

KAJIAN TERHADAP BEBERAPA SEISMOGRAM *BLASTING*
PENAMBANGAN BATU GAMPING PT SEMEN NUSANTARA,
NUSAKAMBANGAN, CILACAP, JAWA TENGAH
(Further Analysis On The Seismograms of Blasting of Limestone In The Quarry of
PT Semen Nusantara, Nusakambangan, Cilacap, Central Java)

Ari Setiawan dan Achmad Mahfi
Laboratorium Geofisika, Jurusan Fisika, FMIPA, UGM

ABSTRAK

Kajian ini memperluas analisis terhadap hasil perekaman getaran permukaan tanah akibat *blasting* penambangan batu gamping di Kawasan Penambangan Batu gamping PT Semen Nusantara, Nusa Kambangan, Cilacap, Jawa Tengah. Di dalam kajian ini, hasil AMDAL (Analisis Mengenai Dampak Lingkungan) yang terbatas pada evaluasi amplitudo kecepatan dan percepatan getaran permukaan tanah dan kandungan frekuensi, diperluas dengan kajian mengenai polarisasinya.

Selain akan memperkaya khazanah penelitian dalam bidang Geofisika Lingkungan, hasil penelitian ini akan memberikan gambaran yang nyata tentang mutu lingkungan kita yang berkaitan dengan getaran permukaan tanah.

ABSTRACT

A further analysis on the seismograms of the blasting of limestone in the quarry of PT Semen Nusantara, Nusa Kambangan, Cilacap, Central Java was attempted. The EEA (Environmental Effects Analysis), which was limited on the amplitudes of the velocity and acceleration of the seismograms and its frequency contents, was extended with its polarisation analysis.

In addition to the enrichment of Environmental Geophysics field of study, the results surely demonstrate the actual conditions of the quality of our environmental ground surface vibrations.

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang dan Tujuan Penelitian

Pada bulan Mei 1996 penulis, yang tergabung di dalam tim PPLH UGM, melakukan perekaman getaran permukaan tanah yang timbul sebagai akibat dari kegiatan *blasting* penambangan batu gamping di kawasan penambangan batu gamping PT Semen Nusantara, Nusa Kambangan, Cilacap, Jawa Tengah.

Perekaman dilakukan dengan seismometer digital portabel Mars-88/FD yang dapat merekam komponen kecepatan getaran permukaan tanah dalam arah N-S (utara-selatan), E-W (timur-barat) dan Z (vertikal).

Perekaman itu dilakukan sebagai bagian dari pelaksanaan studi AMDAL (Analisis Mengenai Dampak Lingkungan) terhadap rencana perluasan dan peningkatan produksi pabrik semen tersebut dari 850.000 ton per tahun menjadi 4.100.000 ton per tahun.

Pada waktu itu, analisis terhadap seismogram yang diperoleh terbatas pada evaluasi terhadap amplitudo kecepatan dan percepatan getaran permukaan tanah. Tujuannya ialah untuk memprakirakan atau memprediksi dampak kegiatan *blasting* terhadap keselamatan bangunan dan rumah-rumah penduduk di sekitarnya pada waktu peningkatan produksi itu terlaksana kelak.

Kajian Terhadap Beberapa Seismogram Blasting

Di dalam kajian ini, penulis memperluas dan mempertajam analisis itu dengan beberapa analisis lanjut seperti analisis kandungan frekuensi dan polarisasi. Hasil penelitian ini selain untuk memperkaya khazanah geofisika lingkungan, juga diharapkan sebagai masukan yang berharga sebagai contoh lapangan yang nyata mengenai mutu lingkungan yang berkaitan dengan dampak *blasting*.

II. CARA PENELITIAN

A. Alat yang Digunakan

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah seismometer portabel Model Mars 88/FD, yang spesifikasinya tercantum pada Lampiran I. Alat ini dilengkapi dengan sistem akuisisi data digital yang dapat menyimpan data kira-kira 3 MB pada dua disket flopi 3.5", yang memungkinkan kita untuk

melakukan perekaman data tiga kanal, masing-masing dengan lebar pita sinyal 25 Hz selama 2 jam terus menerus.

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan di kawasan Penambangan Batu gamping PT Semen Nisantarta, Nusakambangan, Cilacap, pada waktu-waktu kegiatan *blasting* sedang berlangsung, yaitu sekitar pukul 12.00 WIB dan sekitar pukul 16.00 WIB. Kegiatan pengumpulan data itu disajikan secara lebih rinci pada Tabel 1.

C. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

Mula-mula hasil perekaman yang berupa data digital dalam format MARS diubah ke dalam format ASCII dengan menggunakan

Tabel 1. Perekaman Data *Blasting*

No.	Tanggal	Waktu	Lokasi	Kode
1.	21 Mei 1996	16:17:56 WIB	400 m di sebelah barat laut sumber ledakan	NUSAKAM1
2.	24 Juni 1996	11:55:28 WIB	200 m di sebelah barat laut sumber ledakan	NUSAKAM2
3.	24 Juni 1996	16:17:56 WIB	400 m di sebelah barat laut sumber ledakan	NUSAKAM3

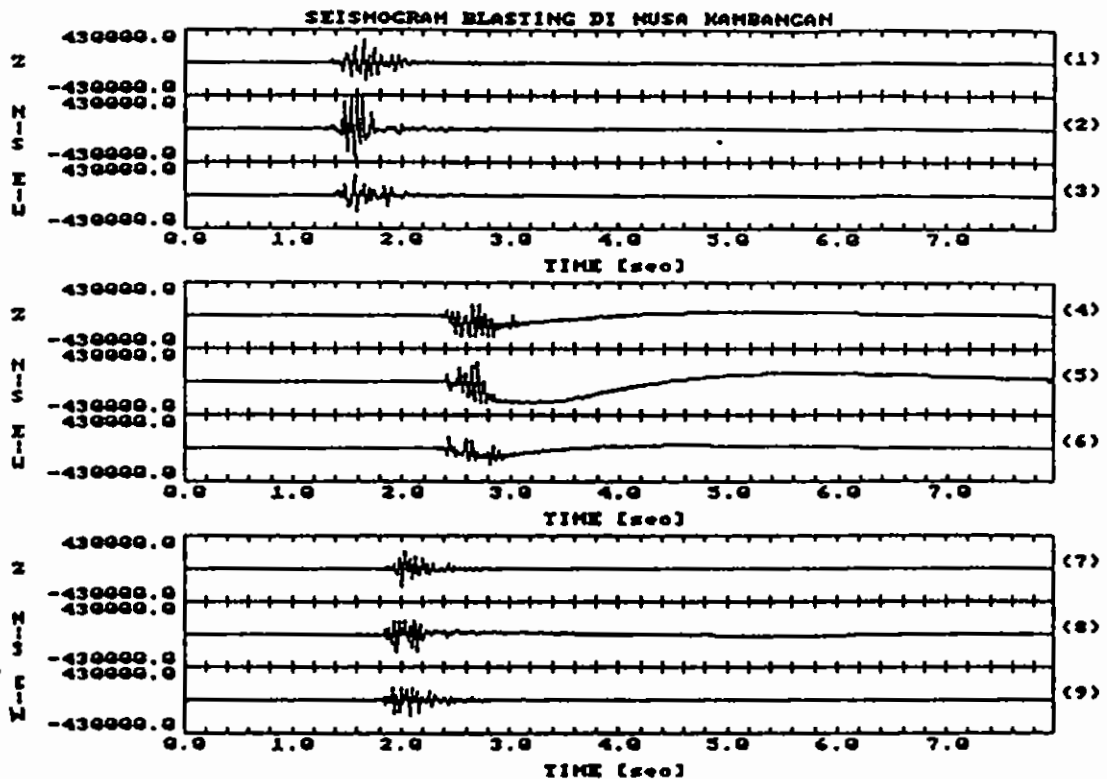
Keterangan : Waktu cuplik (*sampling time*) 6 ms, ekuivalen dengan frekuensi 62.5 Hz.

program MARSDUMP. Tujuannya ialah agar data tersebut dapat diolah dengan program PITSA, sehingga data rekaman/seismogram dapat ditampilkan. Selanjutnya seismogram itu dianalisis spektrum frekuensinya dengan teknik FFT (*Fast Fourier Transformation*). Karena yang terekam adalah data kecepatan getaran, maka untuk memperoleh percepatan getaran data seismogram tersebut harus didiferen-sialkan. Analisis polarisasinya dilakukan dengan proses *particle motion*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tampilan rekaman atau seismogram Nusakam1, Nusakam2 dan Nusakam3 disajikan pada Gambar 1.

