

ANALISIS GROUND VIBRATION PADA PEMBONGKARAN OVERBURDEN TERHADAP PERMUKIMAN PENDUDUK DI PIT PARINGIN PT BUKIT MAKMUR MANDIRI UTAMA JOBSITE PT ADARO INDONESIA

Ahmad Zaidan^{1*}, Nurhakim², Riswan³, Mayati Isabella⁴

¹ Mahasiswa PS Teknik Pertambangan, FT Universitas Lambung Mangkurat

²⁻³ Staf Pengajar PS Teknik Pertambangan, FT Universitas Lambung Mangkurat

⁴ Supervisor Drill & Blast, PT Bukit Makmur Mandiri Utama Jobsite PT Adaro Indonesia

e-mail : *ahmadzaidan5@gmail.com

ABSTRAK

Kegiatan peledakan yang dilakukan oleh PT Bukit Makmur Mandiri utama (BUMA) memegang peranan penting dalam kemajuan produksi tambang pada Pit Paringin, namun Pit Paringin memiliki jarak yang dekat dengan daerah kritis (permukiman penduduk) sehingga harus melakukan kontrol terhadap isian bahan peledak agar tingkat *ground vibration* yang dihasilkan tidak terlalu besar sesuai batas tingkat *ground vibration* yang ditetapkan PT Adaro Indonesia di daerah kritis yang tidak boleh lebih dari sama dengan 2 mm/s.

Metode analisis yang digunakan adalah dengan menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat *ground vibration* dan melakukan analisis *scaled distance* melalui *software Blastware 10* untuk mendapatkan rumus *scaled distance* yang akan digunakan untuk memprediksi isian bahan peledak maksimal per lubang dengan variasi jarak aman agar tingkat *ground vibration* tidak melebihi batas maksimal ditetapkan yaitu 1.99 mm/s.

Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat *ground vibration* yaitu jarak pengukuran, isian bahan peledak, metode *decking*, pola peledakan, diameter lubang ledak, burden dan spasi, serta elevasi lokasi peledakan. Hasil prediksi isian bahan peledak maksimal per lubang lokasi *Low Wall* metode *Double Deck* geometri 7 m x 8 m jarak terdekat 800 m terhadap permukiman penduduk yaitu sebesar 25 kg dan jarak terjauh 1130 m terhadap permukiman penduduk yaitu sebesar 49 kg, lokasi *High Wall* metode *Single Deck* geometri 8 m x 9 m, 9 m x 10 m, 10 m x 11,5 m jarak terdekat 800 m yaitu sebesar 46 kg, geometri 8 m x 9 m jarak terjauh 1120 m yaitu sebesar 90 kg, geometri 9 m x 10 m jarak terjauh 1210 m yaitu 104 kg, geometri 10 m x 11,5 m jarak terjauh 1150 m yaitu sebesar 94 kg, serta lokasi untuk *High Wall* metode *Air Deck* geometri 8 m x 9 m, 9 m x 10 m, 10 m x 11,5 m jarak terdekat 800 m yaitu sebesar 46 kg, geometri 8 m x 9 m jarak terjauh 1180 m yaitu sebesar 99 kg, geometri 9 m x 10 m jarak terjauh 1210 m yaitu sebesar 104 kg, geometri 10 m x 11,5 m jarak terjauh 1230 m yaitu sebesar 108 kg dengan nilai koreksi untuk prediksi isian bahan peledak lokasi *Low Wall* sebesar ± 5 kg dan lokasi *High Wall* sebesar ± 4 kg.

Kata Kunci : *Air Deck, Blasting, Ground Vibration, Peak Particle Velocity, Scaled Distance*

PEDAHULUAN

PT Bukit Makmur Mandiri Utama (BUMA) merupakan perusahaan kontraktor tambang batubara yang bekerja melayani produksi untuk PT Adaro Indonesia di Pit Paringin. Sistem penambangan yang diterapkan oleh PT BUMA adalah sistem tambang terbuka (*Surface Mining*) yang kegiatan penambangannya meliputi pembukaan lokasi tambang dan pembersihan lahan, pengupasan lapisan penutup, penggalian dan pengangkutan batubara.

Proses penambangan pada tahap pembongkaran *overburden*, merupakan tahap yang vital dimana terdapat pilihan untuk melakukan pembongkaran atau penggalian. Pembongkaran *overburden* dengan menggunakan peledakan digunakan bilamana penggalian secara mekanis tidak memungkinkan karena material yang tidak mudah digali, dimana aktivitas peledakan bertujuan membongkar batuan ataupun material tanah penutup dengan menggunakan bahan-bahan kimia. Perusahaan tambang menggunakan teknik pemboran dan peledakan (*drill and blast*) yang bertujuan untuk menunjang keberhasilan proses pembongkaran *overburden*.

Dalam proses peledakan ada beberapa macam indikator keberhasilan dari peledakan itu sendiri, diantaranya yaitu fragmentasi dan *ground vibration*. Dimana ukuran fragmen yang dihasilkan berpengaruh untuk proses penggalian *overburden* yang terledakkan yang

mempengaruhi kinerja alat gali muat dengan tidak mengesampingkan getaran peledakan yang ditimbulkan.

Kegiatan peledakan yang dilakukan oleh PT Bukit Makmur Mandiri Utama (BUMA) memegang peranan penting dalam kemajuan produksi tambang pada Pit Paringin. Pada kegiatan penambangan harus dilakukan pengupasan *overburden* dengan metode peledakan untuk mengambil batubara, namun Pit Paringin memiliki jarak yang dekat dengan daerah kritis (permukiman penduduk) sehingga harus melakukan kontrol terhadap isian bahan peledak agar tingkat *ground vibration* yang dihasilkan tidak terlalu besar. Batas tingkat *ground vibration* yang ditetapkan PT Adaro Indonesia di daerah kritis tidak boleh lebih dari sama dengan 2 mm/s.

METODOLOGI PENELITIAN

Ground Vibration

Getaran tanah (*ground vibration*) adalah gerakan bumi yang terjadi akibat perambatan gelombang seismik di bawah tanah. Kegiatan peledakan selalu menghasilkan gelombang seismik. Tujuan peledakan umumnya untuk memecahkan batuan. Kegiatan ini membutuhkan sejumlah energi yang cukup sehingga melebihi atau melampaui kekuatan batuan atau melampaui batas elastis batuan. Apabila hal tersebut terjadi maka batuan akan menjadi pecah. Proses pemecahan batuan akan terus berlangsung sampai energi yang dihasilkan bahan peledak makin lama makin berkurang dan menjadi lebih kecil dari kekuatan batuan. Sehingga proses

pemecahan batuan terhenti dan energi yang tersisa akan menjalar melalui batuan, karena masih dalam batas elastisitasnya. Hal ini akan menghasilkan gelombang seismik.

Menurut *Blasting Guideline Manual* (Rosenthal & Marlock, 1987) yang dikeluarkan oleh *US Office of Surface Mining Reclamation & Enforcement* (OSMRE), dinyatakan bahwa setiap kegiatan peledakan menghasilkan getaran dengan 3 (tiga) kriteria, yaitu: *Peak Particle Velocity* (PPV), *Peak Particle Acceleration* (PPA) dan *Peak Particle Displacement* (PPD). Dari beberapa penelitian, *Peak Particle Velocity* (PPV) merupakan kriteria yang paling berpengaruh dalam analisis tingkat getaran.

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

1. USBM (Duvall & Fogelson, 1962)

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$PPV = K \left(\frac{R}{\sqrt{Q_{max}}} \right)^{-\beta} \quad (1)$$

2. Ambraseys-Hendron (1968)

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$PPV = K \left(\frac{R}{Q_{max}^{1/3}} \right)^{-\beta} \quad (2)$$

3. Langefors_kihlstrom (1978)

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$PPV = K \left(\frac{R^{3/4}}{Q_{max}^{1/2}} \right)^{-\beta} \quad (3)$$

Dimana K dan β ialah *site constant*, Q_{max} ialah maksimum *charge* per *delay*, R ialah jarak antar *blast face* ke titik pengukuran. Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi tingkat getaran tanah hasil kegiatan peledakan. Getaran tanah hasil kegiatan peledakan dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu faktor yang dapat dikontrol dan yang tidak dapat dikontrol. Yang tergolong dalam faktor yang tak dapat dikontrol adalah faktor geologi, geomekanik batuan dan kondisi alam. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat getaran tanah dapat dilihat pada Tabel-1.

Analisis Scaled Distance

Cara yang praktis dan efektif untuk mengontrol getaran adalah dengan menggunakan *scaled distance*. Sehingga memungkinkan pelaksana lapangan menentukan jumlah bahan peledak yang diperlukan atau jarak aman untuk muatan bahan peledak yang jumlahnya telah ditentukan. Harga SD yang besar akan lebih aman, karena semakin jauh jaraknya akan lebih aman dibandingkan dengan jarak yang lebih dekat. Dengan menggunakan sistem metrik, *Scaled Distance* dapat dirumuskan sebagai persamaan (4). Dimana D merupakan jarak maksimum terhadap lokasi pengamatan (m) dan bahan peledak maksimum per periode tunda (kg).

$$Scaled Distance (SD) = \frac{D}{W^{1/2}} \quad (4)$$

Persamaan Peak Particle Velocity (PPV)

Peak Particle Velocity (PPV) merupakan kecepatan maksimum yang digunakan untuk menghitung besarnya getaran pada suatu lokasi yang tergantung pada jarak lokasi tersebut dari pusat peledakan dan dari jumlah bahan peledak yang dipakai per periode (*delay*). Berdasarkan penelitian yang dilakukan dalam usaha menentukan besarnya kecepatan partikel puncak (PPV) yang dihasilkan dalam sebuah peledakan, maka dapat ditentukan persamaan (5). Dimana PPV adalah *Peak Particle Velocity* dalam mm/s, D adalah jarak maksimum terhadap lokasi pengamatan dalam m, W merupakan bahan peledak maksimum per periode tunda (kg), serta k dan n merupakan konstanta yang harganya tergantung dari kondisi lokal dan kondisi peledakan.

$$PPV = k \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-n} \quad (5)$$

Tabel-1. Faktor-Faktor yang mempengaruhi Tingkat Getaran

No	Variabel yang dapat dikontrol operator tambang	Pengaruh terhadap tingkat getaran tanah		
		Signifikan	Sedang	Tidak Signifikan
1	Berat isian <i>per delay</i>	x		
2	Delay interval	x		
3	Burden dan Spasi		x	
4	Stemming (jumlah)			x
5	Stemming (tipe)			x
6	Panjang isian dan diameter			x
7	Sudut lubang bor			x
8	Arah inisiasi		x	
9	Berat isian per peledakan			x
10	Kedalaman isian			x
11	Bare vs Covered Primacord			x
12	Kecocokan isian	x		
1	Keadaan umum daerah permukaan			x
2	Tipe dan kedalaman Overburden	x		
3	Kondisi angin dan hujan			x

HASIL DAN DISKUSI

Analisis Jarak Pengukuran Terhadap Tingkat Ground Vibration

Analisis Jarak Pengukuran terhadap Tingkat *Ground Vibration* dibagi menjadi 4 (empat) pembahasan, yaitu peledakan secara umum (Gambar-1), peledakan lokasi *Low Wall* metode *Double Deck* (Gambar-2), peledakan lokasi *High Wall* metode *Single Deck* (Gambar-3), dan peledakan lokasi *High Wall* metode *Air Deck* (Gambar-4).

