

GETARAN TANAH AKIBAT PELEDAKAN PADA JARAK AMAN KURANG DARI 300 METER TERHADAP MANUSIA DAN BANGUNAN DI KUARI BATUGAMPING PT LEBAK ENERGI NUSANTARA BAYAH KABUPATEN LEBAK PROVINSI BANTEN

Wanda Adinugraha¹, Awang Suwandhi², Dwihandoyo Marmer³, Yudiana Hadiyat⁴

^{1,4}Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Geologi, Mineral dan Batubara - KESDM,

²Prodi Teknik Pertambangan Sekolah Tinggi Teknologi Mineral Indonesia,

³PT Fasade Kobetama Internasional

Naskah Diterima: September 2023/Revisi: September 2023 /Disetujui: Desember 2023

ABSTRAK

Kuari batugamping yang dikelola PT Lebak Energi Nusantara (PT LEN) berlokasi di Bayah, kabupaten Lebak, provinsi Banten. Teknik peledakan digunakan untuk membongkar batugamping dari massa batuan. Sehubungan dengan kemajuan penambangan yang semakin mendekati fasilitas umum, maka diperlukan kajian teknis dampak peledakan. Kemajuan penambangan menjadi isu kritis karena dampak getaran peledakannya dapat mempengaruhi kestabilan bangunan dan mengganggu penduduk sekitar kuari. Bangunan di sekitar peledakan tergolong kelas 3 karena sebagian besar memiliki pondasi dari batu, pasangan bata dari adukan semen yang kemudian diikat beton bertulang. Menurut SNI 7571:2010 kualitas bangunan tersebut memiliki nilai ambang batas getaran peledakan maksimum 5 mm/s. Kurva hubungan getaran peledakan atau *peak particle velocity* (PPV) dengan skala jarak atau *scale distance* (SD) berhasil dikembangkan dari hasil analisis 30 data peledakan. Berdasarkan kurva tersebut diprediksi total bahan peledak maksimum yang direkomendasikan agar aman pada jarak kurang dari 300 m dan pada getaran maksimum 5 mm/s adalah 78,47 kg/delay.

Kata kunci: Getaran peledakan, skala jarak, bangunan kelas 3, bahan peledak maksimum

ABSTRACT

The limestone quarry managed by PT Lebak Energi Nusantara (PT LEN) is located at Bayah, Lebak regency, Banten province. Blasting techniques are used to break limestone from its rock mass. In connection with the progress of mining which is getting closer to public facilities, a technical study of the impact of blasting is needed. Mining progress is a critical issue because the impact of blasting vibrations can affect the stability of buildings and disturb residents around the quarry. The buildings around the blasting are classified as class 3 because most of them have foundations made of stone, brick masonry made of cement mortar which is then bound by reinforced concrete. According to SNI 7571:2010, this building quality has a maximum blasting vibration threshold value of 5 mm/s. The relationship curve between blasting vibrations or *peak particle velocity* (PPV) and the distance scale (SD) was successfully developed from the results of analysis of 30 blasting data. Based on this curve, it is predicted that the maximum total of explosives recommended to be safe at a distance of less than 300 m and at blasting vibration maximum 5 mm/s is 78.47 kg/delay.

Keywords: Blasting vibrations, scale distance, building class 3, maximum total of explosives

PENDAHULUAN

PT Lebak Energi Nusantara (PT LEN) merupakan perusahaan tambang atau kuari batugamping nasional yang beraktifitas di Bayah, kabupaten Lebak, provinsi Banten. Batugamping hasil penambangan digunakan sebagai bahan baku semen dan disuplai ke pabrik semen yang dikelola oleh PT Cemindo Gemilang dengan merek dagang semen Merah Putih. Dalam kegiatan penambangannya digunakan teknik peledakan untuk membongkar batugamping dari massa batuan hingga terberai menjadi fragmentasi yang selanjutnya dikirim ke pabrik semen.

Sehubungan dengan kemajuan penambangan batugamping di kuari PT LEN kian mendekati pemukiman masyarakat, maka dampak peledakan dapat mempengaruhi kestabilan bangunan dan mengganggu kenyamanan manusia di sekitar kuari. Pada akhirnya dampak getaran peledakan menjadi isu kritis di tengah masyarakat dan komplain sering terjadi. Berdasarkan masalah tersebut perlu dibuat kajian yang bertujuan untuk mengetahui tingkat getaran tanah akibat kegiatan peledakan di kuari PT LEN pada jarak kurang dari 300 m dan untuk menentukan metode yang tepat dalam upaya mengurangi dampak getaran tanah.

METODOLOGI

Langkah awal yang perlu dipikirkan tentang isu dampak getaran peledakan terhadap manusia dan bangunan di sekitar kuari PT LEN adalah menyiapkan rancangan pengkajian pada jarak kurang dari 300 m yang merupakan aliran pemikiran untuk digunakan sebagai acuan di dalam pelaksanaan pengkajiannya. Rancangan pengkajian pada Gambar 1 memperlihatkan dua cara pendekatan, yaitu pendekatan praktik dan teoritik. Pada pendekatan praktik dilakukan perbandingan antara getaran peledakan hasil pengukuran langsung di lapangan dengan nilai ambang batas (NAB) yang tertera pada standar baku untuk manusia dan bangunan. Adapun pendekatan teoritik adalah menganalisis sekumpulan data getaran hasil pengukuran menggunakan persamaan akar kuadrat skala jarak atau *square root scale distance* (SRSD) untuk memprediksi jumlah bahan peledak maksimum agar NAB getaran pada jarak kurang dari 300 m terpenuhi.

Standar NAB getaran peledakan terhadap bangunan di Indonesia tertuang di dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 7571:2010 dan digunakan sebagai acuan dalam perancangan peledakan agar getarannya terkontrol untuk berbagai kondisi bangunan yang terbagi atas bangunan kelas 1 sampai dengan kelas 5 (lihat Tabel 1 dan Gambar 2). Oleh karena itu diperlukan informasi tentang kondisi bangunan di sekitar kuari PT LEN agar kelas bangunannya teridentifikasi. Sementara itu Indonesia belum menyusun standar NAB getaran peledakan terhadap manusia, namun dapat menggunakan hasil investigasi tentang respon manusia terhadap getaran peledakan yang dilakukan oleh peneliti dari *United States Department of the Interior Bureau of Mines* (USBM) pada tahun 1980 yang hasilnya terlihat pada Tabel 2 (Siskind et al., 1980). Hasil investigasi menunjukkan bahwa manusia dapat merasakan getaran peledakan pada kecepatan getar 0,51 mm/s dan pada kecepatan 5,08 mm/s manusia sudah mulai terganggu serta menimbulkan kegelisahan. Pada kecepatan getar antara 5,08 mm/s sampai dengan 17,78 mm/s manusia sudah tidak toleran (intoleran) lagi terhadap

```

graph TD
    Start([Pengumpulan dan pengolahan data getaran peledakan]) --> DP[DATA PRIMER]
    Start --> DS[DATA SEKUNDER]
    DP --> J[D]
    DS --> J
    J --> PGP[Pemantauan getaran peledakan pada D tertentu]
    PGP --> DHP[DATA HASIL PEMANTAUAN GETARAN PELEDAKAN]
    DHP --> D1{APAKAH DATA PANTAUAN GETARAN CUKUP?}
    D1 -- Belum --> J
    D1 -- Sudah --> PPV[PPV hasil pemantauan pada D < 300 m]
    PPV --> D2{APAKAH PPV MEMENUHI NAB MANUSIA?}
    D2 -- Belum --> J
    D2 -- Sudah --> SRSD[Kurva Square Root Scale Distance SRSD]
    SRSD --> PERS[Persamaan SRSD]
    PERS --> End([Rekomendasi We maks pada D < 300 m sesuai NAB getaran peledakan untuk manusia dan bangunan])

```

Pengumpulan dan pengolahan data getaran peledakan

DATA PRIMER

- Koordinat titik ledak
- Koordinat titik pantau
- Geometri peledakan
- Bahan peledak per delay (W_e)

Jarak antara titik ledak dan pantau (D)

Pemantauan getaran peledakan pada D tertentu

DATA HASIL PEMANTAUAN GETARAN PELEDAKAN

$D_{1,2,\dots,n}; W_{e1,2,\dots,n}; PPV_{1,2,\dots,n}$

APAKAH DATA PANTAUAN GETARAN CUKUP?