Untuk mengubah skala vertikal yang masih dalam satuan μV ke dalam satuan kecepatan SI (m/s), nilai-nilai yang masih dalam satuan μV itu dibagi dengan sensitivitas seismometer, yaitu $400 \mu\text{V s/m}$. Amplitudo positif dan negatif masing-masing rekaman kecepatan disajikan pada tabel 2.



Gambar 1. Seismogram *Blasting* Penambangan Batu Gamping di Kawasan Penambangan Batu Gamping PT Semen Nusantara, Nusakambangan, Cilacap
 a. Nusakam1 (1, 2, 3),
 b. Nusakam2 (4, 5, 6),
 c. Nusakam3 (7, 8, 9).

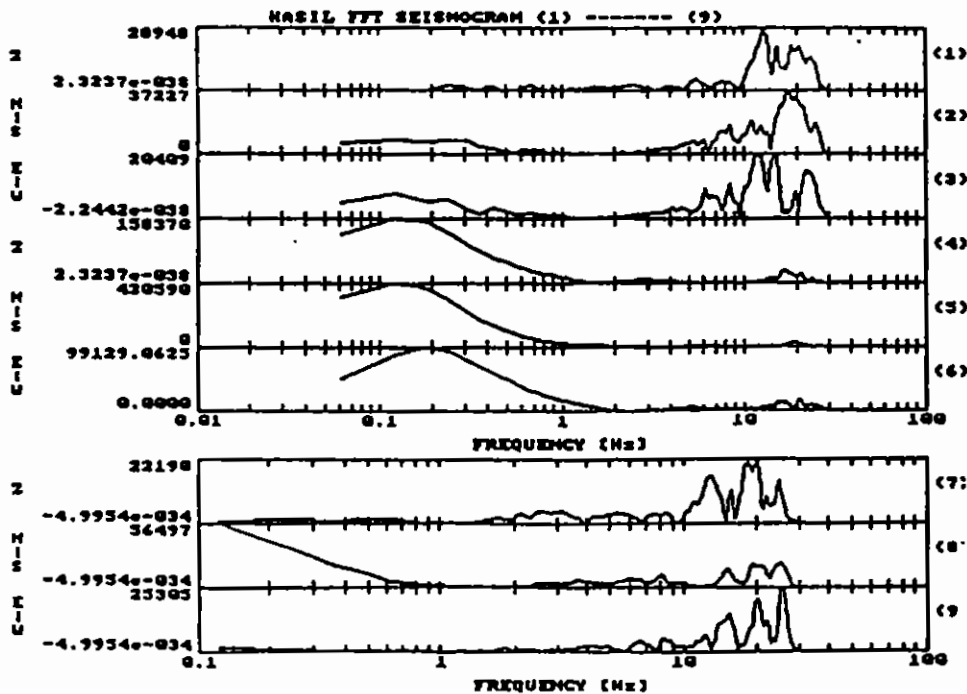
Kajian Terhadap Beberapa Seismogram Blasting

Untuk mengubah skala vertikal yang masih dalam satuan μV ke dalam satuan kecepatan SI (m/s), nilai-nilai yang masih dalam satuan μV itu dibagi dengan sensitivitas seismometer, yaitu $400 \mu V$ s/m. Amplitudo positif dan negatif masing-masing rekaman kecepatan getaran disajikan pada Tabel 2.

Hasil pengolahan data tersebut dengan teknik FFT (*Fast Fourier Transformation*) disajikan pada Gambar 2, sedangkan lebar pita-frekuensi (*frequency-band bandwidth*) dan frekuensi dominan (*dominant frequencies*) disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Amplitudo Positif dan Negatif untuk Masing-masing Rekaman Kecepatan Getaran

Rekaman	Amplitudo kecepatan getaran					
	μV			m/s		
	Z	N-S	E-W	Z	N-S	E-W
	-230400	-429440	-198528	-0.000576	-0.0010736	-0.00049632
NUSAKAMI	+297376	+393440	+246304	+0.00074344	+0.0009836	+0.00061576
	-262436	-262144	-1999616	-0.00065534	-0.00065536	-0.00049904
NUSAKAM2	+144488	+238632	+144080	+0.00036122	+0.00059658	+0.0003602
	-223224	-229336	-205424	-0.00055806	-0.00057334	-0.00051356
NUSAKAM3	+228568	+184832	+161880	+0.00057142	+0.00046208	+0.0004047



Gambar 2. Hasil FFT Seismogram Nusakam1, Nusakam2 dan Nusakam3.