Pada Gambar-1 dapat diketahui bahwa semakin jauh jarak lokasi peledakan terhadap lokasi permukiman penduduk

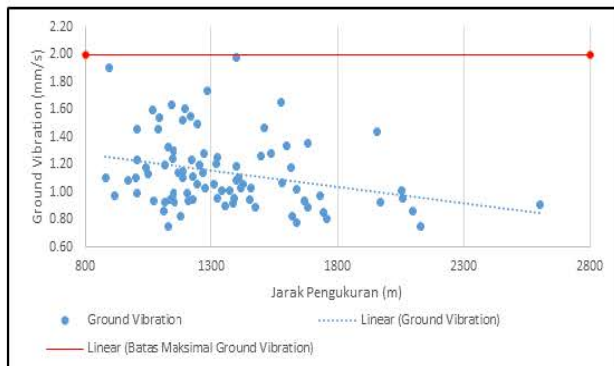
(titik pengukuran *ground vibration*), maka nilai *ground vibration* akan cenderung semakin turun, dibuktikan dengan garis *trendline* yang menurun. Begitupun sebaliknya, semakin dekat jarak lokasi peledakan terhadap lokasi permukiman penduduk (titik pengukuran *ground vibration*), maka nilai *ground vibration* akan cenderung semakin naik.

Pada gambar tersebut juga diketahui bahwa peledakan secara umum yang dilakukan di Pit Paringin di lokasi High Wall dan Low Wall pada bulan April hingga Mei 2016 terdapat 2 (dua) data *ground vibration* yang hampir mendekati batas aman hasil peledakan, yaitu peledakan pada tanggal 28 Mei 2016 di lokasi Low Wall dengan metode Double Deck yang menghasilkan nilai *ground vibration* sebesar 1.90 mm/s dan peledakan pada tanggal 29 Mei 2016 di lokasi High Wall dengan metode Air Deck yang menghasilkan nilai *ground vibration* sebesar 1.98 mm/s.

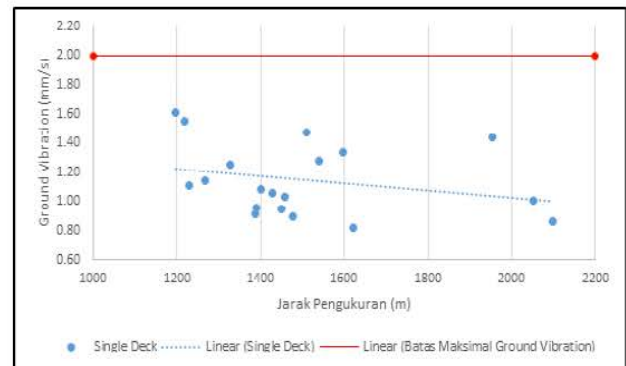
Namun demikian, walaupun terdapat 2 (dua) data *ground vibration* yang hampir mendekati batas aman, secara umum peledakan yang dilakukan di Pit Paringin lokasi High Wall dan Low Wall pada bulan April hingga Mei 2016 dengan jarak 879 m – 2599 m terhadap permukiman penduduk ini tidak ada nilai *ground vibration* yang melebihi ambang batas

maksimal hasil peledakan yang ditetapkan oleh PT Adaro Indonesia yaitu sebesar 2 mm/s.

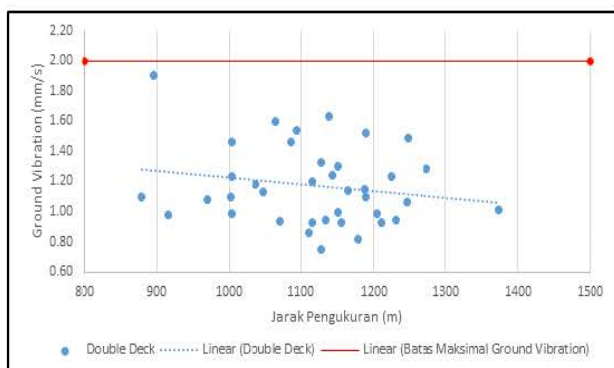
Dari Gambar-2 dapat diketahui bahwa peledakan pada lokasi Low Wall dengan metode Double Deck terdapat 1 (satu) data *ground vibration* yang hampir mendekati batas maksimal *ground vibration* hasil peledakan, yaitu peledakan pada tanggal 28 Mei 2016 yang menghasilkan nilai *ground vibration* sebesar 1.90 mm/s. Hal ini disebabkan karena lokasi peledakan yang relatif sangat dekat dengan permukiman penduduk (Desa Sungai Ketapi 1) yaitu berjarak 895 meter (kurang dari 1 kilometer). Selain itu, ketika proses *charging* pada kegiatan peledakan tanggal 28 Mei 2016, tidak dilakukan *test bucket* terlebih dulu pada selang tempat keluarnya bahan peledak dari Mobile Mixing Unit (MMU) untuk mengantisipasi perbedaan antara berat bahan peledak yang dikeluarkan dengan nilai berat bahan peledak yang ada pada layar indikator di dalam kabin MMU. Hal ini menyebabkan berat isian bahan peledak per lubang menjadi tidak sesuai (melebihi) dari rencana berat isian bahan peledak pada *blast design*, mengakibatkan tingkat *ground vibration* sebesar 1.90 mm/s yang hampir melewati batas maksimal hasil peledakan yaitu 2 mm/s.



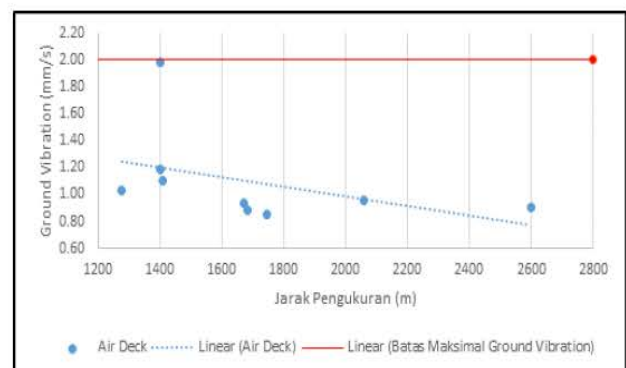
Gambar-1. Hubungan Jarak Pengukuran terhadap Tingkat *Ground Vibration* Secara Umum



Gambar-3. Hubungan Jarak Pengukuran terhadap Tingkat *Ground Vibration* Lokasi High Wall Metode Single Deck



Gambar-2. Hubungan Jarak Pengukuran terhadap Tingkat *Ground Vibration* Lokasi Low Wall Metode Double Deck



Gambar-4. Hubungan Jarak Pengukuran terhadap Tingkat *Ground Vibration* Lokasi High Wall Metode Air Deck

Dari Gambar-3 dapat diketahui bahwa semakin jauh jarak lokasi peledakan terhadap lokasi permukiman penduduk (titik pengukuran *ground vibration*), maka nilai *ground vibration* akan cenderung semakin turun, dibuktikan dengan garis *trendline* yang menurun. Begitupun sebaliknya, semakin dekat jarak lokasi peledakan terhadap lokasi permukiman penduduk (titik pengukuran *ground vibration*), maka nilai

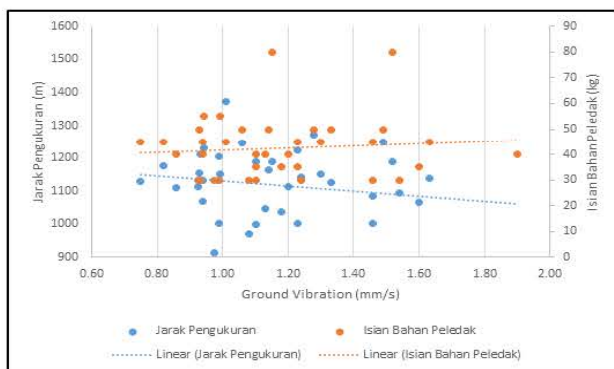
ground vibration akan cenderung semakin naik. Dari grafik di atas juga menunjukkan bahwa peledakan lokasi High Wall metode Double Deck tidak ada nilai *ground vibration* yang melebihi ambang batas maksimal hasil peledakan yang ditetapkan oleh PT Adaro Indonesia yaitu sebesar 2 mm/s.

Dari Gambar-4 dapat diketahui bahwa peledakan pada lokasi High Wall metode Air Deck terdapat 1 (satu) data

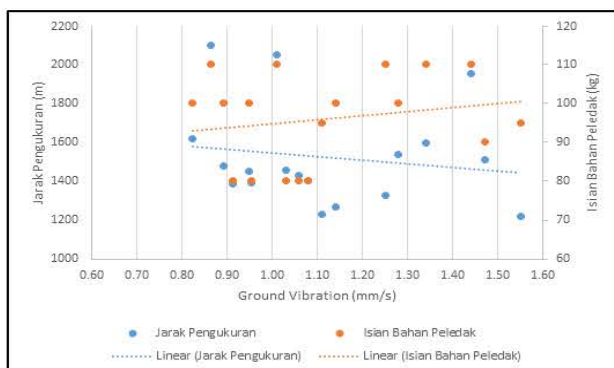
ground vibration yang hampir mendekati batas maksimal *ground vibration* hasil peledakan, yaitu peledakan pada tanggal 29 Mei 2016 yang menghasilkan nilai *ground vibration* sebesar 1.98 mm/s. Hal ini disebabkan karena lokasi peledakan yang relatif sangat dekat dengan permukiman penduduk (Desa PIR 2) yaitu berjarak 1399 meter (kurang lebih dari 1 kilometer) dan isian bahan peledak per lubang sebesar 110 kg merupakan isian bahan peledak per lubang terbesar untuk peledakan lokasi *High Wall* metode *Air Deck* bahkan untuk peledakan pada semua lokasi di bulan April – Mei 2016.