Belum

Sudah

PPV hasil pemantauan pada $D < 300$ m

APAKAH PPV MEMENUHI NAB MANUSIA?

Belum

Sudah

Kurva Square Root Scale Distance (SRSD)

$D_{1,2,\dots,n}; W_{e1,2,\dots,n}; PPV_{1,2,\dots,n}$

Persamaan SRSD

Rekomendasi W_e maks pada $D < 300$ m sesuai NAB getaran peledakan untuk manusia dan bangunan

DATA SEKUNDER

- Batas IUP-OP kuari pada peta topografi dan
- Keadaan geologi
- Kelas bangunan di sekitar kuari

Respon manusia terhadap getaran peledakan (USBM)

SNI Getaran Pada Tambang Terbuka

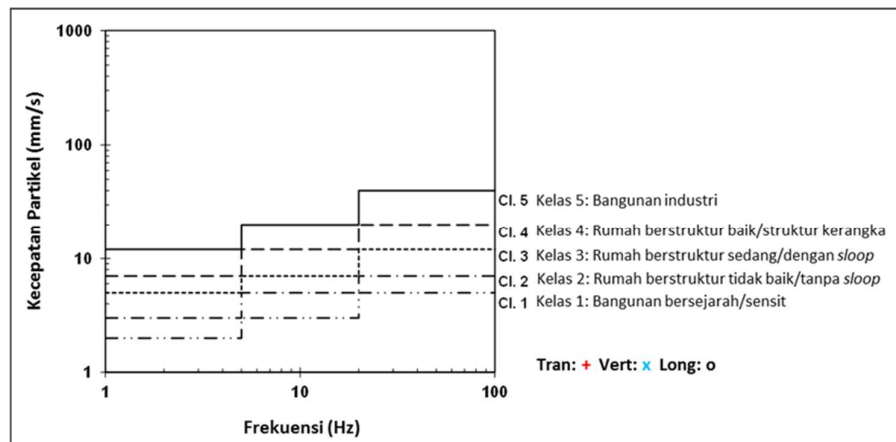
NAB getaran untuk manusia

NAB getaran sesuai kelas bangunan di sekitar kuari

Tabel 1 Baku tingkat getaran pada bangunan (SNI 7571:2010)

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

**GETARAN TANAH AKIBAT PELEDAKAN PADA JARAK AMAN KURANG DARI 300 METER TERHADAP MANUSIA
DAN BANGUNAN DI KUARI BATUGAMPING PT LEBAK ENERGI NUSANTARA BAYAH KABUPATEN LEBAK
PROVINSI BANTEN**

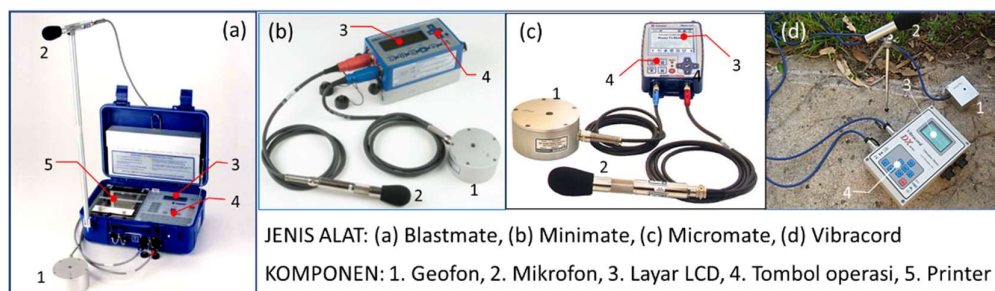


Gambar 2 Standar getaran peledakan Indonesia (SNI 7571:2010)

Tabel 2 Respon manusia pada getaran peledakan (USBM, 1980)

Respon manusia	PPV		Perpindahan			
	in/s	mm/s	Pada 10 Hz		Pada 40 Hz	
			inci	mm	inci	mm
Terasa	0,02	0,51	0,00032	0,00813	0,00008	0,00203
Mengganggu	0,20	5,08	0,0032	0,0813	0,0008	0,0203
Sangat mengganggu	0,70	17,78	0,011	0,279	0,003	0,071

Diantara alat khusus yang digunakan pada pemantauan atau pengukuran getaran peledakan memiliki merek dagang BlastMate^{III}, Minimate, Micromate dan Vibracord (Gambar 3) atau merek dagang lainnya yang berfungsi sama. Pada setiap alat ukur getaran peledakan terutama harus dilengkapi dengan geofon dan mikrofon. Sebagai contoh alat ukur getaran peledakan pada Gambar 3 terdiri dari (1) geofon sebagai alat detektor yang diletakkan atau ditancapkan di atas tanah untuk menerima getaran pada jarak yang ditentukan, (2) mikrofon untuk merekam gelombang suara, (3) unit pencatat hasil rekaman gelombang seismik dan suara yang dilengkapi tombol operasi dan (4) khusus untuk BlastMate^{III} dilengkapi dengan printer. Di dalam geofon terdapat *triaxial independent sensor* yang letaknya saling tegak lurus antara satu unit dan unit yang lain. Dua unit diletakkan horisontal dan saling tegak lurus dan unit yang lain dipasang secara vertikal. Ketiga sensor tersebut merekam tiga arah, yaitu arah transversal, longitudinal, dan vertikal dengan mengikuti prosedur yang terdapat pada buku pengoperasian.



Gambar 3 Alat ukur Getaran Peledakan

Metode peledakan di PT LEN menggunakan bahan peledak ANFO dan sistem penyalanya memakai detonator tunda non-elektrik (nonel) dan detonator elektronik. Dengan menerapkan detonator waktu tunda, maka peledakan akan terkontrol dan menghasilkan getaran yang rendah karena nilai getaran dipengaruhi oleh jumlah bahan peledak per waktu tunda (*delay*). Nicholls, dkk, 1971, untuk pertama kali mengembangkan persamaan matematis tentang hubungan antara getaran atau *peak particle velocity* (PPV) dengan *square root scale distance* (SRSD) yang disebut *propagation law* dan dirumuskan sebagai berikut:

$$PPV = K \times \left(\frac{D}{\sqrt{W_e}} \right)^n \quad (1)$$

Di mana PPV adalah getaran tanah pada kecepatan partikel puncak (mm/s), D adalah jarak antara titik ledak dan titik pantau (m), W_e adalah muatan bahan peledakan maksimum per *delay* (kg), K adalah konstanta lapangan yang dipengaruhi kondisi geologi setempat dan n adalah faktor redaman getaran peledakan.