Tabel 3. Lebar Pita-Frekuensi dan Frekuensi Dominan untuk Masing-Masing Rekaman

Rekaman	Lebar pita-frekuensi			Frekuensi dominan		
	Z	N-S	E-W	Z	N-S	E-W
NUSAKAM1	0.1 - 30	0.1 - 30	0.1 - 30	12.6	17.5	12; 14.6
NUSAKAM2	0.1 - 30	0.1 - 30	0.1 - 30	0.15; 16; 19; 24	0.15; 19	0.2; 20
NUSAKAM3	10 - 30	0.1 - 30	10 - 30	18; 20	0.13; 19; 25	20; 25

Berdasarkan keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. KEP-49/MENLH/11/1996 tanggal 25 Nopember 1996 (Lampiran II) tentang baku mutu tingkat getaran mekanik berdasarkan dampak kerusakan, maka selama penelitian harga batas *peak* kecepatan getaran (mm/detik) termasuk kategori A (tidak menimbulkan kerusakan).

Baku mutu yang semata-mata berdasarkan *peak* kecepatan getaran belum cukup aman, karena belum memasukkan kemungkinan terjadinya efek resonansi yang diwakili oleh frekuensi getaran.

Selanjutnya, berdasarkan baku mutu getaran mekanik yang dikaitkan dengan kesehatan atau kenyamanan (keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomer: KEP-49/MENLH/11/1996 tanggal 25 Nopember 1996) maka nyaman tidaknya getaran dikaitkan dengan amplitudo simpangan getarnya. Amplitudo simpangan getar dapat kita peroleh dengan cara mengintegalkan data kecepatan getaran. Dalam hal ini kami tidak melakukan analisisnya, karena walaupun kami analisis toh kami tidak akan dapat menarik kesimpulan apa-apa. Seandainya amplitudo simpangan getar jauh lebih besar dari batas ambang baku mutu (namun karena durasi atau lamanya *blasting* itu berlangsung sangat singkat (sekitar 1

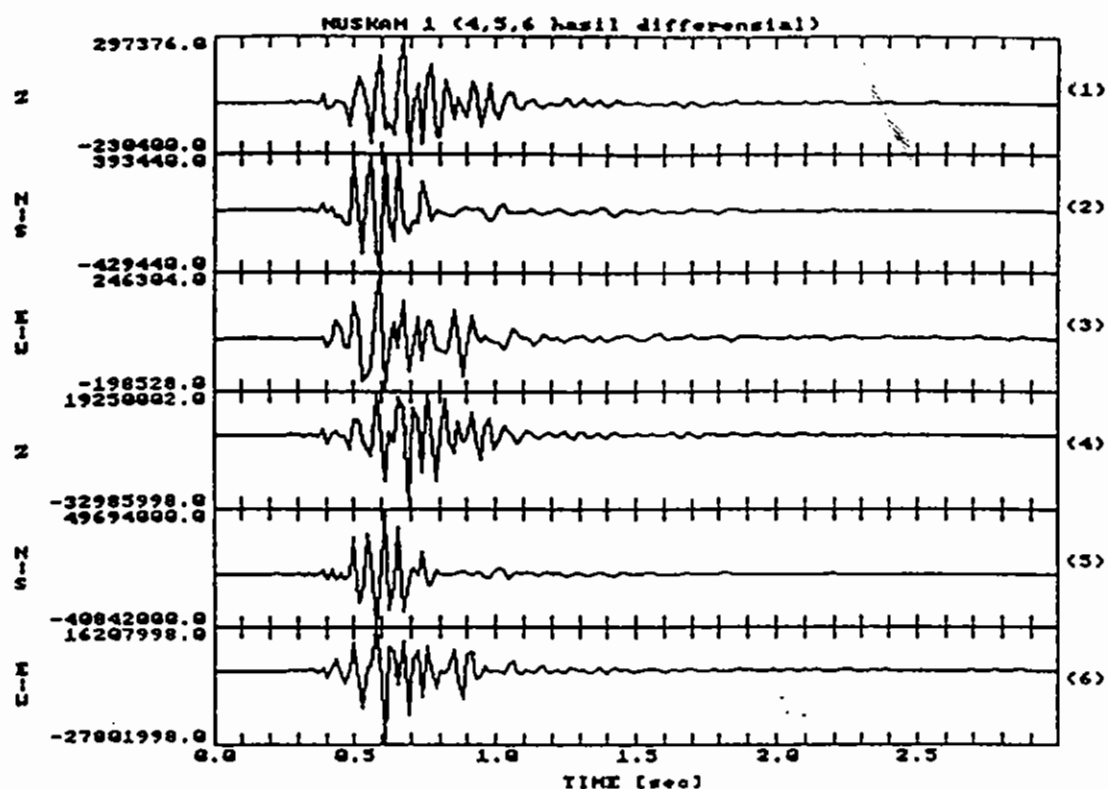
sekon) dan perulangannya hanya 4 kali dalam 24 jam) maka amplitudo simpangan yang besar itu tentu tidak akan ada dampak negatifnya bagi kesehatan atau kenyamanan.