Analisis Jarak Pengukuran dan Isian Bahan Peledak per Lubang terhadap Tingkat *Ground Vibration*

Dari Gambar-5 dapat diketahui bahwa ketika jarak pengukuran semakin menurun, maka tingkat *ground vibration* akan semakin meningkat, dibuktikan dengan garis *trendline* berwarna biru yang menurun. Untuk isian bahan peledak, dapat diketahui bahwa ketika isian bahan peledak semakin meningkat, maka tingkat *ground vibration* pun akan



Gambar-5. Hubungan Jarak Pengukuran dan Isian Bahan Peledak terhadap *Ground Vibration* Lokasi *Low Wall* Metode *Double Deck*

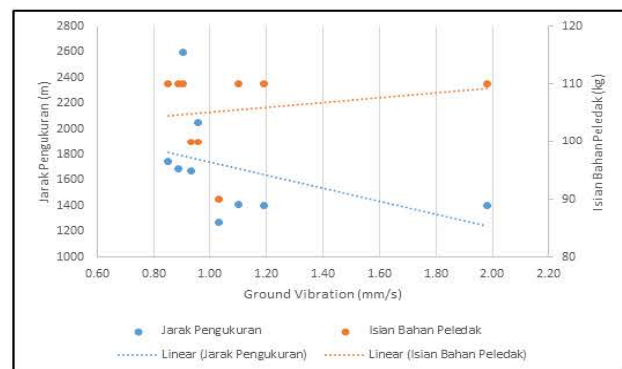


Gambar-6. Hubungan Jarak Pengukuran dan Isian Bahan Peledak terhadap *Ground Vibration* Lokasi *High Wall* Metode *Single Deck*

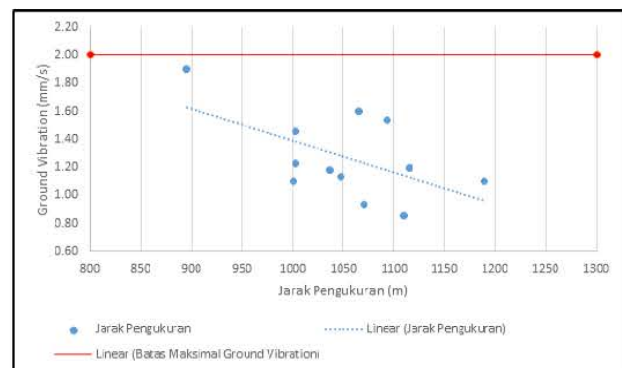
Dari Gambar-7 dapat diketahui bahwa ketika jarak pengukuran semakin menurun, maka tingkat *ground vibration* akan semakin meningkat, dibuktikan dengan garis *trendline* berwarna biru yang menurun. Untuk isian bahan peledak, dapat diketahui bahwa ketika isian bahan peledak semakin meningkat, maka tingkat *ground vibration* pun akan semakin meningkat, dibuktikan dengan garis *trendline* berwarna *orange* yang meningkat. Dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin dekat jarak peledakan lokasi *High Wall*

semakin meningkat, dibuktikan dengan garis *trendline* berwarna *orange* yang meningkat. Dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin dekat jarak peledakan lokasi *Low Wall* metode *Double Deck* terhadap titik pengukuran (permukiman penduduk) dan semakin banyak isian bahan isian peledak yang digunakan per lubang, maka tingkat *ground vibration* akan semakin meningkat.

Dari Gambar-6 dapat diketahui bahwa ketika jarak pengukuran semakin menurun, maka tingkat *ground vibration* akan semakin meningkat, dibuktikan dengan garis *trendline* berwarna biru yang menurun. Untuk isian bahan peledak, dapat diketahui bahwa ketika isian bahan peledak semakin meningkat, maka tingkat *ground vibration* pun akan semakin meningkat, dibuktikan dengan garis *trendline* berwarna *orange* yang meningkat. Dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin dekat jarak peledakan lokasi *High Wall* metode *Single Deck* terhadap titik pengukuran (permukiman penduduk) dan semakin banyak isian bahan isian peledak yang digunakan per lubang, maka tingkat *ground vibration* akan semakin meningkat.



Gambar-7. Hubungan Jarak Pengukuran dan Isian Bahan Peledak terhadap *Ground Vibration* Lokasi *High Wall* Metode *Air Deck*



Gambar-8. Hubungan Jarak Pengukuran terhadap Tingkat *Ground Vibration*

metode *Air Deck* terhadap titik pengukuran (permukiman penduduk) dan semakin banyak isian bahan isian peledak yang digunakan per lubang, maka tingkat *ground vibration* akan semakin meningkat.

Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Tingkat *Ground Vibration*

Berikut merupakan hasil analisis faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat *ground vibration*, yaitu Jarak

Pengukuran (Gambar-8), Isian Bahan Peledak (Gambar-9), Metode *Decking* (Gambar-10), Pola Peledakan (Gambar-11), Diameter Lubang Ledak (Gambar-12), Burden dan Spasi (Gambar-13), serta Elevasi Lokasi Peledakan (Gambar-14).

Analisis dilakukan terhadap data metode *decking*, diameter lubang ledak, burden, spasi, dan pola peledakan yang sama, serta isian bahan peledak yang relatif sama. Dari grafik di atas (Gambar-8), diketahui peningkatan jarak pengukuran akan diikuti penurunan tingkat *ground vibration*, dibuktikan dengan garis *trendline* yang menurun, begitu juga sebaliknya, penurunan jarak pengukuran akan diikuti dengan peningkatan tingkat *ground vibration*.

Hasil analisis menunjukkan bahwa peledakan yang dilakukan dengan jarak yang semakin menjauhi permukiman penduduk, maka tingkat *ground vibration* akan semakin menurun, begitupun sebaliknya, peledakan yang dilakukan dengan jarak yang semakin mendekati permukiman penduduk, maka tingkat *ground vibration* akan semakin meningkat.

Analisis dilakukan terhadap data metode *decking*, diameter lubang ledak, burden, spasi, dan pola peledakan yang sama, serta jarak pengukuran yang relatif sama. Dari grafik di atas (Gambar-9), diketahui peningkatan isian bahan peledak akan diikuti peningkatan tingkat *ground vibration*, dibuktikan dengan garis *trendline* yang meningkat, begitu juga sebaliknya, penurunan isian bahan peledak akan diikuti dengan penurunan tingkat *ground vibration*.

Hasil analisis menunjukkan bahwa peledakan yang dilakukan dengan isian bahan peledak per lubang yang semakin banyak, maka tingkat *ground vibration* akan semakin meningkat, begitupun sebaliknya, peledakan yang dilakukan dengan isian bahan peledak per lubang yang semakin sedikit, maka tingkat *ground vibration* akan semakin menurun.

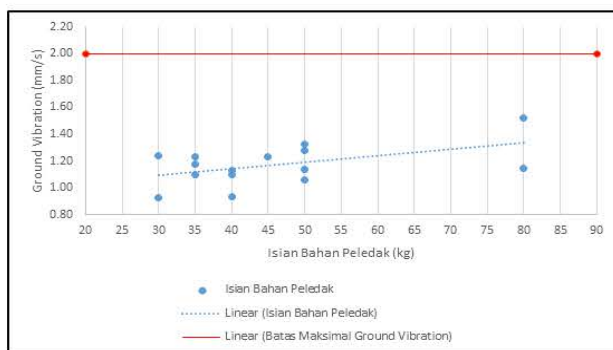
Analisis dilakukan terhadap data burden, spasi, diameter lubang ledak dan pola peledakan yang sama. Dari

grafik di atas (Gambar-10), diketahui bahwa peningkatan jarak pengukuran untuk ketiga metode *decking* akan diikuti penurunan tingkat *ground vibration*, dibuktikan dengan garis *trendline* yang menurun, begitu juga sebaliknya, penurunan jarak pengukuran akan diikuti dengan peningkatan tingkat *ground vibration* untuk ketiga metode *decking*.

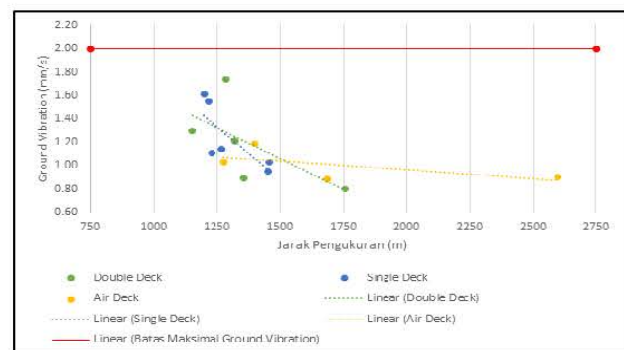
Terlihat bahwa garis *trendline* berwarna kuning mewakili metode *air deck* berada relatif paling bawah daripada garis *trendline* berwarna hijau mewakili metode *double deck* dan garis *trendline* berwarna biru mewakili metode *single deck* yang berarti garis *trendline* berwarna kuning mewakili metode *air deck* menunjukkan hubungan yang paling dekat dengan semakin menurunnya tingkat *ground vibration*.

Hasil analisis ini menunjukkan bahwa peledakan menggunakan metode *air deck* akan menghasilkan tingkat *ground vibration* yang lebih kecil nilainya dibandingkan peledakan yang menggunakan metode *double deck* maupun *air deck* berdasarkan hubungan jarak pengukuran terhadap tingkat *ground vibration*.

Analisis dilakukan terhadap data burden, spasi, diameter lubang ledak, dan metode *decking* yang sama, serta jarak pengukuran dan isian bahan peledak yang relatif sama. Dari grafik di atas (Gambar-11), diketahui bahwa peningkatan jarak pengukuran akan diikuti penurunan tingkat *ground vibration* untuk kedua pola peledakan, dibuktikan dengan garis *trendline* yang menurun mengarah ke sebelah kanan, begitu juga sebaliknya, penurunan jarak pengukuran akan diikuti dengan peningkatan tingkat *ground vibration* untuk kedua pola peledakan. Terlihat bahwa garis *trendline* berwarna *orange* mewakili pola peledakan *echelon* berada relatif dibawah garis *trendline* berwarna biru mewakili pola peledakan *box cut* yang berarti garis *trendline* berwarna *orange* mewakili pola peledakan *echelon* menunjukkan hubungan yang paling dekat dengan semakin menurunnya tingkat *ground vibration*.



