPV yang dihasilkan pada tabel dapat digunakan untuk menentukan nilai K dan e untuk mengetahui nilai PPV prediksi yaitu dengan menggunakan analisis regresi. Jenis regresi yang digunakan adalah regresi *power* yaitu dengan membuat grafik hubungan antara *scaled distance* dengan PPV aktual.



**Gambar 12 Grafik Hubungan Scaled Distance dan PPV**

Gambar 12 yang menunjukkan grafik regresi power dari hubungan antara *scaled distance* dengan PPV dan didapatkan persamaan  $y = 1866,7x^{-1,991}$ , dari persamaan tersebut didapatkan nilai konstanta (K) sebesar 1866,7 dan nilai eksponen sebesar -1,991. Sedangkan untuk koefisien determinasi ( $R^2$ ) didapatkan sebesar 0,8766 dan nilai koefisien korelasi ( $r$ )



sebesar 0,936. Dapat dilihat pada tabel untuk koefisien korelasi (r) sebesar 0,936 termasuk ke dalam tingkat hubungan kuat.

### Perhitungan PPV Prediksi

Dari perhitungan analisis penentuan nilai K dan e, dapat dilihat bahwa pengaruh dari muatan bahan peledak per waktu tunda dapat mempengaruhi nilai getaran tanah. Dalam menghitung PPV prediksi dapat menggunakan persamaan 2.24. Berikut merupakan contoh perhitungan PPV prediksi pada tanggal 18 Oktober 2024.

$$PPV = K (SD)^{-e}$$

$$PPV = 1866,7 (41,44)^{-1,991}$$

$$PPV = 1,12 \text{ mm/s}$$

Berikut merupakan tabel hasil perhitungan PPV Prediksi pada tanggal 18 Oktober – 13 November 2024 dengan menggunakan persamaan  $y = 1866,7x^{-1,991}$ , dengan nilai konstanta (K) 1866,7 dan eksponen (e) -1,991.

**Tabel 9 Perhitungan PPV Prediksi**

No	Tanggal	SD	k	e	PPV Aktual (mm/s)	PPV Prediksi (mm/s)
1	18/10/2022	41,43566	1866,7	-1,991	1,20	1,12
2	22/10/2024	28,73524	1866,7	-1,991	1,90	2,33
3	23/10/2024	35,11772	1866,7	-1,991	1,29	1,56
4	24/10/2024	23,91601	1866,7	-1,991	1,87	3,36
5	25/10/2024	23,15958	1866,7	-1,991	1,56	3,58
6	26/10/2024	17,31546	1866,7	-1,991	9,88	6,39
7	27/10/2024	16,54278	1866,7	-1,991	7,74	7,00
8	28/10/2024	19,9176	1866,7	-1,991	3,75	4,83
9	29/10/2024	52,24898	1866,7	-1,991	1,13	0,71
10	30/10/2024	18,51641	1866,7	-1,991	7,97	5,59
11	31/10/2024	26,78249	1866,7	-1,991	2,62	2,68
12	01/11/2024	31,15685	1866,7	-1,991	1,30	1,98
13	04/11/2024	30,80161	1866,7	-1,991	1,40	2,03
14	06/11/2024	20,9018	1866,7	-1,991	4,26	4,39
15	07/11/2024	14,02175	1866,7	-1,991	13,87	9,72
16	08/11/2024	18,63759	1866,7	-1,991	7,21	5,52
17		29,21687	1866,7	-1,991	1,55	2,25
18	09/11/2024	28,49717	1866,7	-1,991	2,96	2,37
19	10/11/2024	32,09929	1866,7	-1,991	2,79	1,87
20	11/11/2024	33,41011	1866,7	-1,991	1,72	1,73
21	13/11/2024	37,28291	1866,7	-1,991	2,70	1,39

### Standar Deviasi PPV Aktual dan Prediksi

Pengambilan data yang dilakukan pada tanggal 18 Oktober 2024 – 13 November 2024. Setelah itu dilakukan perhitungan PPV prediksi, maka dilakukan perhitungan standar deviasi untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan antara PPV aktual dengan PPV prediksi. Perhitungan standar deviasi dapat menggunakan rumus seperti pada persamaan 2.30.