Pemantauan getaran peledakan dilakukan pada berbagai jarak (D) dalam rentang antara 200 m sampai dengan 500 m pada setiap kali peledakan dengan muatan bahan peledak per *delay* (W_e) tertentu, sehingga terkumpul cukup data untuk dianalisis. Diketahui bahwa SRSD (biasa disingkat SD) diperoleh dari perbandingan antara jarak dan kuadrat muatan bahan peledak atau $\frac{D}{\sqrt{W_e}}$. Dengan memplot seluruh data D sebagai sumbu absis (sumbu *x*) yang berpasangan dengan PPV sebagai sumbu ordinat (sumbu *y*) pada sistem koordinat kartesius diperoleh sebaran titik data pasangan SD dan PPV. Sebaran pasangan data diolah dengan metode statistik untuk mendapatkan regresi pangkat pada Persamaan-1. Adapun manfaat dari Persamaan-1 adalah untuk memprediksi muatan bahan peledak maksimum per *delay* agar dihasilkan getaran pada jarak tertentu sesuai NAB.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemantauan getaran peledakan dilaksanakan dengan mengikuti rancangan peledakan, yaitu geometri dan pola peledakan, yang rutin diterapkan di PT LEN karena keduanya berasosiasi dengan tingkat getaran. Geometri peledakan meliputi ukuran burden (B), spasi (S), kedalaman lubang (L), tinggi jenjang (H), tinggi kolom *stemming* (T), tinggi kolom muatan bahan peledak (PC) dan *subdrilling* (J), semuanya harus dicatat termasuk muatan bahan peledaknya. Untuk pola peledakan yang perlu diketahui adalah posisi *initiation point* (IP) dan arah lemparan peledakan.

a. Geometri Peledakan

Geometri peledakan merupakan bentuk bangun massa batuan yang akan diledakan yang dibatasi oleh parameter burden (B), spasi (S), ketinggian jenjang (H) dan lubang ledak (n). Berdasarkan dimensi dari setiap parameter itu dapat dihitung volume peledakan dalam satuan *bank cubic meter* (BCM). Jumlah bahan peledak per waktu tunda umumnya berada dalam satu lubang. Untuk menghitung jumlah bahan peledak per lubang perlu diketahui panjang kolom isian bahan peledak (PC) yang merupakan hasil pengurangan antara kedalaman lubang ledak

**GETARAN TANAH AKIBAT PELEDAKAN PADA JARAK AMAN KURANG DARI 300 METER TERHADAP MANUSIA
DAN BANGUNAN DI KUARI BATUGAMPING PT LEBAK ENERGI NUSANTARA BAYAH KABUPATEN LEBAK
PROVINSI BANTEN**

(L) dengan panjang kolom *stemming* (T) atau $PC = L - T$. Contoh perhitungan jumlah bahan peledak per lubang (We) sebagai berikut:

- $L = 12$ m dan $T = 3,5$ m, maka $PC = 12 - 3,5 = 8,5$ m,
- Jenis bahan peledak yang dipakai adalah ANFO dengan densitas $0,8$ g/cc
- Diameter lubang yang dipakai adalah 4 inci = 102 mm
- Maka $We = 8,5 \times \left(\frac{0,8 \times 102^2}{1273} \right) = 55,50$ kg/lubang atau 55,50 kg/delay

Kedalaman lubang ledak selama pemantauan getaran peledakan berbeda-beda, namun rata-rata $L = 12$ m, $T = 3,5$ m dan $PC = 8,5$ m. Rangkuman ukuran parameter pada geometri parameter dan jumlah bahan peledak yang digunakan di PT. LEN terlihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3 Rangkuman ukuran parameter geometri peledakan

Tanggal Peledakan	Lokasi Peledakan	Geometri peledakan							ANFO (kg)	Gel (kg)	Booster (pcs)
		B, (m)	S, (m)	L, (m)	T, (m)	PC, (m)	J, (m)	n			
8/31/2021	Blok 7	3,5	4,0	12,0	3,5	8,5	1,0	18	1000	7	18
8/31/2021	Blok 3	4,0	4,5	12,0	3,5	8,5	1,0	52	2890	61	52
9/1/2021	Blok 7	3,5	4,5	13,0	3,5	9,5	1,0	75	4659	67	75
9/1/2021	Blok 6	3,5	4,0	11,0	3,5	7,5	0,0	25	1226	15	25
9/2/2021	Blok 7	3,5	4,0	9,0	3,0	6,0	0,0	16	628	13	16
9/2/2021	Blok 8	3,5	4,0	12,5	3,5	9,0	0,5	24	1412	30	24
9/3/2021	Blok 8	3,5	4,0	12,0	3,5	8,5	0,0	31	1723	23	31
9/3/2021	Blok 7	3,5	4,0	13,0	3,5	9,5	1,0	23	1429	30	23
9/4/2021	Blok 7	3,5	4,0	12,0	3,5	8,5	0,0	30	1667	28	30

Catatan: Diameter lubang ledak (d) = 4 inci $\approx$ 102 mm

b. Pola Peledakan

Penyalan peledakan menggunakan sistem tunda dengan nonel *in hole delay* 500 ms untuk setiap lubang dan di permukaan memakai nonel *surface delay* kombinasi antara 17 ms, 25 ms, 67 ms dan 109 ms sesuai rancangan peledakan. Selain itu digunakan juga detonator elektronik (*electronic detonator*) dari *Hanwha Electronics Blasting System* (HEBS). Untuk mengetahui nilai waktu tunda (*delay*) pada detonator elektronik perlu dilakukan beberapa kali percobaan peledakan tunggal yang dinamakan analisis *signature holes* (SHA).

Dengan metode analisis *signature holes* dapat diketahui nilai waktu tunda antar lubang (*inter hole*) dan antar baris (*inter row*). Penggunaan elektronik detonator mampu memberi nilai PPV yang terkecil dengan batasan *time windows* 8 ms. Hasil analisis *signature holes* yang dilakukan di kuari batugamping PT LEN menunjukkan bahwa untuk rangkaian antar lubang memakai 53 ms dan antar baris 144 ms. Teknik peledakannya dapat dilakukan tiap segmen, yaitu peledakan tunda yang terbagi atas beberapa kelompok lubang, dengan tujuan agar diperoleh getaran yang relatif kecil. Gambar 4 memperlihatkan salah satu contoh teknik peledakan tiap segmen dengan detonator elektronik.

c. Lokasi Pemantauan

Pemantauan getaran tanah dilakukan selama lima hari kerja, baik di dalam kuari PT LEN maupun di pemukiman masyarakat sekitar kuari. Pemantauan dan pengukuran getaran

Map showing a quarry area with various elevation points and contour lines. The map includes a north arrow pointing upwards. Numerous numerical values are scattered across the map, representing specific elevation points. Some points are marked with small circles or dots. The map shows a complex terrain with several peaks and valleys. The overall layout is a technical drawing of a quarry site.

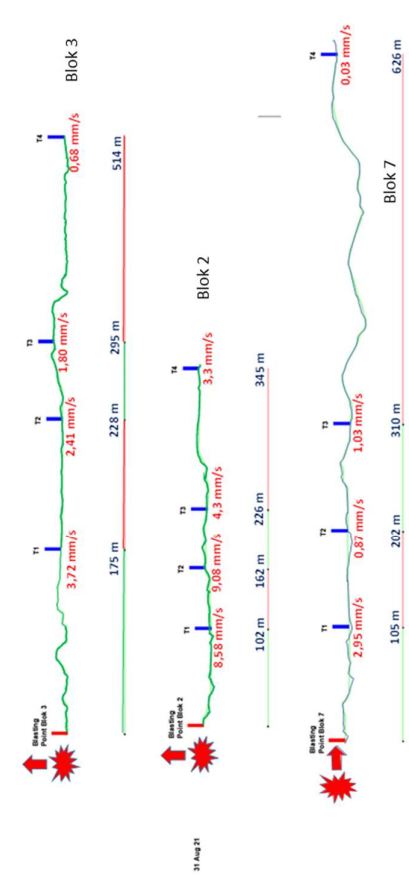
Cerrindo	ELAS/PLAN 2/09	12 DO - 13.00 W11A	Bayah Quarry PI LEN
1 September 21	BMI	Block 7	SE
Elhalla Cerrindo	LEN	PI LEN	Estimada

Berdasarkan pengamatan di lapangan yang berkenaan dengan kualitas fisik dan konstruksi rumah diketahui bahwa sebagian besar rumah penduduk disekitar kuari PT LEN terbangun dari tembok yang mempunyai fondasi batu belah, tiang (kolom) dan balok horizontal penghubung setiap tiang. Dinding bangunannya terbuat dari susunan bata sepenuhnya dan diplester, namun ada pula yang hanya separuh dinding tersusun dari bata diplester dan separuhnya lagi tersusun dari papan. Umumnya fondasi rumah terbuat dari bongkah batu belah yang direkat semen, sedangkan kolom balok terbuat dari cor semen dan besi (Gambar 5). Dengan demikian bangunan rumah di sekitar kuari PT LEN dapat dikategorikan sebagai bangunan kelas 3.