Gambar-9. Hubungan Isian Bahan Peledak terhadap Tingkat *Ground Vibration*



Gambar-10. Hubungan Metode *Decking* terhadap Tingkat *Ground Vibration*

Hasil analisis ini menunjukkan bahwa peledakan menggunakan pola peledakan *echelon* akan menghasilkan tingkat *ground vibration* yang lebih kecil nilainya dibandingkan peledakan yang menggunakan metode peledakan *box cut* berdasarkan hubungan jarak pengukuran terhadap tingkat *ground vibration*. Analisis dilakukan terhadap data burden, spasi, diameter lubang ledak dan pola peledakan yang sama.

Dari Gambar-12, diketahui bahwa peningkatan jarak pengukuran akan diikuti penurunan tingkat *ground vibration* untuk kedua diameter lubang ledak, dibuktikan dengan garis *trendline* yang menurun, begitu juga sebaliknya, penurunan jarak pengukuran akan diikuti dengan peningkatan tingkat *ground vibration* untuk kedua diameter lubang ledak. Terlihat bahwa garis *trendline* berwarna biru mewakili diameter 171 mm berada relatif dibawah garis *trendline* berwarna *orange*

mewakili diameter 200 mm yang berarti garis *trendline* berwarna biru mewakili diameter 171 mm menunjukkan hubungan yang paling dekat dengan semakin menurunnya tingkat *ground vibration*.

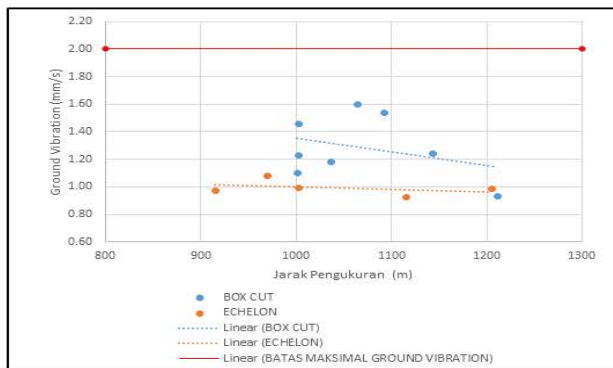
Hasil analisis ini menunjukkan bahwa peledakan menggunakan lubang ledak diameter 171 mm akan menghasilkan tingkat *ground vibration* yang lebih kecil nilainya dibandingkan peledakan yang menggunakan lubang ledak diameter 200 mm berdasarkan hubungan jarak pengukuran terhadap tingkat *ground vibration*.

Dari Gambar-13, diketahui bahwa penurunan tingkat *ground vibration* akan diikuti peningkatan jarak pengukuran untuk keempat ukuran burden dan spasi, dibuktikan dengan garis *trendline* yang menurun mengarah ke sebelah kanan, begitu juga sebaliknya, peningkatan tingkat *ground vibration* akan diikuti dengan penurunan jarak pengukuran untuk keempat ukuran burden dan spasi. Terlihat bahwa garis *trendline* berwarna hijau mewakili burden dan spasi ukuran 7 m x 8 m berada relatif paling bawah daripada garis *trendline* berwarna biru mewakili burden dan spasi ukuran 8 m x 9 m, garis *trendline* berwarna kuning mewakili burden dan spasi

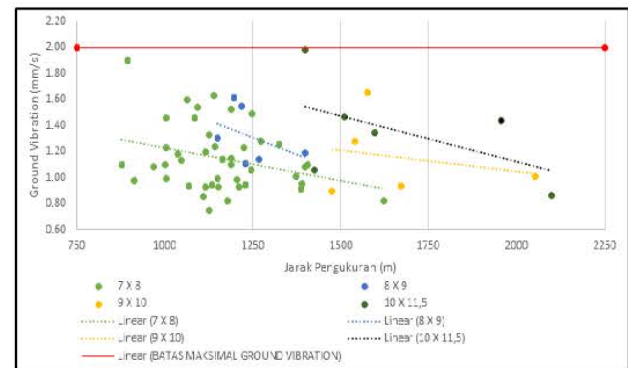
ukuran 9 m x 10 m, dan garis *trendline* berwarna hitam mewakili burden dan spasi ukuran 10 m x 11,5 m yang berarti garis *trendline* berwarna hijau mewakili burden dan spasi ukuran 7 m x 8 m menunjukkan hubungan yang paling dekat dengan semakin menurunnya tingkat *ground vibration*.

Hasil analisis ini menunjukkan peledakan menggunakan burden dan spasi 7 x 8 akan menghasilkan tingkat *ground vibration* yang lebih kecil nilainya dibandingkan menggunakan burden dan spasi 8 m x 9 m, 9 m x 10 m dan 10 m x 11,5 m berdasarkan hubungan jarak pengukuran terhadap tingkat *ground vibration*.

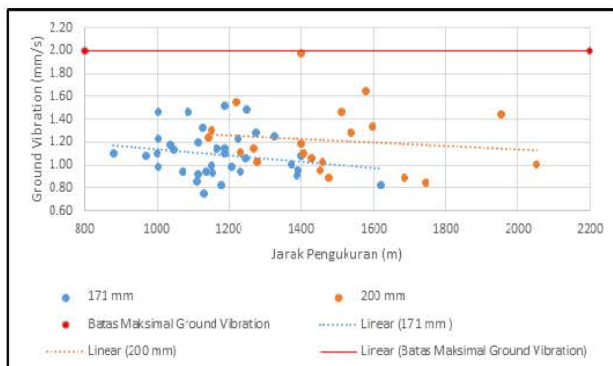
Analisis dilakukan terhadap data metode *decking*, diameter lubang ledak, burden, spasi, dan pola peledakan yang sama, serta jarak pengukuran dan isian bahan peledak yang relatif sama. Dari Gambar-14, diketahui peningkatan tingkat *ground vibration* akan diikuti peningkatan elevasi lokasi peledakan, dibuktikan dengan garis *trendline* yang meningkat mengarah ke sebelah kanan, begitu juga sebaliknya, penurunan tingkat *ground vibration* akan diikuti dengan penurunan elevasi lokasi peledakan.



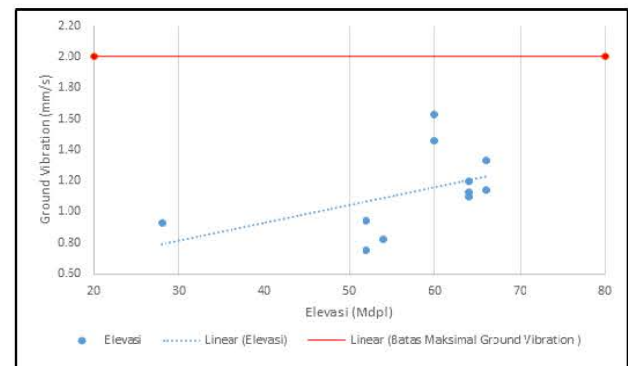
Gambar-11. Hubungan Pola Peledakan terhadap Tingkat *Ground Vibration*



Gambar-13. Hubungan Burden dan Spasi terhadap Tingkat *Ground Vibration*



Gambar-12. Hubungan Diameter Lubang Ledak terhadap Tingkat *Ground Vibration*



Gambar-14. Hubungan Elevasi Lokasi Peledakan terhadap Tingkat *Ground Vibration*

Hasil analisis menunjukkan peledakan yang dilakukan pada elevasi semakin tinggi, maka tingkat *ground vibration* akan semakin meningkat, begitupun sebaliknya, peledakan yang dilakukan pada elevasi yang semakin rendah, maka tingkat *ground vibration* akan semakin menurun.

Analisis *Scaled Distance* Lokasi *Low Wall* dan *High Wall*

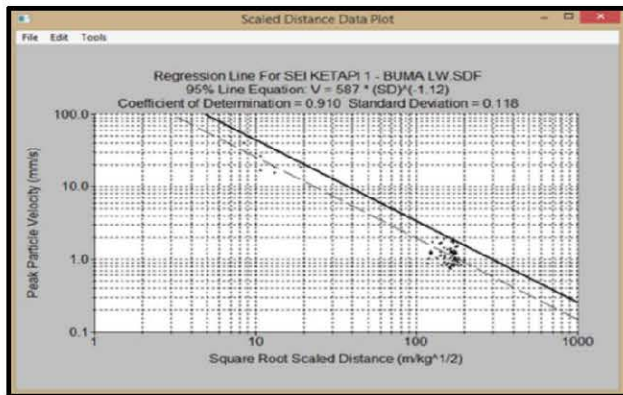
Analisis *scaled distance* menggunakan perangkat lunak *Blastware 10* oleh tim *Explosives & Blasting (EB)* PT Adaro Indonesia, data yang digunakan merupakan data *ground vibration* keseluruhan hasil peledakan yang dilakukan di lokasi *Low Wall* dan *High Wall* dari pertama PT BUMA melakukan aktivitas *Blasting* di Pit Paringin. Data yang digunakan adalah data jarak lokasi peledakan ke permukiman penduduk, data isian bahan peledak dan data *ground vibration*

yang memiliki hubungan yang kuat (*linear*), yaitu semakin jauh jarak lokasi peledakan terhadap permukiman penduduk, maka tingkat *ground vibration* akan semakin rendah, begitupun sebaliknya, serta semakin banyak isian bahan peledak per lubang, maka tingkat *ground vibration* akan semakin tinggi. Karena setiap data hasil peledakan selalu dilaporkan PT BUMA (kontraktor) ke PT Adaro Indonesia (*owner*), maka PT Adaro Indonesia setiap hari mendapatkan data *ground vibration* hasil peledakan yang selalu diperbaharui (jarak, isian dan *ground vibration*) demi mendapatkan nilai konstanta kondisi lokal dan kondisi peledakan sesungguhnya.

Berikut adalah tahapan mendapatkan grafik dan persamaan *scaled distance* melalui *Blastware 10*.

- Buka program *Blastware 10*, setelah terbuka pilih pada "Event Manager" lokasi data *Blastmate III* tersimpan.
- Pilih "Tools" pada bagian *toolbar*, kemudian pilih "Scaled Distance" sehingga keluar *sheet* baru yaitu *sheet "Scaled Distance"*.
- Block/pilih data *Blastmate III* di "Event Manager" yang akan diolah, lalu klik "Add" pada *sheet Scaled Distance*.
- Setelah data *Blastmate III* ter-input di *sheet Scaled Distance*, kemudian salah satu data tersebut diblock lalu pilih "Edit" pada *menu bar* dan klik pada pilihan "Manual Edit". Kemudian keluar *sheet* baru yaitu "Edit Scaled Distance Record" dan ganti atau masukkan data nilai "Weight" (isian) dan "Distance" (jarak) sesuai data di lapangan, setelah terisi lalu klik "OK".
- Ulangi langkah c dan d sesuai jumlah data di lapangan.
- Pilih "Graph" pada *menu bar sheet Scaled Distance*, lalu klik "Square Root" sehingga keluar grafik "Scaled Distance Data Plot".