**Tabel 10 Standar Deviasi PPV**

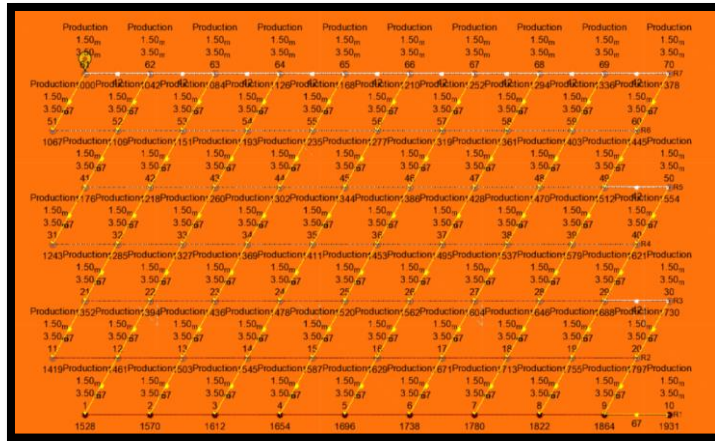
No	Tanggal	X (PPV Prediksi) (mm/s)	Y (PPV Aktual) (mm/s)	(X-Y) <sup>2</sup>
1	18/10/2022	1,12	1,20	0,01
2	22/10/2024	2,33	1,90	0,18
3	23/10/2024	1,56	1,29	0,08
4	24/10/2024	3,36	1,87	2,22
5	25/10/2024	3,58	1,56	4,08
6	26/10/2024	6,39	9,88	12,17
7	27/10/2024	7,00	7,74	0,55
8	28/10/2024	4,83	3,75	1,17
9	29/10/2024	0,71	1,13	0,18
10	30/10/2024	5,59	7,97	5,66
11	31/10/2024	2,68	2,62	0,00
12	01/11/2024	1,98	1,30	0,47
13	04/11/2024	2,03	1,40	0,40
14	06/11/2024	4,39	4,26	0,02
15	07/11/2024	9,72	13,87	17,20
16	08/11/2024	5,52	7,21	2,87
17		2,25	1,55	0,50
18	09/11/2024	2,37	2,96	0,35
19	10/11/2024	1,87	2,79	0,85
20	11/11/2024	1,73	1,72	0,00
21	13/11/2024	1,39	2,70	1,71
Jumlah				50,68
Standar Deviasi				1,59

Pada tabel 10 dapat dilihat bahwa penyimpangan antara PPV aktual dengan PPV prediksi yaitu sebesar 1,59 mm/s.

### Rekomendasi Geometri dan *Delay* Peledakan di Pit Sentuk

Pengaruh *delay* yang digunakan pada kegiatan peledakan ini memiliki pengaruh terhadap getaran yang dihasilkan. Jika *delay* yang digunakan memiliki waktu yang terlalu singkat maka akan berpotensi banyak lubang yang meledak bersamaan, maka dari itu perlu merekomendasikan *delay* yang akan digunakan agar mencegah terjadinya lubang yang meledak bersamaan. Dalam menentukan *delay* yang akan direkomendasikan perlu dilakukan *trial* pada

software *O Pit Blast* dengan tujuan melihat diagram histogram yang dihasilkan untuk mengetahui lubang yang meledak bersamaan. Berikut hasil rekomendasi yang dilakukan pada software *O Pit Blast*.



**Gambar 13 Rekomendasi Pola Echelon Cut**

Keterangan :

Putih : *Control Delay* 42 ms

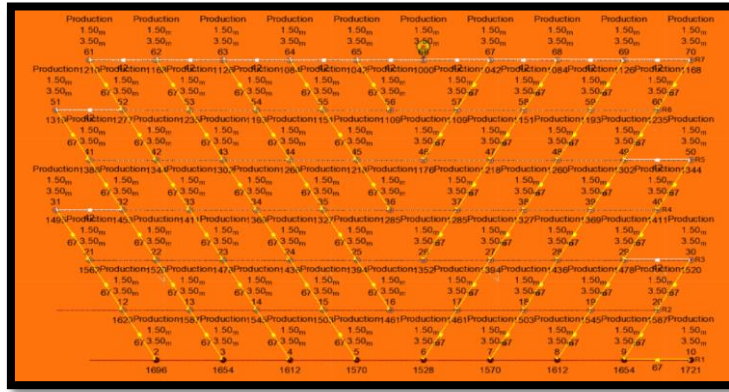
Kuning : *Surface Delay* 67 ms

Pada gambar 13 memperlihatkan hasil *trial* yang dilakukan pada software *O Pit Blast*. Pola peledakan yang digunakan yaitu pola *echelon cut*. Untuk *delay* yang digunakan pada rekomendasi kali ini yaitu 42 ms dan 67 ms. *Delay 42ms* digunakan pada *control row*, sedangkan untuk *delay 67 ms* digunakan pada sayap. *Inhole delay* yang digunakan yaitu 1000 ms.