Pengaitan ambang baku mutu getaran untuk kesehatan dengan selang (*interval*) frekuensi getaran dapat dinilai sebagai hal yang baik. Namun, akan lebih baik dan lebih sempurna kalau ambang baku mutu getaran juga dikaitkan dengan durasi dan perulangan getarannya.

Untuk mengetahui besarnya percepatan getaran, maka terhadap data seismogram yang berupa data kecepatan getaran (seismometer MARS-88 sensitif terhadap kecepatan getaran) dilakukan proses pendiferensialan untuk masing-masing komponen seismogram. Contoh hasil pendiferensialan data seismogram Nusakam1 dapat dilihat pada Gambar 3. Amplitudo maksimum percepatan partikel untuk masing-masing seismogram dan konversinya dari satuan $\mu V/s$ ke dalam satuan SI (m/s^2) dapat dilihat pada Tabel 4.

Baku mutu untuk percepatan getaran dan durasi getaran, baik di tingkat daerah maupun nasional belum ada, sehingga bahasan ini kiranya dapat dijadikan masukan bagi penyempurnaan baku mutu getaran yang berlaku sekarang.

Kajian Terhadap Beberapa Seismogram Blasting



Gambar 3. Hasil Differensial (4,5,6) Dari Data Seismogram Nusakam1 (1,2,3).

Tabel 4. Amplitudo Maksimum Rekaman Seismogram setelah Dideferensial untuk Masing-Masing Rekaman

Rekaman	Percepatan					
	$\mu V/s$			m/s^2		
	Z	N-S	E-W	Z	N-S	E-W
NUSAKAM1	-32985998	-40842000	-27801998	-0.082465	-0.102105	-0.0695
	19250002	49694000	16207998	0.048125005	0.124235	0.0405
NUSAKAM2	-21898998	-22420498	-16090499	-0.0547475	-0.05605125	-0.0402
	25413998	30007498	14533999	0.063534995	0.075018745	0.0363
NUSAKAM3	-17071500	-25687998	-20926500	-0.04267875	-0.06422	-0.0523
	17541000	22171998	22511500	0.0438525	0.055429995	0.0563