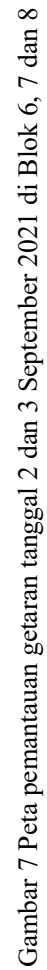


d. Hasil Pemantauan

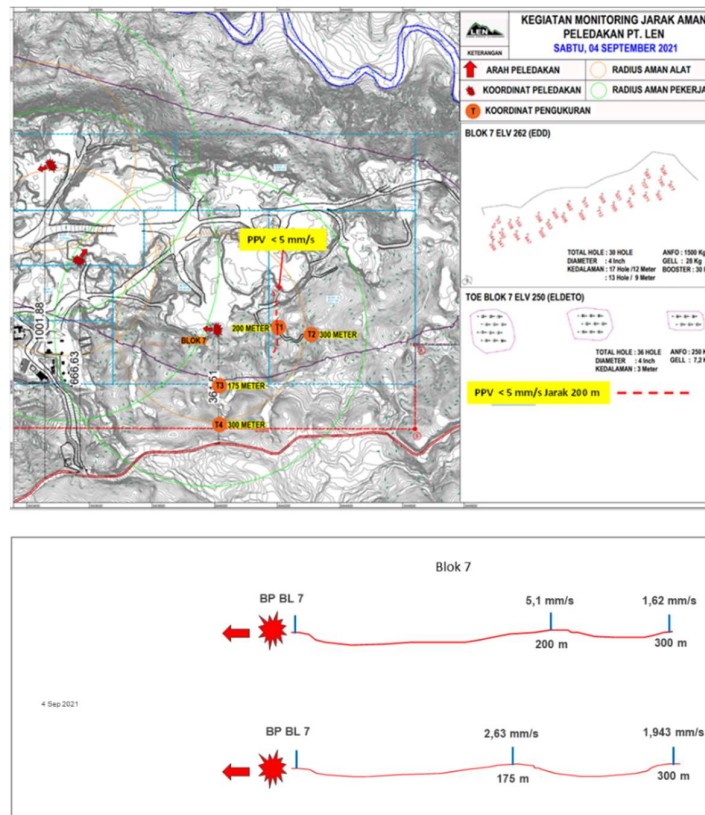
154



Gambar 6 Peta pemantauan getaran tanggal 31 Agustus dan 1 September 2021 di Blok 2, 3, 6 dan 7



**GETARAN TANAH AKIBAT PELEDAKAN PADA JARAK AMAN KURANG DARI 300 METER TERHADAP MANUSIA
DAN BANGUNAN DI KUARI BATUGAMPING PT LEBAK ENERGI NUSANTARA BAYAH KABUPATEN LEBAK
PROVINSI BANTEN**



Gambar 8 Peta pemantauan getaran tanggal 4 September 2021 di Blok 7

Tabel 4 Rekapitulasi hasil pemantauan getaran peledakan

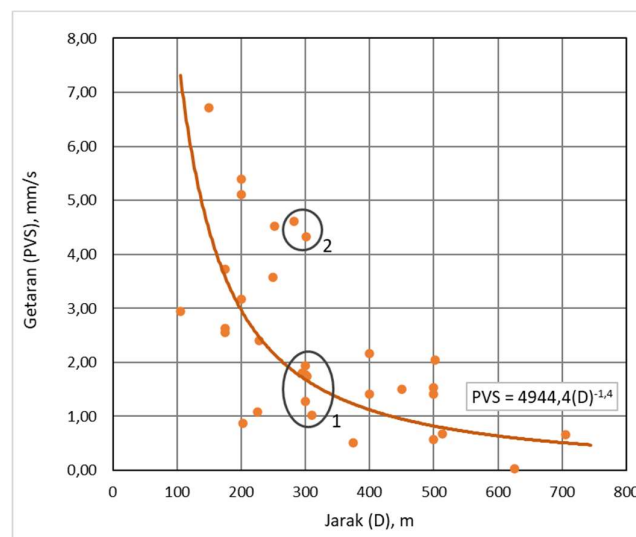
Tanggal	Lokasi	Alat	Jarak (m)	PVS (mm/s)	PPV (mm/s)			Frekuensi (Hz)			PPA (g)			PPD (mm)			Mic (dB)
					Trans	Vert	Long	Trans	Vert	Long	Trans	Vert	Long	Trans	Vert	Long	
31 Agt 2021	Blok 3	Minimate	175	3.722	2.497	2.794	3.556	15.00	13.00	8.40	0.045	0.038	0.035	0.044	0.026	0.050	71.20
		Blastmate	228	2.410	1.510	1.050	2.030	6.50	2.90	7.00	0.015	0.012	0.018	0.033	0.033	0.040	57.20
		Micromate	295	1.801	1.371	0.687	1.695	4.20	3.30	6.20	0.016	0.015	0.025	0.038	0.034	0.036	67.40
		Vibracord	514	0.680	0.470	0.620	0.530	3.00	5.00	5.00							114.20
	Blok 7	Minimate	105	2.948	1.794	2.810	1.921	20.00	20.00	26.00	0.022	0.038	0.031	0.130	0.021	0.015	82.60
		Blastmate	202	0.872	0.333	0.413	0.825	14.00	14.00	16.00	0.007	0.008	0.010	0.004	0.006	0.008	121.50
1 Sep 2021	Blok 6	Micromate	310	1.028	0.741	0.583	0.938	20.00	20.00	16.50	0.021	0.013	0.015	0.005	0.004	0.009	65.00
		Vibracord	705	0.660	0.550	0.260	0.580	4.00	5.00	4.00				Tidak ada data			114.80
	Blok 7	Minimate	252	4.519	4.381	1.603	2.508	16.00	22.00	13.00	0.050	0.038	0.038	0.045	0.014	0.029	65.40
		Blastmate	301	4.330	3.130	1.080	3.400	23.00	10.00	20.00	0.046	0.020	0.056	0.027	0.012	0.026	61.60
	Blok 7	Micromate	400	2.169	1.742	0.891	1.600	7.80	8.50	8.10	0.015	0.013	0.020	0.035	0.018	0.037	56.90
		Vibracord	502	2.050	0.920	0.880	1.990	9.00	9.00	9.00				Tidak ada data			100.00
2 Sep 2021	Blok 8	Minimate	150	6.722	4.778	3.096	6.588	17.00	18.00	18.00	0.080	0.051	0.080	0.045	0.030	0.058	67.50
		Blastmate	200	5.400	5.320	1.380	2.890	11.00	9.80	15.00	0.063	0.018	0.036	0.060	0.017	0.022	65.50
		Micromate	400	1.417	0.678	0.591	1.356	9.20	11.90	9.10	0.012	0.012	0.015	0.013	0.008	0.023	73.30
		Vibracord	500	1.530	0.800	0.440	1.320	10.00	13.00	11.00				Tidak ada data			104.30
	Blok 7	Micromate	300	1.274	1.174	0.481	0.765	15.30	21.00	8.50	0.018	0.012	0.013	0.013	0.007	0.010	63.90
		Minimate	375	0.508	0.460	0.349	0.314	16.00	26.00	17.00	0.010	0.008	0.008	0.004	0.002	0.004	65.80
3 Sep 2021	Blok 8	Vibracord	500	0.570	0.520	0.230	0.340	10.00	13.00	6.00				Tidak ada data			99.60
		Minimate	200	3.170	3.032	1.561	2.334	11.00	13.00	15.00	0.030	0.018	0.028	0.042	0.020	0.035	59.70
		Blastmate	282	4.610	0.920	0.360	1.290	9.00	7.00	8.00				Tidak ada data			107.40
		Vibracord	500	1.410	3.096	2.111	4.461	17.00	26.00	10.00	0.055	0.036	0.058	0.028	0.013	0.036	60.90
	Blok 7	Blastmate	249	3.570	1.620	1.240	3.340	19.00	28.00	18.00	0.050	0.030	0.048	0.022	0.011	0.300	61.50
		Vibracord	450	1.510	0.580	0.620	1.450	8.00	8.00	8.00				Tidak ada data			103.80
4 Sep 2021	Blok 7	Blastmate	175	2.630	2.540	0.860	1.520	13.00	20.00	20.00	0.030	0.028	0.025	0.022	0.009	0.040	95.9(L)
		Minimate	300	1.943	1.603	1.143	1.714	23.00	10.00	12.00	0.033	0.017	0.020	0.015	0.017	0.025	61.70
		Micromate	200	5.113	2.057	2.278	4.698	19.30	19.00	14.80	0.380	0.053	0.071	0.019	0.026	0.048	67.30
		Vibracord	300	1.770	1.180	0.590	1.620							Tidak ada data			