**Tabel 11 Hasil PPV Prediksi Rekomendasi Pola Echelon Cut**

Jarak (m)	Isian Maksimum (kg)	<i>Surface Delay</i> (ms)	<i>Inhole Delay</i> (ms)	PPV Prediksi (mm/s)
300	130	42 & 67	1000	6,76
350	130	42 & 67	1000	5,74
400	130	42 & 67	1000	4,97
450	130	42 & 67	1000	4,38
500	130	42 & 67	1000	3,29

Pada tabel 11 merupakan hasil simulasi PPV prediksi berdasarkan rekomendasi geometri dan *delay* pada gambar 14. Mengacu pada tabel kelas baku standar tingkat getaran SNI 7571 : 2023 PPV prediksi masuk pada tingkat kelas 1. Isian maksimum yang digunakan untuk memberikan rekomendasi mengikuti sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh perusahaan.



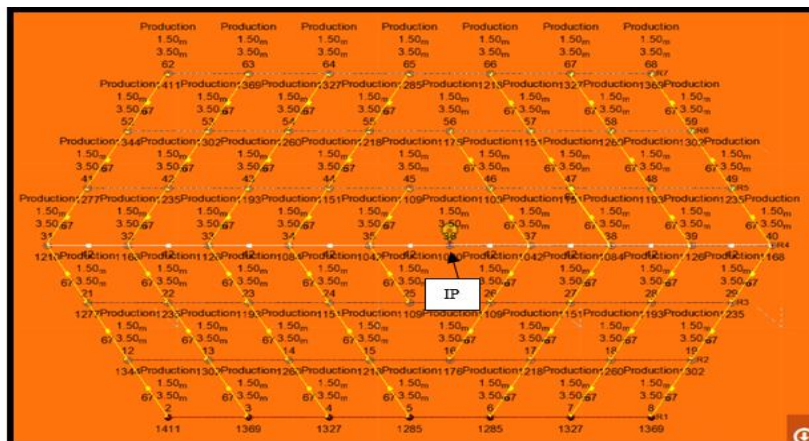
Gambar 14 Pola V-Cut

Gambar 14 memperlihatkan hasil *trial* yang dilakukan pada *software O Pit Blast*. Pola peledakan yang digunakan yaitu pola V-Cut. Untuk *delay* yang digunakan pada rekomendasi kali ini yaitu 42 ms dan 67 ms. *Delay 42ms* digunakan pada *control row*, sedangkan untuk *delay 67 ms* digunakan pada sayap. *Inhole delay* yang digunakan yaitu 1000 ms.

Tabel 12 Hasil PPV Prediksi Rekomendasi Pola V-Cut

Jarak (m)	Isian Maksimum (kg)	Surface Delay (ms)	Inhole Delay (ms)	PPV Prediksi (mm/s)
300	130	42 & 67	1000	11,78
350	130	42 & 67	1000	9,96
400	130	42 & 67	1000	8,66
450	130	42 & 67	1000	7,64
500	130	42 & 67	1000	6,82

Tabel 12 memperlihatkan hasil PPV prediksi berdasarkan simulasi yang dilakukan pada *software O Pit Blast*. Mengacu pada tabel hasil PPV prediksi masuk pada tingkat kelas 4 dan 5 baku standar tingkat getaran menurut SNI 7571 : 2023.



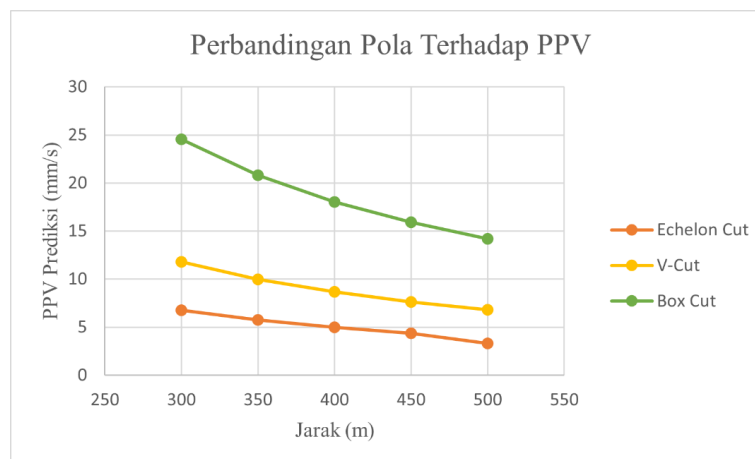
Gambar 15 Pola Box Cut

Gambar 15 memperlihatkan hasil *trial* yang dilakukan pada *software O Pit Blast*. Pola peledakan yang digunakan yaitu pola *Box Cut*. Untuk *delay* yang digunakan pada rekomendasi kali ini yaitu 42 ms dan 67 ms. *Delay 42ms* digunakan pada *control row*, sedangkan untuk *delay 67 ms* digunakan pada sayap. *Inhole delay* yang digunakan yaitu 1000 ms.