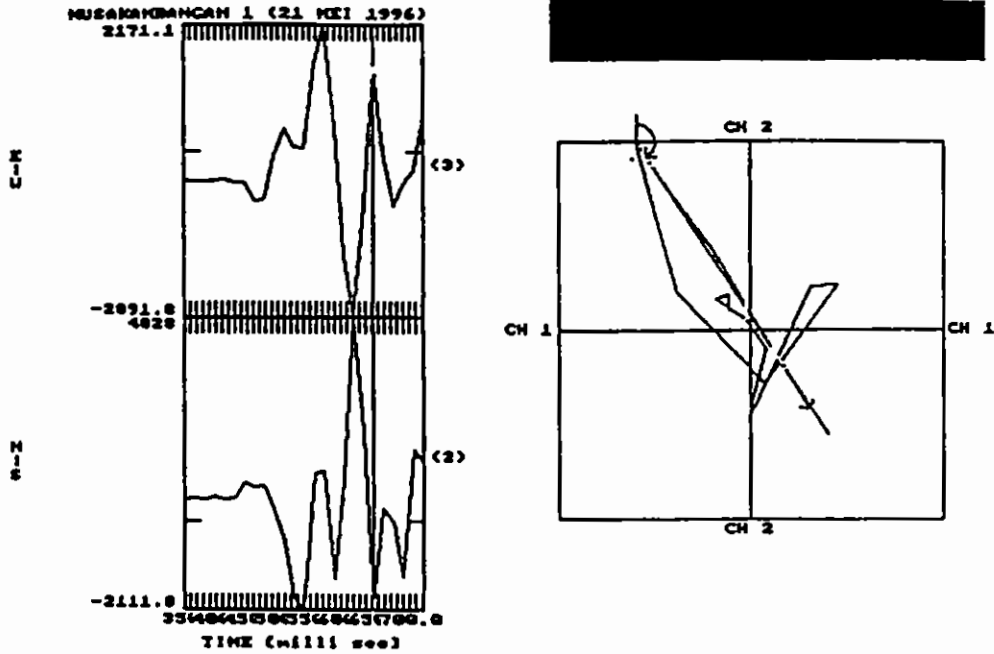
Analisis polarisasi biasanya digunakan untuk menentukan arah sumber getaran. Dalam penelitian ini analisis polarisasi dilakukan hanya untuk mengecek arah sumber getaran, karena sumber dan seismogram pada komponen N-S (Utara-Selatan) dan E-W (Timur-Barat). Untuk

posisi seismometer sudah diketahui dengan jelas. Analisis polarisasi dilakukan dengan cara sebagai berikut:

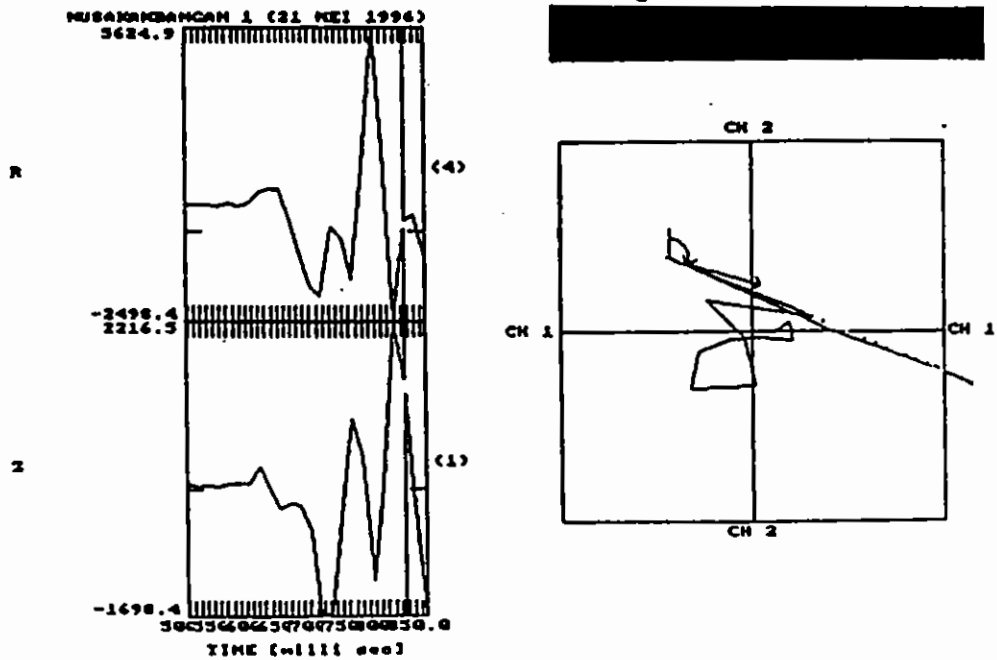
Arah mundur (*back azimuth*) dapat ditentukan dari analisis gerakan partikel menentukan sudut datang I diperlukan analisis gerakan partikel pada komponen radial (R)

dan vertikal (Z), sehingga diperlukan rotasi komponen N-E (Utara-Timur) ke R-T (Radial-Tangensial). Sudut datang i diperkirakan dari orientasi gerak partikel

seismogram komponen radial (R) dan vertikal (Z). Sebagai contoh pada Gambar 4a dan 4b disajikan analisis polarisasi untuk seismogram Nusakam 1.



Gambar 4a. Penentuan Arah Mundur Seismogram Nusakam1.