PEMBAHASAN

Analisis dampak getaran peledakan terfokus pada jarak 300 m antara lokasi peledakan (titik ledak) dengan lokasi pemantauan (titik pantau), baik di dalam kuari maupun di pemukiman masyarakat yang berada di sekitar kuari PT LEN. Ada dua aspek yang dibahas dari hasil pemantauan getaran peledakan, seperti yang terlihat pada rancangan pengkajian di Gambar 1, yaitu getaran terpantau (terukur) pada jarak 300 m atau kurang dari 300 m. Disamping itu perlu diperhatikan bahwa tipikal bangunan perumahan di sekitar kuari PT LEN seperti pada Gambar 5 yang dapat digolongkan pada bangunan kelas 3 (lihat Gambar 5). Menurut SNI 7571:2010, bangunan kelas 3 dapat menerima kecepatan getaran maksimum 5 mm/s. Artinya bahwa desain peledakan batugamping di PT LEN diupayakan harus menghasilkan getaran peledakan kurang dari 5 mm/s pada jarak 300 m.

a. Getaran peledakan relatif pada jarak ≤ 300 m

Apabila setiap pasangan jarak (D) dan vektor getaran peledakan (PVS) pada Tabel 4 diplot pada koordinat kartesius dengan D pada sumbu x dan PVS pada sumbu y, maka diperoleh persamaan garis regresi pangkat $PVS = 4944,4(D)^{-1,4}$ (Gambar 9). Garis regresi tersebut memperlihatkan peredaman getaran peledakan seiring dengan semakin jauh jarak pemantauannya. Pada kisaran jarak 300 m terdapat 6 data getaran peledakan pada rentang 1,028 – 1,943 mm/s yang berada di dalam lingkaran-1 dan ada 2 data bernilai getaran cukup tinggi, yaitu 4,330 mm/s dan 4,610 mm/s, berada di dalam lingkaran-2 (Gambar 9). Dengan menerapkan persamaan regresi di atas diperoleh nilai getaran rata-rata pada jarak 300 m, yakni $PVS = 4944,4 \times 300^{-1,4} = 1,683$ mm/s (dibulatkan 2 mm/s). Walaupun data getaran terbanyak pada jarak 300 m adalah 2 mm/s, namun karena terdapat data getaran yang besarnya 4,33 mm/s dan 4,61 mm/s, maka muatan bahan peledak per *delay* harus tetap dikurangi agar getaran peledakan pun berkurang. Terlebih lagi pada saat kemajuan peledakan sudah mencapai 200 m dari pemukiman penduduk tingkat getaran akan lebih besar yang dihitung dengan persamaan regresi di atas diperoleh nilai PVS rata-rata 3 mm/s. Hasil pemantauan getaran menunjukkan bahwa tingkat getaran pada jarak 200 m bisa mencapai 5 mm/s, sehingga muatan bahan peledak tetap harus mendapat perhatian.



Gambar 9 Hubungan antara jarak dengan getaran

**GETARAN TANAH AKIBAT PELEDAKAN PADA JARAK AMAN KURANG DARI 300 METER TERHADAP MANUSIA
DAN BANGUNAN DI KUARI BATUGAMPING PT LEBAK ENERGI NUSANTARA BAYAH KABUPATEN LEBAK
PROVINSI BANTEN**

Dampak getaran tersebut terhadap manusia dan bangunan sesuai standar baku dijelaskan sebagai berikut:

(1) Terhadap manusia

Tabel 2 menunjukkan bahwa pada $PPV = 5,08 \text{ mm/s}$ manusia mulai terganggu oleh getaran peledakan. Getaran peledakan maksimum pada jarak 300 m adalah $4,61 \text{ mm/s}$ telah mendekati $5,08 \text{ mm/s}$ yang dapat ditafsirkan bahwa getaran tersebut tergolong kritis. Tindakan pengamanan untuk mengurangi getaran peledakan sampai pada tingkat aman secara psikologis adalah dengan mengurangi muatan bahan peledak per *delay* dan merancang ulang geometri peledakannya.

(2) Terhadap bangunan

Dengan memperhatikan tipikal bangunan pada Gambar 5 dan merujuk pada baku tingkat getaran peledakan pada Tabel 1 dapat katagori bangunan masuk ke dalam kelas 3. Untuk bangunan kelas 3 NAB getaran peledakan yang mulai membahayakan konstruksi bangunan adalah 5 mm/s pada frekuensi sampai dengan 5 Hz (Gambar 2). Untuk frekuensi getaran lebih besar dari 5 Hz dapat memberi peluang peningkatan NAB getaran peledakan dengan kondisi bangunan tetap aman. Hasil pemantauan menunjukkan besaran frekuensi peledakan pada jarak sekitar 300 m sebagian besar antara 5 Hz sampai 26 Hz (Tabel 2). Artinya adalah pada jarak 300 m dengan getaran yang terpantau maksimum $4,61 \text{ mm/s}$ masih cukup aman bagi bangunan di sekitar kuari PT LEN.

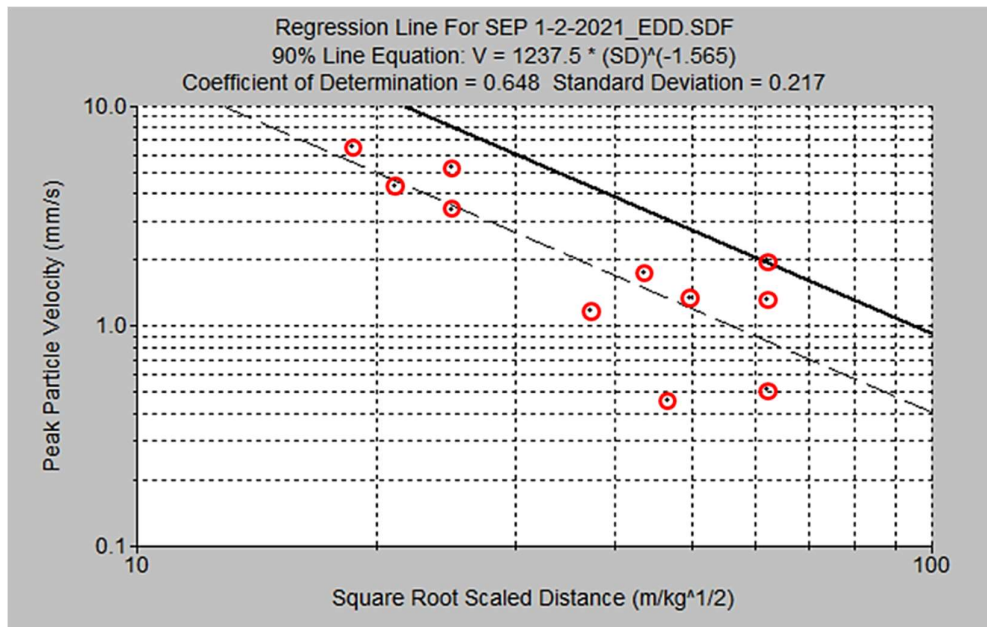
b. Penerapan metode Square Root Scale Distance

Pengolahan data getaran peledakan menggunakan perangkat lunak *blastware* yang khusus untuk menganalisis statistik hasil pemantauan getaran peledakan oleh alat BlastMate^{III}, Minimate dan Micromate. Dari data getaran pada Tabel 4 diambil 11 data hasil pemantauan yang cukup representatif diolah *blastware*. Data yang direkam meliputi kecepatan gelombang transversal, longitudinal dan vertikal dan dirangkum pada Tabel 5.