Dari grafik hubungan *Scaled Distance* terhadap *PPV* Lokasi *Low Wall* (Gambar-15) dan Lokasi *High Wall* (Gambar-16), didapatkan persamaan (6).



Gambar-15. Hubungan *Scaled Distance* terhadap *PPV* Lokasi *Low Wall*

Dari 2 (dua) rumus di atas, dapat dihitung prediksi isian bahan peledak maksimal per lubang untuk lokasi *Low Wall* dan lokasi *High Wall* dengan jarak minimal 800 m dan jarak maksimal 2600 m dengan *PPV* rencana sebesar 1,99 mm/s karena batas aman peledakan terhadap permukiman penduduk yang ditetapkan oleh PT Adaro Indonesia adalah sebesar 2 mm/s. Dari Tabel-2, dapat tentukan grafik prediksi

$$PPV = k \times (SD)^{-n} \quad (6)$$

$$SD = \frac{D}{W^{0.5}} \quad (7)$$

$$PPV = k \times \left(\frac{D}{W^{0.5}}\right)^{-n} \quad (8)$$

$$PPV = 587 \times \left(\frac{D}{W^{0.5}}\right)^{-1.12} \quad (9)$$

$$PPV = 629 \times \left(\frac{D}{W^{0.5}}\right)^{-1.21} \quad (10)$$

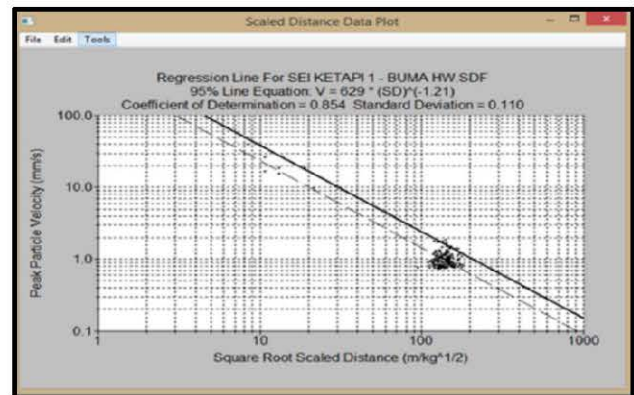
Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal per Lubang dengan Variasi Jarak Aman

Prediksi jumlah isian bahan peledak maksimal per lubang ini digunakan untuk mengontrol tingkat *ground vibration* yang dihasilkan dari kegiatan peledakan. Untuk menentukan isian bahan peledak maksimal dengan variasi jarak aman pada standar nilai *PPV* di lokasi *Low Wall* dan lokasi *High Wall* dilakukan proses penurunan rumus (Gambar-17) menggunakan persamaan umum (6), (7), (8), (9), (10). Adapun proses penurunan rumus tersebut dapat dilihat pada Gambar-17.

Berdasarkan hasil penurunan rumus penentuan isian bahan peledak maksimal (Gambar-17), didapatkan persamaan (11) untuk penentuan isian bahan peledak untuk lokasi *Low Wall* dan persamaan (12) penentuan isian bahan peledak untuk lokasi *High Wall*.

$$W = \left(\frac{587 \times D^{-1.12}}{PPV}\right)^{-1.78} \quad (11)$$

$$W = \left(\frac{629 \times D^{-1.21}}{PPV}\right)^{-1.64} \quad (12)$$



Gambar-16. Hubungan *Scaled Distance* terhadap *PPV* Lokasi *High Wall*

isian bahan peledak maksimal per lubang terhadap jarak pengukuran untuk lokasi *Low Wall* (Gambar-18) dan lokasi *High Wall* (Gambar-19).

Dari grafik di atas (Gambar-18 dan Gambar-19) dapat dilihat bahwa setiap perubahan jarak pengukuran tingkat getaran, akan diikuti perubahan jumlah isian bahan peledak maksimal per lubang untuk peledakan lokasi *Low*

Wall dan High Wall. Dari grafik tersebut, akan ditentukan prediksi isian bahan peledak maksimal per lubang terhadap variasi jarak pengukuran pada lokasi Low Wall dan High Wall berdasarkan metode *decking* pengisian lubang ledak dan berdasarkan geometri peledakan yang digunakan.

Berdasarkan metode *decking*, terbagi menjadi peledakan lokasi Low Wall metode *Double Deck*, peledakan lokasi High Wall metode *Single Deck* dan peledakan lokasi High Wall metode *Air Deck*. Berdasarkan geometri peledakan, terbagi menjadi peledakan lokasi Low Wall

metode *Double Deck* geometri 7 m x 8 m, peledakan lokasi High Wall metode *Single Deck* geometri 8 m x 9 m, 9 m x 10 m, 10 m x 11,5 m dan peledakan lokasi High Wall metode *Air Deck* geometri 8 m x 9 m, 9 m x 10 m, 10 m x 11,5 m.

Berikut merupakan prediksi isian bahan peledak maksimal per lubang terhadap variasi jarak pengukuran berdasarkan metode *decking* pengisian lubang ledak dan geometri peledakan.

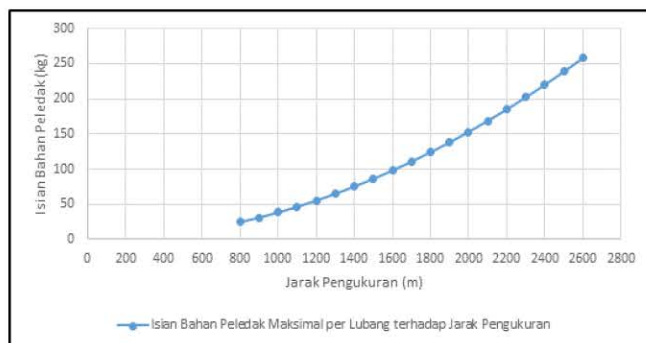
Tabel-2

Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal per Lubang Lokasi Low Wall dan High Wall

JARAK (m)	PPV (mm/s)	LOW WALL	HIGH WALL
		ISIAN (kg)	ISIAN (kg)
800	1.99	25	46
900	1.99	31	58
1000	1.99	38	71
1100	1.99	46	86
1200	1.99	55	102
1300	1.99	65	120
1400	1.99	75	139
1500	1.99	86	160
1600	1.99	98	181
1700	1.99	111	205
1800	1.99	124	229
1900	1.99	138	255
2000	1.99	153	282
2100	1.99	169	311
2200	1.99	185	341
2300	1.99	202	373
2400	1.99	220	406
2500	1.99	239	440
2600	1.99	258	475

LOW WALL	HIGH WALL
$PPV = 587 \times (SD)^{-1.12}$	$PPV = 629 \times (SD)^{-1.21}$
$PPV = 587 \times \left(\frac{D}{W^{0.5}}\right)^{-1.12}$	$PPV = 629 \times \left(\frac{D}{W^{0.5}}\right)^{-1.21}$
$PPV = 587 \times \left(\frac{D^{-1.12}}{W^{-0.56}}\right)$	$PPV = 629 \times \left(\frac{D^{-1.21}}{W^{-0.61}}\right)$
$PPV = \left(\frac{587 \times D^{-1.12}}{W^{-0.56}}\right)$	$PPV = \left(\frac{629 \times D^{-1.21}}{W^{-0.61}}\right)$
$W^{-0.56} = \left(\frac{587 \times D^{-1.12}}{PPV}\right)$	$W^{-0.61} = \left(\frac{629 \times D^{-1.21}}{PPV}\right)$
$W = \sqrt[{-0.56}]{\left(\frac{587 \times D^{-1.12}}{PPV}\right)}$	$W = \sqrt[{-0.61}]{\left(\frac{629 \times D^{-1.21}}{PPV}\right)}$
$W = \left(\frac{587 \times D^{-1.12}}{PPV}\right)^{-\frac{1}{0.56}}$	$W = \left(\frac{629 \times D^{-1.21}}{PPV}\right)^{-\frac{1}{0.61}}$
$W = \left(\frac{587 \times D^{-1.12}}{PPV}\right)^{-1.78}$	$W = \left(\frac{629 \times D^{-1.21}}{PPV}\right)^{-1.64}$

Gambar-17. Penurunan Rumus Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal



Gambar-18. Grafik Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal per Lubang Lokasi Low Wall terhadap Jarak Pengukuran

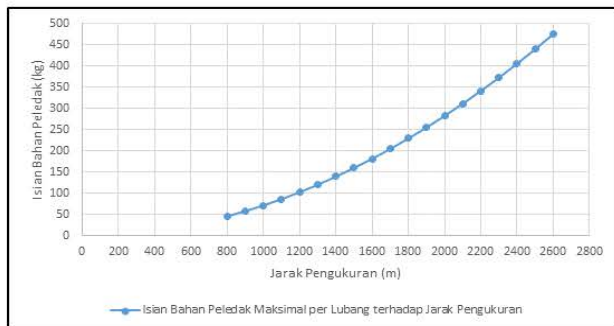
Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal per Lubang Ledak terhadap Variasi Jarak Pengukuran untuk Peledakan Lokasi Low Wall Metode *Double Deck* dan Geometri Peledakan 7 m x 8 m

Prediksi ini menggunakan data isian bahan peledak per lubang dari lokasi Low Wall metode *Double Deck* geometri 7 m x 8 m sebagai batas maksimal isian. Data isian bahan peledak per lubang ini didapatkan dari pengolahan data, yaitu penjumlahan *Powder Column (PC)* minimal dan maksimal kemudian dibagi 2 (dua) untuk mendapatkan nilai

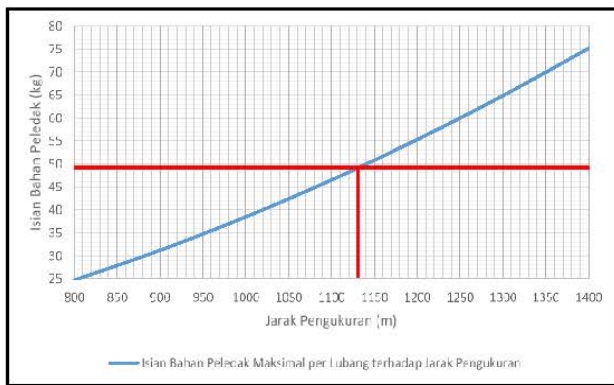
PC rata-rata, kemudian dikalikan dengan nilai *Loading Density (LD)* untuk geometri 7 m x 8 m. Untuk metode *Double Deck*, *PC* terbagi *Deck 1* dan *Deck 2*, sehingga perlu dijumlahkan dulu *PC* minimal *Deck 1* (0,4 m) dan *Deck 2* (0,4 m) serta *PC* maksimal *Deck 1* (1,5 m) dan *Deck 2* (1,5 m). Kemudian dilakukan penjumlahan untuk *PC* minimal (0,8 m) dan *PC* maksimal (3 m), lalu dibagi 2 (dua) dan dikalikan dengan nilai *LD* (26 kg/m). Berdasarkan hitungan tersebut, didapatkan nilai isian bahan peledak per lubang yaitu sebesar 49 kg, nilai ini yang akan dijadikan sebagai batas maksimal isian bahan peledak per lubang berdasarkan perhitungan *PC* dan *LD* untuk geometri 7 m x 8 m lokasi Low Wall metode *Double Deck*.