**Tabel 13 Hasil PPV Prediksi Rekomendasi Pola *Box Cut***

Jarak (m)	Isian Maksimum (kg)	Surface Delay (ms)	Inhole Delay (ms)	PPV Prediksi (mm/s)
300	130	42 & 67	1000	24,53
350	130	42 & 67	1000	20,8
400	130	42 & 67	1000	18,03
450	130	42 & 67	1000	15,9
500	130	42 & 67	1000	14,2

Tabel 13 memperlihatkan hasil PPV prediksi berdasarkan simulasi yang dilakukan pada *software O Pit Blast*. Mengacu pada tabel hasil PPV prediksi masuk pada tingkat kelas 5.



**Gambar 16 Grafik Perbandingan Pola Terhadap PPV**

Gambar 16 memperlihatkan hasil perbandingan pola terhadap PPV simulasi pola peledakan menggunakan jenis *surface delay* yang sama yaitu 42 ms dan 67 ms serta *inhole delay* 1000 ms. Dapat dilihat pada gambar 67 pola *echelon cut* memiliki nilai PPV yang lebih rendah dibandingkan pola *v-cut* dan pola *box cut*. Sehingga pola *echelon cut* lebih efektif dalam meminimalisir dampak getaran yang dihasilkan.

## 5. SIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan di Pit Sentuk, dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari hasil simulasi rangkaian aktual pada *software O Pit Blast* diketahui jumlah lubang

meledak bersamaan pada tanggal 7 November 2024 yaitu 10 lubang yang menyebabkan nilai PPV besar

2. Penggunaan *air deck* terhadap jumlah isian bahan peledak dapat mengurangi nilai *powder factor* dari rata-rata tanpa *air deck* yaitu  $0,26 \text{ kg/m}^3$  menjadi  $0,20 \text{ kg/m}^3$  pada peledakan *air deck*. Sehingga dapat menurunkan nilai *powder factor* sebesar 23,08%
3. Penggunaan *air deck* terhadap nilai PPV dapat mengurangi nilai rata-rata getaran pada peledakan tanpa *air deck* yaitu 4,40 mm/s menjadi 3,93 mm/s pada peledakan *air deck*. Sehingga penggunaan *air deck* menurunkan nilai PPV sebesar 10,68%
4. Dari hasil simulasi *software o pit blast*, pola *echelon cut* dengan menggunakan *surface delay* 42 ms dan 67 ms serta *in-hole delay* 1000 ns lebih efektif untuk meminimalisir dampak getaran yang dihasilkan.

### **Saran**

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya dilakukan analisis berdasarkan variasi posisi *decking*
2. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya penggunaan metode *air deck* ini bisa lebih dioptimalkan untuk penggunaan bahan peledak
3. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya dilakukan variasi media *air deck* untuk meminimalisir dampak getaran
4. Sebaiknya untuk penggunaan *surface delay* lebih diperhatikan dalam rangkaian peledakan

## **6. DAFTAR PUSTAKA**

- Hidayat, R., Asof, M., & Mukiat. (2019). Kajian aplikasi bottom air deck pada peledakan overburden di PT Bukit Asam, Tbk. *Jurnal Pertambangan*, 3(2).
- Jhanwar, J. C. (2011). Theory and practice of air-deck blasting in mines and surface excavations: A review. *Geotech Geol Eng.*
- Jhanwar, J. C., & Jethwa, J. L. (2000). The use of air decks in production blasting in an open pit coal mine. *Kluwer Academic Publishers.*
- Kabwe, E. (2016). Improving collar zone fragmentation by top air-deck blasting technique. *Geotech Geol Eng.* <https://doi.org/10.1007/s10706-016-0094-7>
- Koesnaryo, S. (1988). *Bahan peledak dan metode peledakan*. Fakultas Teknologi Mineral, UPN Veteran, Yogyakarta.
- Konya, C. J. (1995). *Blast design*. International Development Corporation, Montville, Ohio, USA.

- Konya, C. J., & Walter, E. J. (1991). *Rock blasting and overbreak control*. National Highway Institute.
- Moelhim, K. (1990). *Teknik peledakan*. Laboratorium Geoteknik, Pusat Antar Universitas Ilmu Rekayasa, Universitas Teknologi Bandung, Bandung.
- SNI 7571:2023. (2023). *Baku tingkat getaran peledakan pada kegiatan peledakan tambang terbuka terhadap bangunan*. Badan Standar Nasional Indonesia, Bandung.
- Stiehr, J. F. (2011). *ISEE Blasters' Handbook* (18th ed.). International Society of Explosives Engineers, USA.
- Sunaryadi, T. A. (2011). *Penyusunan program aplikasi komputasi perancangan peledakan pada tambang terbuka dengan menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic 6* (Disertasi Doktorat, UPN "Veteran" Yogyakarta).
- Wulansari, A. D. (2014). Efektivitas penerapan metode pembelajaran student teams achievement divisions dan team assisted individualization pada materi regresi linier. *Cendekia: Jurnal Kependidikan dan Kemasyarakatan*, 12(1), 155–173.