Tabel 5 Rangkuman hasil pengukuran getaran peledakan

Scaled Distance - SEP 1-2-2021_EDD.SDF									
File Edit Graph									
Add		Add selected events from event manager.			Also plot		90	% line.	
Serial No.	Date/Time	Tran Peak (mm/s)	Vert Peak (mm/s)	Long Peak (mm/s)	Mic Peak (dB)	Back Ground (dB)	Weight (kg)	Distance (m)	Description
BA11505	Sep 1 /21 12:27:12	3.130	1.080	3.400	134.9	0.000	65.00	200.0	BLOCK 7
UM17734	Sep 1 /21 12:28:12	1.742	0.891	1.600	129.3	0.000	65.00	350.0	BLOCK 7
VB0760	Sep 1 /21 12:27:12	0.920	0.880	1.990	134.0	0.000	65.00	500.0	BLOCK 7
BE10292	Sep 1 /21 12:27:12	4.381	1.603	2.508	130.3	0.000	65.00	170.0	BLOK 7
BE10292	Sep 2 /21 12:38:12	4.778	3.096	6.588	130.6	0.000	65.00	150.0	BLOK 8
UM17734	Sep 2 /21 12:39:12	0.678	0.591	1.356	131.5	0.000	65.00	400.0	BLOCK 8
VB0760	Sep 2 /21 12:30:12	0.800	0.440	1.320	134.3	0.000	65.00	500.0	BLOK 8
BA11505	Sep 2 /21 12:38:12	5.320	1.380	2.890	133.4	0.000	65.00	200.0	BLOK 8
UM17734	Sep 2 /21 13:12:08	1.174	0.481	0.765	130.3	0.000	65.00	300.0	BLOCK 7
BE10292	Sep 2 /21 13:11:13	0.460	0.349	0.413	130.3	0.000	65.00	375.0	BLOK 7
VB0760	Sep 2 /21 13:11:13	0.520	0.230	0.340	133.9	0.000	65.00	500.0	BLOCK 7

Perangkat lunak *blastware* dapat membuat kurva SD secara langsung yang dilengkapi dengan tingkat kepercayaan persamaan garis. Kurva SD adalah grafik hubungan antara SD sebagai variable bebas (sumbu x) dengan PPV sebagai variable tetap (sumbu y), sehingga dengan nilai SD tertentu atau jarak dan muatan bahan peledak tertentu dapat diestimasi tingkat getarannya. Gambar 10 adalah kurva SD yang hasil analisis *blastware* dari data getaran peledakan pada Tabel 5 dan yang menghasilkan persamaan garis linier regresi $PPV = 1237,5 (SD)^{-1,565}$ pada tingkat kepercayaan garis 90%.



Gambar 10 Kurva SD hasil pengukuran getaran peledakan

Persamaan regresi linier di atas sebenarnya merupakan garis intrinsik yang mengurung seluruh titik hasil hubungan antara SD dan PPV dan dapat digunakan untuk mengestimasi jumlah bahan peledak per *delay* yang digunakan agar pada jarak tertentu didapatkan nilai PPV yang aman. Contohnya pada jarak (D) = 300 m dan jumlah bahan peledak yang digunakan 40,85 kg, maka diperoleh $PPV = 1237,5 \left(\frac{300}{\sqrt{40,85}} \right)^{-1,565} = 3 \text{ mm/s}$. Sedemikian rupa dengan cara perhitungan yang sama dapat diestimasi jumlah bahan peledak pada jarak tertentu agar diperoleh nilai PPV = 3 mm/s, PPV = 5 mm/s atau nilai PPV lainnya.

Di dalam perangkat lunak *blastware* terdapat pula hasil perhitungan muatan bahan peledak per *delay* agar diperoleh getaran peledakan tertentu pada jarak yang ditetapkan. Tabel 6 memperlihatkan hasil analisis untuk mendapatkan jumlah muatan bahan peledak per *delay* pada beragam jarak untuk getaran peledakan tertentu. Contoh pada tabel tersebut ditetapkan getaran peledakan 3 mm/s dan 5 mm/s. Respon manusia terhadap getaran peledakan memiliki NAB sebesar 5,08 mm/s secara kebetulan sama dengan NAB bangunan kelas 3 sebesar 5 mm/s. Dari Tabel 6 diketahui bahwa untuk mencapai getaran peledakan 5 mm/s pada jarak 300 m dipakai bahan peledak sebanyak 78,47 kg/*delay*, sedangkan bila getaran 3 mm/s digunakan bahan peledak sebanyak 40,85 kg/*delay*. Dengan demikian kurva regresi linier SD pada Gambar 10 merupakan alat pengontrol jumlah bahan peledak agar getarannya sesuai NAB yang diijinkan.

Tabel 6 Jarak dan berat bahan peledak per *delay* pada
PPV = 3 mm/s dan PPV = 5 mm/s

Max Weight Table		Max Weight Table	
Distance	Increment	Distance	Increment
200.0	25.00 m	200	25.00 m
Peak	Table Size	Peak	Table Size
3.00 mm/s	25	5 mm/s	20
Calculate	Print	Calculate	Print
Distance (m)	Weight (kg)	Distance (m)	Weight (kg)
200.0	18.15	200.0	34.88
225.0	22.98	225.0	44.14
250.0	28.37	250.0	54.50
275.0	34.32	275.0	65.94
300.0	40.85	300.0	78.47
325.0	47.94	325.0	92.10
350.0	55.60	350.0	106.8
375.0	63.82	375.0	122.6
400.0	72.62	400.0	139.5
425.0	81.98	425.0	157.5
450.0	91.90	450.0	176.6
475.0	102.4	475.0	196.7
500.0	113.5	500.0	218.0
525.0	125.1	525.0	240.3
550.0	137.3	550.0	263.8
575.0	150.1	575.0	288.3
600.0	163.4	600.0	313.9
625.0	177.3	625.0	340.6
650.0	191.8	650.0	368.4
675.0	206.8	675.0	397.3
700.0	222.4		
725.0	238.6		
750.0	255.3		
775.0	272.6		
800.0	290.5		

c. Metode Pengurangan Getaran Peledakan

Terdapat beberapa alternatif solusi untuk menganalisis mengontrol peledakan agar getarannya sesuai dengan NAB yang salah satu berupa kurva regresi linier seperti pada Gambar 10. Cara lain yang dapat diterapkan sebagai alternatif solusi adalah menggunakan detonator elektronik (EDD) dengan peledakan segmentasi dan metode *air decking*. Salah satu penjamin keberhasilan penerapan setiap metode peledakan adalah *stemming* yang memiliki derajat ketertutupan tinggi agar mampu menahan energi ledak dari dalam lubang. Material *stemming* yang cukup baik digunakan berupa gravel dengan tingkat pemampatan yang cukup. Ulasan tentang EDD dengan peledakan segmentasi dan metode *air decking* sebagai berikut:

(1) Penerapan segmentasi pada peledakan dengan detonator elektronik

Salah satu kelebihan detonator elektronik dibandingkan dengan jenis detonator piroteknik, yaitu detonator nonel dan listrik, terletak pada ketepatan waktu tundanya. Detonator elektronik tidak aktif sampai diaktivasi oleh signal yang disalurkan melalui *logger* untuk memasukkan (diinput) data ke dalam detonator tersebut. Diantara data yang lazim dimasukkan adalah waktu delay (*delay time*) dan nomor-nomor lubang, artinya adalah EDD tidak memiliki waktu tunda sebelum diaktivasi. Kondisi tersebut membuka ruang yang luas bagi perancang peledakan untuk membuat variasi nomor waktu tunda yang tepat.