Gambar-20 menunjukkan bahwa peledakan lokasi *Low Wall* metode *Double Deck* geometri 7 m x 8 m, memiliki batas isian bahan peledak maksimal per lubang sebesar 49 kg di jarak pengukuran 1130 m yang berarti ketika peledakan dilakukan dengan jarak terhadap permukiman penduduk lebih 1130 m, maka isian bahan peledak maksimal per lubang akan tetap berada pada isian 49 kg. Dari grafik tersebut juga dapat menentukan nilai prediksi isian bahan peledak maksimal per lubang untuk variasi jarak aman dibawah 1130 m terhadap permukiman penduduk untuk peledakan lokasi *Low Wall* metode *Double Deck* dan geometri 7 m x 8 m.

Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal per Lubang Ledak terhadap Variasi Jarak Pengukuran untuk Peledakan Lokasi *High Wall* Metode *Single Deck* dan Geometri Peledakan 8 m x 9 m



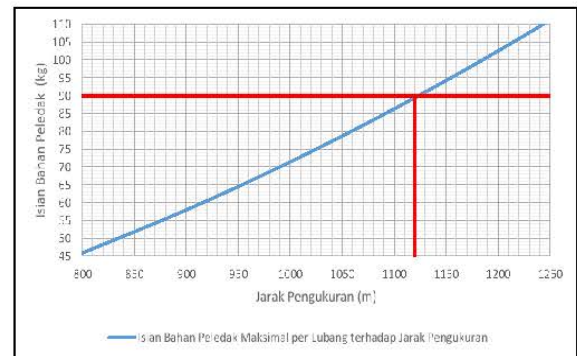
Gambar-19. Grafik Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal per Lubang Lokasi *High Wall* terhadap Jarak Pengukuran



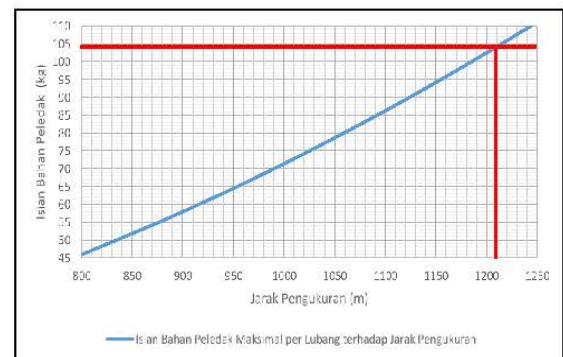
Gambar-20. Grafik Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal Per Lubang Ledak terhadap Variasi Jarak Pengukuran untuk Peledakan Lokasi *Low Wall* Metode *Double Deck* dan Geometri Peledakan 7 m x 8 m

Gambar-21 menunjukkan bahwa peledakan lokasi *High Wall* metode *Single Deck* geometri 8 m x 9 m, memiliki batas isian bahan peledak maksimal per lubang sebesar 90 kg di jarak pengukuran 1120 m yang berarti ketika peledakan dilakukan dengan jarak terhadap permukiman penduduk lebih 1120 m, maka isian bahan peledak maksimal per lubang akan tetap berada pada isian 90 kg. Dari grafik tersebut juga dapat menentukan nilai prediksi isian bahan peledak maksimal per lubang untuk variasi jarak aman dibawah 1120 m terhadap permukiman penduduk untuk peledakan lokasi *High Wall* metode *Single Deck* dan geometri 8 m x 9 m.

Prediksi ini menggunakan data isian bahan peledak per lubang dari lokasi *High Wall* metode *Single Deck* geometri 8 m x 9 m sebagai batas maksimal isian. Data isian bahan peledak per lubang ini didapatkan dari pengolahan data, yaitu penjumlahan *Powder Column* (PC) minimal (2,2 m) dan PC maksimal (2,8 m) kemudian dibagi 2 (dua) untuk mendapatkan nilai PC rata-rata, kemudian dikalikan dengan nilai *Loading Density* (LD) sebesar 36 kg/m untuk geometri 8 m x 9 m. Berdasarkan hitungan tersebut, didapatkan nilai isian bahan peledak per lubang yaitu sebesar 90 kg, nilai inilah yang akan dijadikan sebagai batas maksimal isian bahan peledak per lubang berdasarkan perhitungan PC dan LD untuk geometri 8 m x 9 m lokasi *High Wall* metode *Single Deck*.



Gambar-21. Grafik Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal Per Lubang Ledak terhadap Variasi Jarak Pengukuran untuk Peledakan Lokasi *High Wall* Metode *Single Deck* dan Geometri Peledakan 8 m x 9 m



Gambar-22. Grafik Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal Per Lubang Ledak terhadap Variasi Jarak Pengukuran untuk Peledakan Lokasi *High Wall* Metode *Single Deck* dan Geometri Peledakan 9 m x 10 m

Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal per Lubang Ledak terhadap Variasi Jarak Pengukuran untuk Peledakan Lokasi *High Wall* Metode *Single Deck* dan Geometri Peledakan 9 m x 10 m

Prediksi ini menggunakan data isian bahan peledak per lubang dari lokasi *High Wall* metode *Single Deck* geometri 9 m x 10 m sebagai batas maksimal isian. Data isian bahan peledak per lubang ini didapatkan dari pengolahan data, yaitu penjumlahan *Powder Column* (PC) minimal (2,8 m) dan

PC maksimal (3,0 m) kemudian dibagi 2 (dua) untuk mendapatkan nilai PC rata-rata, kemudian dikalikan dengan nilai *Loading Density* (LD) sebesar 36 kg/m untuk geometri 9 m x 10 m. Berdasarkan hitungan tersebut, didapatkan nilai isian bahan peledak per lubang yaitu sebesar 104 kg, nilai inilah yang akan dijadikan sebagai batas maksimal isian bahan peledak per lubang berdasarkan perhitungan PC dan LD untuk geometri 9 m x 10 m lokasi *High Wall* metode *Single Deck*.

Gambar-22 menunjukkan bahwa peledakan lokasi *High Wall* metode *Single Deck* geometri 9 m x 10 m, memiliki batas isian bahan peledak maksimal per lubang sebesar 104 kg di jarak pengukuran 1210 m yang berarti ketika peledakan dilakukan dengan jarak terhadap permukiman penduduk lebih 1210 m, maka isian bahan peledak maksimal per lubang akan tetap berada pada isian 104 kg. Dari grafik tersebut juga dapat menentukan nilai prediksi isian bahan peledak maksimal per lubang untuk variasi jarak aman dibawah 1210 m terhadap permukiman penduduk untuk peledakan lokasi *High Wall* metode *Single Deck* dan geometri 9 m x 10 m.

Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal per Lubang Ledak terhadap Variasi Jarak Pengukuran untuk Peledakan Lokasi *High Wall* Metode *Single Deck* dan Geometri Peledakan 10 m x 11,5 m

Prediksi ini menggunakan data isian bahan peledak per lubang dari lokasi *High Wall* metode *Single Deck* geometri 10 m x 11,5 m sebagai batas maksimal isian. Data isian bahan peledak per lubang ini didapatkan dari pengolahan data, yaitu penjumlahan *Powder Column* (PC) minimal (2,2 m) dan PC maksimal (3,0 m) kemudian dibagi 2 (dua) untuk mendapatkan nilai PC rata-rata, kemudian dikalikan dengan nilai *Loading Density* (LD) sebesar 36 kg/m untuk geometri 10 m x 11,5 m. Berdasarkan hitungan tersebut, didapatkan nilai isian bahan peledak per lubang yaitu sebesar 94 kg, nilai inilah yang akan dijadikan sebagai batas maksimal isian bahan peledak per lubang berdasarkan perhitungan PC dan LD untuk geometri 10 m x 11,5 m lokasi *High Wall* metode *Single Deck*.

Gambar-23 menunjukkan bahwa peledakan lokasi *High Wall* metode *Single Deck* geometri 10 m x 11,5 m, memiliki batas isian bahan peledak maksimal per lubang sebesar 94 kg di jarak pengukuran 1150 m yang berarti ketika peledakan dilakukan dengan jarak terhadap permukiman penduduk lebih 1150 m, maka isian bahan peledak maksimal per lubang akan tetap berada pada isian 94 kg. Dari grafik tersebut juga dapat menentukan nilai prediksi isian bahan peledak maksimal per lubang untuk variasi jarak aman dibawah 1150 m terhadap permukiman penduduk untuk peledakan lokasi *High Wall* metode *Single Deck* dan geometri 10 m x 11,5 m.

Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal per Lubang Ledak terhadap Variasi Jarak Pengukuran untuk Peledakan Lokasi *High Wall* Metode *Air Deck* dan Geometri Peledakan 8 m x 9 m

Prediksi ini menggunakan data isian bahan peledak per lubang dari lokasi *High Wall* metode *Air Deck* geometri 8 m x 9 m sebagai batas maksimal isian. Data isian bahan peledak per lubang ini didapatkan dari pengolahan data, yaitu

penjumlahan *Powder Column* (PC) minimal (2,5 m) dan PC maksimal (3 m) kemudian dibagi 2 (dua) untuk mendapatkan nilai PC rata-rata, kemudian dikalikan dengan nilai *Loading Density* (LD) sebesar 36 kg/m untuk geometri 8 m x 9 m. Berdasarkan hitungan tersebut, didapatkan nilai isian bahan peledak per lubang yaitu sebesar 99 kg, nilai inilah yang akan dijadikan sebagai batas maksimal isian bahan peledak per lubang berdasarkan perhitungan PC dan LD untuk geometri 8 m x 9 m lokasi *High Wall* metode *Air Deck*.