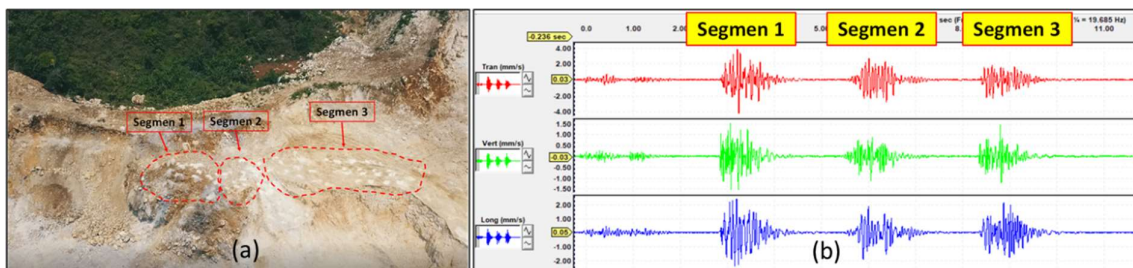
Dengan mempertimbangkan sifat EDD yang tidak memiliki waktu tunda sebelum diaktivasi sementara perancang peledakan membutuhkan nomor waktu tunda itu, maka diperlukan

penandaan nomor waktu melalui peledakan tunggal yang dinamakan *signature hole* seperti yang telah diuraikan sebelumnya. Dari hasil analisis *signature hole* diperoleh waktu tunda untuk rangkaian antar lubang (*inter hole*) 53 ms dan antar baris (*inter row*) sebesar 144 ms.

Penggunaan detonator elektronik dapat dioptimalkan dengan membagi area peledakan menjadi beberapa segmen dengan tujuan untuk:

- menghindari akumulasi getaran tanah ke arah manusia dan fasilitas umum, dan
- membatasi peledakan menurut segmen agar getaran tanah relatif lebih kecil.

Dengan demikian, peledakan yang terbagi dalam beberapa segmen itu dapat mengurangi getaran peledakan. Sebagai contoh peledakan dengan EDD yang dilakukan pada tanggal 1 September 2021 dengan menerapkan 3 segmen. Rancangan peledakannya dapat dilihat pada Gambar 4, urutan peledakan tiap segmen pada Gambar 11a, dan hasil pengukuran getarannya terlihat pada Gambar 11b. Hasil getaran dari peledakan 3 segmen dengan EDD pada Gambar 11a ditunjukkan oleh 3 grafik getaran pada gelombang longitudinal, vertikal dan transversal yang terlihat pada Gambar 11b. Jeda waktu antara segmen 1, 2 dan segmen 3 pada setiap gelombang sekitar 2 detik. Keberhasilan peledakan bersegmen tersebut diyakini dapat mengurangi getaran karena impuls gelombang yang diterima bumi terjadi secara bertahap.



Gambar 11 Segmentasi peledakan dengan EDD tanggal 1 September 2021 dan pemisahan gelombang getar

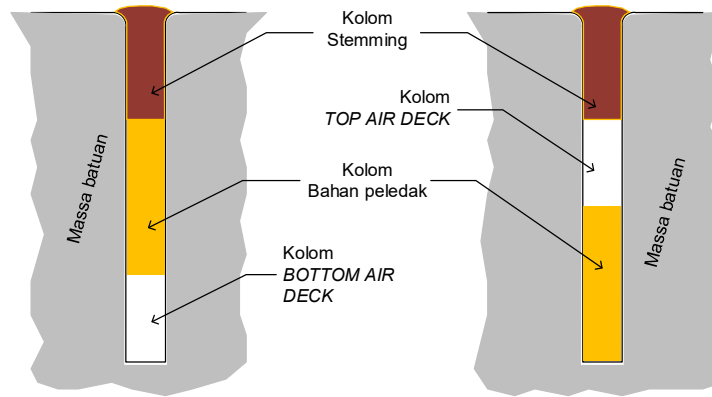
(2) Penerapan *air decking*

Teknik *decking* adalah suatu upaya untuk mengurangi tingkat getaran peledakan dengan mengurangi jumlah bahan peledak tanpa mengubah rancangan dan dimensi parameter geometri peledakan. Namun yang perlu diperhatikan adalah distribusi fragmentasi akan berubah akibat bahan peledak dikurangi, sementara parameter geometri peledakan lainnya tetap. Dengan sistem peledakan *decking* dapat dipastikan biaya peledakan pun dapat berkurang karena PF menurun.

Sistem peledakan *decking* dapat dilakukan pada posisi *top air deck* atau *bottom air deck* yang sketsanya dapat dilihat pada Gambar 12. Batas ruang kosong dalam kolom isian bahan peledak (*air-deck*) sangat menentukan keberhasilan peledakan, oleh sebab itu kriterianya harus tetap diperhatikan, yaitu PF_{deck} terpenuhi, distribusi fragmentasi sesuai yang diharapkan dan NAB getaran peledakan pada jarak tertentu terpenuhi. Kondisi tersebut dapat diterima karena getaran peledakan merupakan fungsi dari muatan bahan peledak, sehingga pada massa batuan yang sama sesungguhnya sangat logis bahwa penerapan sistem *decking* dapat mengurangi getaran akibat pengurangan jumlah bahan peledak.

**GETARAN TANAH AKIBAT PELEDAKAN PADA JARAK AMAN KURANG DARI 300 METER TERHADAP MANUSIA
DAN BANGUNAN DI KUARI BATUGAMPING PT LEBAK ENERGI NUSANTARA BAYAH KABUPATEN LEBAK
PROVINSI BANTEN**

Material *stemming* pada *top air deck* perlu ditahan menggunakan *strong-plug* atau jenis penahan lainnya agar tidak merosot. Demikian juga pada *bottom air deck* bahan peledak harus ditahan dengan *strong-plug* yang dilengkapi tiang sampai dasar lubang yang mampu menahan seluruh beban dari atasnya, yaitu bahan peledak dan material *stemming*.



Gambar 12 Prinsip peledakan sistem *decking*

Untuk mendapatkan tingkat getaran yang diharapkan, sebaiknya dilakukan simulasi terlebih dulu untuk menentukan tinggi *decking* yang tepat agar tingkat getaran yang diinginkan tercapai. Contohnya peledakan rutin yang dilakukan di kuari PT LEN menggunakan diameter lubang ledak 102 mm (= 4 inci), kedalaman lubang (L) 12 m, dan panjang kolom *stemming* (T) 3,5 m. Kemudian dilakukan simulasi peledakan metode *decking* dengan menerapkan panjang kolom *decking* secara beragam, yaitu tanpa *decking* (0), panjang kolom *decking* 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m dan 2,0 m. Penambahan panjang kolom *decking* (Dk) diiringi dengan pengurangan muatan bahan peledak yang memberikan dampak terhadap pengurangan energi ledak. Sedemikian rupa, apabila pemantauan getaran peledakan dilakukan pada jarak yang sama, misalnya 300 m, maka dapat diestimasi getaran peledakan yang terekam pun mengecil seperti terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil simulasi peledakan dengan metode *decking*

L (m)	T (m)	Deck (m)	PC (m)	W (kg/dly)	PPV, (mm/s)			
					250 m	300 m	400 m	500 m
12,0	3,5	0,0	8,5	55,58	5,07	3,81	2,43	1,71
12,0	3,5	0,5	8,0	52,31	4,84	3,64	2,32	1,63
12,0	3,5	1,0	7,5	49,04	4,60	3,46	2,20	1,55
12,0	3,5	1,5	7,0	45,77	4,36	3,28	2,09	1,47
12,0	3,5	2,0	6,5	42,50	4,11	3,09	1,97	1,39