Gambar-24 menunjukkan bahwa peledakan lokasi *High Wall* metode *Air Deck* geometri 8 m x 9 m, memiliki batas isian bahan peledak maksimal per lubang sebesar 99 kg di jarak pengukuran 1180 m yang berarti ketika peledakan dilakukan dengan jarak terhadap permukiman penduduk lebih 1180 m, maka isian bahan peledak maksimal per lubang akan tetap berada pada isian 99 kg. Dari grafik tersebut juga dapat menentukan nilai prediksi isian bahan peledak maksimal per lubang untuk variasi jarak aman dibawah 1180 m terhadap permukiman penduduk untuk peledakan lokasi *High Wall* metode *Air Deck* dan geometri 8 m x 9 m.

Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal per Lubang Ledak terhadap Variasi Jarak Pengukuran untuk Peledakan Lokasi *High Wall* Metode *Air Deck* dan Geometri Peledakan 9 m x 10 m

Prediksi ini menggunakan data isian bahan peledak per lubang dari lokasi *High Wall* metode *Air Deck* geometri 9 m x 10 m sebagai batas maksimal isian. Data isian bahan peledak per lubang ini didapatkan dari pengolahan data, yaitu penjumlahan *Powder Column* (PC) minimal (2,8 m) dan PC maksimal (3,0 m) kemudian dibagi 2 (dua) untuk mendapatkan nilai PC rata-rata, kemudian dikalikan dengan nilai *Loading Density* (LD) sebesar 36 kg/m untuk geometri 9 m x 10 m. Berdasarkan hitungan tersebut, didapatkan nilai isian bahan peledak per lubang yaitu sebesar 104 kg, nilai inilah yang akan dijadikan sebagai batas maksimal isian bahan peledak per lubang berdasarkan perhitungan PC dan LD untuk geometri 9 m x 10 m lokasi *High Wall* metode *Air Deck*.

Gambar-25 menunjukkan bahwa peledakan lokasi *High Wall* metode *Air Deck* geometri 9 m x 10 m, memiliki batas isian bahan peledak maksimal per lubang sebesar 104 kg di jarak pengukuran 1210 m yang berarti ketika peledakan dilakukan dengan jarak terhadap permukiman penduduk lebih 1210 m, maka isian bahan peledak maksimal per lubang akan tetap berada pada isian 104 kg. Dari grafik tersebut juga dapat menentukan nilai prediksi isian bahan peledak maksimal per lubang untuk variasi jarak aman dibawah 1210 m terhadap permukiman penduduk untuk peledakan lokasi *High Wall* metode *Air Deck* dan geometri 9 m x 10 m.

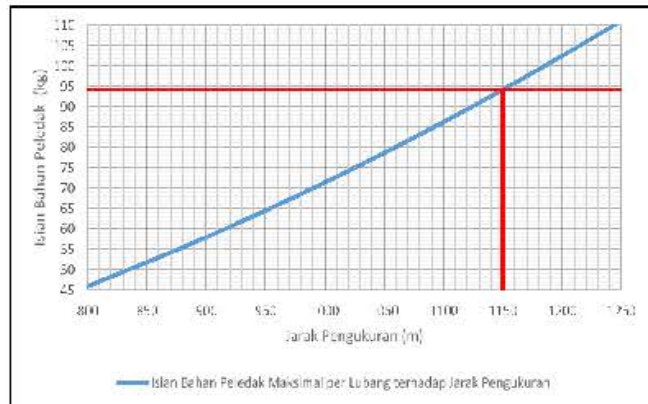
Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal per Lubang Ledak terhadap Variasi Jarak Pengukuran untuk Peledakan Lokasi *High Wall* Metode *Air Deck* dan Geometri Peledakan 10 m x 11,5 m

Prediksi ini menggunakan data isian bahan peledak per lubang dari lokasi *High Wall* metode *Air Deck* geometri 10 m x 11,5 m sebagai batas maksimal isian. Data isian bahan peledak per lubang ini didapatkan dari pengolahan data, yaitu nilai *Powder Column* (PC) sebesar 3 m dikalikan dengan nilai

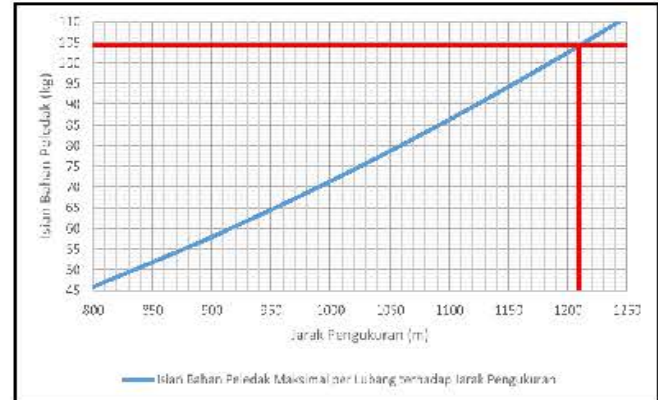
Loading Density (LD) sebesar 36 kg/m untuk geometri 10 m x 11,5 m. Berdasarkan hitungan tersebut, didapatkan nilai isian bahan peledak per lubang yaitu sebesar 108 kg, nilai inilah yang akan dijadikan sebagai batas maksimal isian bahan peledak per lubang berdasarkan perhitungan *PC* dan *LD* untuk geometri 10 m x 11,5 m lokasi *High Wall* metode *Air Deck*.

Dari grafik diatas (Gambar-26), menunjukkan bahwa peledakan lokasi *High Wall* metode *Air Deck* geometri 10 m x 11,5 m, memiliki batas isian bahan peledak maksimal

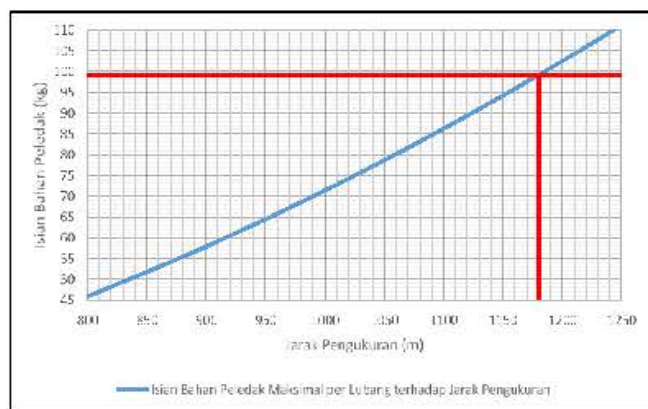
per lubang sebesar 108 kg di jarak pengukuran 1230 m yang berarti ketika peledakan dilakukan dengan jarak terhadap permukiman penduduk lebih 1230 m, maka isian bahan peledak maksimal per lubang akan tetap berada pada isian 108 kg. Dari grafik tersebut juga dapat menentukan nilai prediksi isian bahan peledak maksimal per lubang untuk variasi jarak aman dibawah 1230 m terhadap permukiman penduduk untuk peledakan lokasi *High Wall* metode *Air Deck* dan geometri 10 m x 11,5 m.



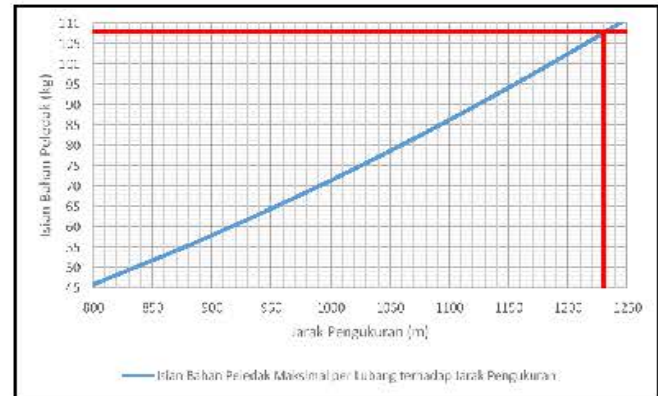
Gambar-23. Grafik Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal Per Lubang Ledak terhadap Variasi Jarak Pengukuran untuk Peledakan Lokasi *High Wall* Metode *Single Deck* dan Geometri Peledakan 10 m x 11,5 m



Gambar-25. Grafik Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal Per Lubang Ledak terhadap Variasi Jarak Pengukuran untuk Peledakan Lokasi *High Wall* Metode *Air Deck* dan Geometri Peledakan 9 m x 10 m



Gambar-24. Grafik Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal Per Lubang Ledak terhadap Variasi Jarak Pengukuran untuk Peledakan Lokasi *High Wall* Metode *Air Deck* dan Geometri Peledakan 8 m x 9 m



Gambar-26. Grafik Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal Per Lubang Ledak terhadap Variasi Jarak Pengukuran untuk Peledakan Lokasi *High Wall* Metode *Air Deck* dan Geometri Peledakan 10 m x 11,5 m

Penentuan Nilai Koreksi Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal per Lubang dengan Jarak Aktual

Penentuan nilai koreksi prediksi isian bahan peledak maksimal per lubang dengan jarak aktual terbagi menjadi 2 (dua) lokasi, yaitu untuk peledakan lokasi *Low Wall* dan *High Wall*. Pada peledakan lokasi *Low Wall*, terdapat 1 (satu) metode *Decking* yang diterapkan yaitu metode *Double Deck* dan terdapat 1 (satu) jenis geometri yang diterapkan yaitu 7 m x 8 m. Berikut adalah tabel nilai koreksi prediksi isian bahan peledak maksimal per lubang dengan jarak aktual lokasi *Low Wall*:

Berdasarkan Tabel-3, didapatkan nilai koreksi prediksi isian bahan peledak maksimal per lubang dengan

jarak aktual lokasi *Low Wall* sebesar 5 kg. Perhitungan ini berdasarkan selisih nilai isian bahan peledak prediksi dan aktual dengan menggunakan jarak aktual, ini berarti prediksi isian bahan peledak maksimal yang telah ditentukan sebelumnya, dapat dikoreksi yaitu sebesar ± 5 kg untuk setiap pengisian lubang ledak.

Pada peledakan lokasi *High Wall*, terdapat 2 (dua) metode *Decking* yang diterapkan yaitu metode *Single Deck* dan *Air Deck*, serta terdapat 3 (tiga) geometri yang diterapkan yaitu 8 m x 9 m, 9 m x 10 m dan 10 m x 11,5 m. Pada penentuan nilai koreksi prediksi ini, peledakan lokasi *High Wall* terbagi menjadi 6 (enam), yaitu metode *Single Deck* geometri 8 m x 9 m, metode *Single Deck* geometri 9 m x 10

m, metode *Single Deck* geometri 10 m x 11,5 m, metode *Air Deck* geometri 8 m x 9 m, metode *Air Deck* geometri 9 m x 10 m, dan metode *Air Deck* geometri 10 m x 11,5 m. Berikut tabel nilai koreksi prediksi isian bahan peledak maksimal per lubang dengan jarak aktual lokasi *High Wall*. Berdasarkan Tabel 5.21, didapatkan nilai koreksi prediksi isian bahan peledak maksimal per lubang dengan jarak aktual lokasi *High Wall* sebesar 4 kg. Perhitungan ini berdasarkan selisih nilai isian bahan peledak prediksi dan aktual dengan menggunakan jarak aktual, ini berarti prediksi isian bahan peledak maksimal yang telah ditentukan sebelumnya, dapat dikoreksi yaitu sebesar ± 4 kg untuk setiap pengisian lubang ledak.

Tabel-3. Nilai Koreksi Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal per Lubang dengan Jarak Aktual Lokasi *Low Wall*

JARAK AKTUAL (m)	ISIAN (kg)		DEVIASI (kg)
	PREDIKSI	AKTUAL	
879	30	30	0
915	32	40	-8
970	36	30	6
1001	38	30	8
1003	39	35	4
1003	39	35	4
1003	39	30	9
1037	41	30	11
1037	41	35	6
1047	42	40	2
1065	44	35	9
1070	44	40	4
1086	45	45	0
1093	46	30	16
1110	47	40	7
1115	48	30	18
1127	49	40	9
1128	49	50	-1
1134	49	45	4
1139	49	45	4
1143	49	45	4
1151	49	30	19
1151	49	55	-6
1155	49	45	4
1165	49	50	-1
1178	49	50	-1
1188	49	45	4
1189	49	40	9
1189	49	40	9
1205	49	40	9
1208	49	30	19

JARAK AKTUAL (m)	ISIAN (kg)		DEVIASI (kg)
	PREDIKSI	AKTUAL	
1211	49	30	19
1224	49	45	4
1230	49	55	-6
1246	49	50	-1
1248	49	50	-1
1273	49	50	-1
1373	49	45	4
NILAI KOREKSI (RATA-RATA)			5

Tabel-4. Nilai Koreksi Prediksi Isian Bahan Peledak Maksimal per Lubang dengan Jarak Aktual Lokasi *High Wall*

METODE DECKING	BURDEN (m)	SPASI (m)	NILAI KOREKSI (kg)
SINGLE DECK	8	9	4
SINGLE DECK	9	10	1
SINGLE DECK	10	11.5	6
AIR DECK	8	9	6
AIR DECK	9	10	4
AIR DECK	10	11.5	1
NILAI KOREKSI (RATA-RATA)			4

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan selama bulan April – Mei 2016 di Pit Paringin, tingkat *ground vibration* hasil peledakan di Pit Paringin terhadap permukiman penduduk tidak ada yang melampaui batas aman yang ditetapkan oleh PT Adaro Indonesia yaitu sebesar 2 mm/s.
2. Berdasarkan analisis tingkat *ground vibration* hasil peledakan di Pit Paringin terhadap permukiman penduduk, didapatkan hasil bahwa lokasi peledakan di Pit Paringin terbagi menjadi 2 (dua) lokasi secara umum, yaitu lokasi *Low Wall* dan *High Wall* serta terbagi menjadi 3 (tiga) metode pengisian lubang ledak, yaitu *Single Deck*, *Double Deck* dan *Air Deck*. Untuk lokasi *Low Wall*, digunakan metode pengisian *Double Deck*, sedangkan untuk lokasi *High Wall* digunakan metode pengisian *Single Deck* dan *Air Deck*. Dari beberapa data *ground vibration* yang didapat dari hasil peledakan, terdapat 1 (satu) data *ground vibration* yang mendekati 2 mm/s (batas aman) yaitu sebesar 1,90 mm/s pada lokasi *Low Wall* metode *Double Deck* dikarenakan lokasi peledakan yang relatif sangat dekat dengan permukiman penduduk (Desa Sungai Ketapi 1) yaitu berjarak 895 meter (< 1 km), juga terdapat 1 (satu) data *ground vibration* yang mendekati 2 mm/s (batas aman) yaitu sebesar 1,98 mm/s pada lokasi *High Wall* metode *Air Deck* dikarenakan lokasi peledakan yang relatif sangat dekat dengan permukiman penduduk (Desa PIR 2) yaitu

berjarak 1399 meter (± 1 km) dan isian bahan peledak per lubang sebesar 110 kg merupakan isian bahan peledak per lubang terbesar untuk peledakan lokasi *High Wall* metode *Air Deck* bahkan untuk peledakan pada semua lokasi di bulan April – Mei 2016.

3. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat *ground vibration* adalah jarak pengukuran, isian bahan peledak, metode *decking*, pola peledakan, diameter lubang ledak, burden dan spasi, serta elevasi lokasi peledakan.
4. Hasil prediksi isian bahan peledak maksimal per lubang lokasi *Low Wall* metode *Double Deck* geometri 7 m x 8 m untuk jarak terdekat 800 m terhadap permukiman penduduk yaitu sebesar 25 kg dan jarak terjauh 1130 m terhadap permukiman penduduk yaitu sebesar 49 kg, untuk lokasi *High Wall* metode *Single Deck* geometri 8 m x 9 m, 9 m x 10 m, 10 m x 11,5 m untuk jarak terdekat 800 m yaitu sebesar 46 kg, geometri 8 m x 9 m untuk jarak terjauh 1120 m yaitu sebesar 90 kg, geometri 9 m x 10 m untuk jarak terjauh 1210 m yaitu 104 kg, geometri 10 m x 11,5 m untuk jarak terjauh 1150 m yaitu sebesar 94 kg, serta lokasi untuk *High Wall* metode *Air Deck* geometri 8 m x 9 m, 9 m x 10 m, 10 m x 11,5 m untuk jarak terdekat 800 m yaitu sebesar 46 kg, geometri 8 m x 9 m untuk jarak terjauh 1180 m yaitu sebesar 99 kg, geometri 9 m x 10 m untuk jarak terjauh 1210 m yaitu sebesar 104 kg, geometri 10 m x 11,5 m untuk jarak terjauh 1230 m yaitu sebesar 108 kg dengan nilai koreksi untuk prediksi isian bahan peledak lokasi *Low Wall* sebesar ± 5 kg dan lokasi *High Wall* sebesar ± 4 kg.

Adapun saran yang dapat diberikan terkait dengan penelitian ini antara lain:

1. Berdasarkan hasil analisis faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat *ground vibration* yang memiliki hubungan yang paling dekat dengan semakin menurunnya tingkat *ground vibration*, penulis menyarankan penggunaan metode *air deck* untuk metode *decking*, pola *echelon* untuk pola peledakan, diameter 171 mm untuk diameter lubang ledak, dan burden spasi 7 m x 8 m untuk geometri peledakan.
2. Untuk alat monitoring dampak peledakan yaitu *Blastmate III*, agar dikalibrasi sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan agar data yang didapat dari hasil alat tersebut bisa lebih akurat mengingat pemakaian yang dilakukan setiap hari pada saat kegiatan peledakan.
3. Sebelum proses *charging* lubang ledak, lebih baik dilakukan *bucket test* pada selang tempat keluarnya bahan peledak dari *Mobile Mixing Unit (MMU)* agar berat bahan peledak yang keluar dari selang sesuai dengan nilai berat bahan peledak yang ada pada layar indikator di dalam kabin *MMU*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. 2010. *Standar Nasional Indonesia 7571 Tahun 2010, Tentang : Baku Tingkat Getaran Peledakan pada Tambang Terbuka terhadap Bangunan*. BSN, Indonesia. Hal. 3-4.
- [2] Anonim. 2012. *Modul Diklat Teknik Pemberaian Batuan pada Penambangan Bahan Galian Pusdiklat Teknologi Mineral dan Batubara*. Universitas

Pembangunan Nasional “Veteran”. Yogyakarta. Halaman 5-6 ; 10-12 ; 26.

- [3] Duna, Benny Irawan S. 2010. *Evaluasi Fragmentasi Hasil Peledakan Terhadap Reduction Ratio Limestone Crusher di PT Indocement Tunggul Prakarsa Plan-12 Tarjun*. Skripsi. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru. Hal III-9-10.
- [4] Hustrulid, William. 1999. *Blasting Principles for Open Pit Mining, Volume 1 – General Design Concepts*. Rotterdam, Netherlands: A. A. Balkema. Page 270.
- [5] Koesnaryo, 2001. *Rancangan Peledakan Batuan (Design of Rock Blasting)*. Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”, Yogyakarta.
- [6] Konya, C.J and Edward J.W. 1990. *Surface Blast Design*. Prentice Hall, Engle Wood Cliffs, New Jersey. Page 135-140.
- [7] Kurniawan, Kiki Indra, 2013. *Optimalisasi Isian Emulsi Menggunakan Metode Peledakan Non Elektrik dan Elektronik di Dekat Daerah Kritis pada Pit Central Tutupan 2 PT Saptaindra Sejati Job Site PT Adaro Indonesia*. Skripsi. Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- [8] Rudianto, S. 2008. *Perhitungan Distribusi Fragmen Batuan Hasil Peledakan Berdasarkan Model Kuzram Dengan Menggunakan Simulasi Monte Carlo Untuk Menentukan Faktor Batuan Di Pit A Selatan – PT Darma Henwa, TBK*. Skripsi. Institut Teknologi Bandung. Halaman 14-15 ; 28 ; 30 ; 35-36 ; 39.
- [9] Silaban, Douglas Widodo. 2011. *Analisis Ground Vibration Pada Peledakan PT Thiess Contractor Indonesia Site Senakin, Kalimantan Selatan*. Skripsi. Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta. Halaman 23-29 ; 39.
- [10] Zaidan, Ahmad. 2015. *Laporan Kerja Praktek Pengamatan Aktivitas Pemboran Dan Peledakan Pada Pembongkaran Overburden di Pit Paringin PT Bukit Makmur Mandiri Utama (BUMA) Jobsite PT Adaro Indonesia Kabupaten Tabalong Provinsi Kalimantan Selatan*. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru. Hal III-24-25.