Nilai PPV yang diperoleh pada Tabel 7 dihitung menggunakan persamaan kurva *scaled distance* (SD) pada Gambar 10, yaitu $PPV = 1237,5 (SD)^{-1,565}$, dengan variasi jarak (D) dari 250 m, 300 m, 400 m sampai 500 m. Untuk jarak pengukuran yang sama, makin panjang *decking* (Dk) PPV cenderung menurun karena energi ledaknya rendah akibat jumlah bahan peledak (W) berkurang (Gambar 13). Kemudian berdasarkan sebaran titik hubungan antara Dk dan PPV pada Gambar 13, dari setiap perbedaan jarak diperoleh persamaan garis regresi linier menurun yang masing-masing persamaan sebagai berikut:

(a) $PPV_{250} = -0,4801(Dk) + 5,0750$; $R^2 = 0,9999$

- (b) $PPV_{300} = -0,3609(Dk) + 3,8152$; $R^2 = 0,9999$
- (c) $PPV_{400} = -0,2301(Dk) + 2,4321$; $R^2 = 0,9999$
- (d) $PPV_{500} = -0,1623(Dk) + 1,7152$; $R^2 = 0,9999$

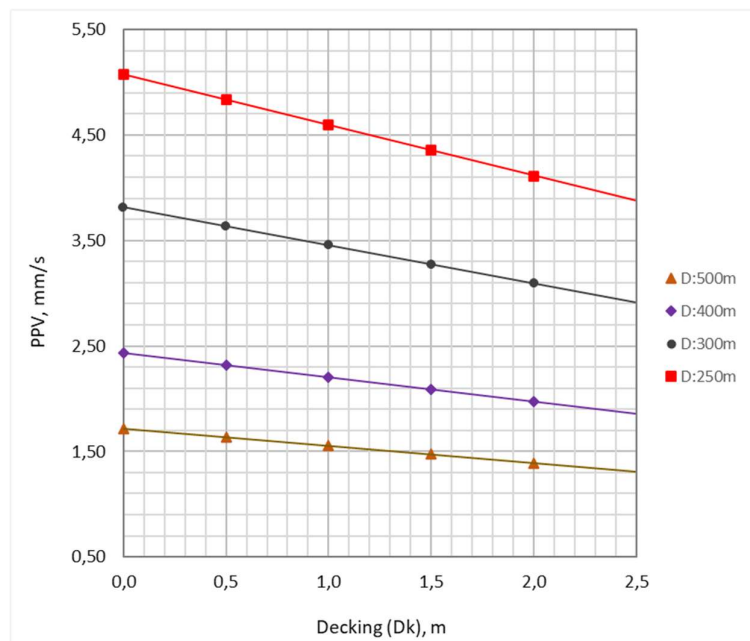
Kurva regresi linier tersebut bermanfaat untuk menaksir panjang kolom *decking* apabila dikehendaki nilai PPV tertentu. Contoh mencari panjang kolom *decking* (Dk) bila diinginkan PPV = 3 mm/s pada jarak 300 m, maka dipakai persamaan (b) dan hasilnya adalah:

$$PPV_{300} = -0,3609(Dk) + 3,8152$$

$$3 = -0,3609(Dk) + 3,8152$$

$$Dk = \frac{3,8152 - 3}{0,3609} = 2,25 \text{ m}$$

Jadi, dengan panjang kolom *decking* 2,25 m ditaksir nilai PPV pada jarak 300 m sebesar 3 mm/s. Untuk menaksir panjang kolom *decking* pada jarak 250 m, 400 m dan 500 m dengan tingkat PPV tertentu dapat diterapkan cara yang sama. Perlu diperhatikan bahwa pendekatan untuk mendapatkan panjang Dk dengan persamaan di atas masih tetap memerlukan kajian dan percobaan langsung di lapangan.



Gambar 13 Penurunan PPV pada kurva *decking* dengan variasi D

KESIMPULAN

Pada kisaran jarak 300 m tingkat getaran peledakan terbanyak berada pada rentang 1,028 mm/s sampai dengan 1,943 m/s (dibulatkan 2,000 mm/s), tetapi ada pula yang mencapai 4,330 mm/s dan 4,61 mm/s. Menurut standar USBM manusia mulai terganggu pada tingkat getaran 5 mm/s, sehingga untuk tingkat getaran peledakan sekitar 4,6 mm/s ditafsirkan kritis untuk manusia. Perlu tindakan pengamanan dengan mengurangi muatan bahan peledak per *delay* agar getaran peledakan menurun sampai pada tingkat aman secara psikologis untuk manusia.

**GETARAN TANAH AKIBAT PELEDAKAN PADA JARAK AMAN KURANG DARI 300 METER TERHADAP MANUSIA
DAN BANGUNAN DI KUARI BATUGAMPING PT LEBAK ENERGI NUSANTARA BAYAH KABUPATEN LEBAK
PROVINSI BANTEN**

Kondisi bangunan di sekitar kuari tergolong kelas 3 yang menurut SNI 7571:2010 tingkat getaran maksimum yang bisa diterima adalah 5 mm/s. Karena tingkat getaran maksimum pada jarak 300 m sebesar 4,6 mm/s, maka disimpulkan hasil peledakan di kuari tidak mempengaruhi bangunan.

Metode pengurangan dampak getaran tanah dapat menggunakan salah satu dari tiga alternatif solusi di bawah ini.

- Penerapan kurva *scale distance* (SD) hasil pengukuran getaran tanah dapat mengontrol jumlah bahan peledak yang hasilnya 40,85 kg/delay untuk mendapatkan PPV = 3 mm/s atau 78,47 kg/delay untuk PPV = 5 mm/s pada jarak yang sama-sama 300 m.
- Penggunaan detonator elektronik (EDD) dengan metode peledakan segmentasi dipastikan dapat mengurangi getaran tanah karena mampu mengontrol akurasi waktu tunda (*delay time*) hasil analisis *signature holes*, sehingga ada jaminan peledakan *hole by hole*.
- Penerapan *air deck* diyakini dapat mengurangi tingkat getaran pada jarak yang sama karena berasosiasi dengan berkurangnya jumlah bahan peledak. Simulasi menyimpulkan bahwa pada desain peledakan rutin tanpa *decking* dihasilkan getaran tanah sebesar 3,81 mm/s pada jarak 300 m, sedangkan bila diterapkan kolom *decking* sepanjang 1 m getaran tanah berkurang menjadi 3,46 mm/s pada jarak yang sama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala PPSDM Geominerba yang telah mengizinkan penulis untuk menyusun publikasi ilmiah ini dan Kepala Teknik Tambang PT Lebak Energi Nusantara atas izin pengambilan data di lokasi yang menjadi tanggungjawabnya. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Mitra Bestari atas terbitnya artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinugraha, W., & Fikri, A., 2022. Pengaruh Penerapan Ruang Kosong Pada Lubang Ledak Terhadap Jarak Lemparan Batu Terbang kurang dari 150 meter Guna Memperkecil Jarak Evakuasi Alat Mekanis (Studi Kasus Peledakan Pada PT Alamjaya Bara Pratama) (Vol. 7, Issue 1).
- Dowding, C.H. 1985. *Blast Vibration Monitoring and Control*. Prentice-Hill, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 297 p.
- Konya, C.J. & Walter, E.J. 1990. *Surface Blast Design*. Prentice-Hill, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632. 301 p.
- Nicholls, H.R., Johnson, C.F., & Duvall, W.I. 1971. *Blasting Vibrations and Their Effects on Structures*. United States Department of the Interior Bureau of Mines, Bulletin 656.
- Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W., & Dowding, C.H. 1980. *Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting*. Report of Investigation 8507, United States Department of the Interior, Bureau of Mines, USA.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 7571:2010: *Tingkat Getaran Peledakan pada Kegiatan Tambang Terbuka Terhadap Bangunan*. Badan Standardisasi Nasional.