Gambar 4.b. Penentuan Sudut Insiden Seismogram Nusakam1

Kajian Terhadap Beberapa Seismogram Blasting

Tabel 5. Hasil Analisis Polarisasi Ketiga Seismogram

Rekaman	Arah mundur (α)	Sudut insiden(I)
NUSAKAM1	147.229°	113.127°
NUSAKAM2	119.330°	78.818°
NUSAKAM3	132.547°	63.911°

Selanjutnya pada Tabel 5 ditampilkan hasil analisis polarisasi untuk seismogram Nusakam1, Nusakam2, Nusakam3; yaitu berupa arah mundur (*back azimuth*) dan sudut insiden (*incidence angle*) lintasan getaran

Hasil ini ternyata sesuai dengan data di lapangan, yaitu penempatan seismometer yang berada pada arah Barat Laut dari sumber (Nusakam1: 147.229°; Nusakam2: 119.330°; Nusakam3: 132.547°).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Baku mutu tingkat getaran mekanik berdasarkan dampak kerusakan, harga batas *peak* kecepatan getaran (mm/detik) termasuk kategori A (tidak menimbulkan kerusakan). Baku mutu tingkat getaran mekanik berdasarkan dampak kesehatan dan kenyamanan kerja tidak dapat ditentukan, karena baru dikaitkan dengan interval frekuensi, serta belum dilengkapi dengan durasi dan perulangan getaran. Baku mutu tingkat getaran mekanik berdasarkan dampak kesehatan dan kenyamanan hidup di masa yang akan datang perlu disempurnakan dengan mengkaitkan dengan batas durasi serta perulangan getaran
2. Seismometer digital MARS-88 tiga komponen atau seismometer yang setingkat dengan itu ternyata lebih baik

dalam arti luas dibandingkan dengan seismometer analog/manual yang konvensional.

3. Analisis polarisasi cukup andal dalam menentukan arah mundur (*back azimuth*) dan sangat berguna untuk menentukan arah datangnya getaran.

B. Saran

Baku mutu tingkat getaran mekanik berdasarkan dampak kesehatan dan kenyamanan hidup di masa yang akan datang perlu disempurnakan dengan mengkaitkan dengan batas durasi serta perulangan getaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Aki, K. & Richard, P.G., (1980). *Quantitative Seismology : Theory and Methods*, W.H. Freeman & Co., San Fransisco.
- Anonim, *LE-3D/5s three directional 5 sec geophone user's manual*, Lennartz Electronic GmbH, Bismarckstrasse 136 D - 7400, Tuebingen, Federal Republic of Germany.
- Anonim, *MARS-88 Short Form Description*, Lennartz Electronic GmbH, Bismarckstrasse 136 D - 7400, Tuebingen, Federal Republic of Germany.
- Anonim, Peraturan Perundang-Undangan mengenai Udara, Surat Keputusan Menteri Lingkungan hidup Nomor: KEP-49/MENLH/11/1996 tentang baku mutu tingkat getaran.

- Bristle, W.,(1986). *Analog and Digital Signal Processing*, FMIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kanasewich, E.R., (1981). *Time Sequence Analysis in Geophysics*, The University of Alberta Press, Canada.
- Scherbaum, F. & Johnson, J., (1991). *Programable Interactive Toolbox for Seismological Analysis (PITSA)*, Institute für Allgemeine und Angewandte Geophysik der Ludwig Maximilians Universität, München.
- Setiawan, A., (1993). *Pengukuran Seismik Tiga Komponen dan Analisis Polarisasi Kegiatan Seismik Gunung Merapi pada Saat Pembentukan Kubah Lava Tahun 1992*, Thesis, program Pasca Sarjana, UGM, Yogyakarta.

Lampiran I

Model Mars-88 /FD memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- Kanal seismik, 1 tambahan kanal monitor.
- Interval sampling : 2, 4, 8, ... 128 msec.
- Prosesor signal digital presisi tinggi, FIR tapis anti alias dalam waktu nyata > 120 db untuk pengaman alias.
- Resolusi standar 16-bit, tambahan 20 - bit
- Uotput triger dan eksternal input triger.
- Jam TLXO dengan memiliki PLL kontrol untuk stabilitas yang unggul dan tahan lama.
- DCF-77 time code decoder terpaasang.
- KB, 1 atau 4 MB statik CMOSRAM data buffer.
- Tersedia keyboard dan LCD display untuk melihat dan merubah parameter yang sesuai di lapangan.
- Tersedia LED untuk melihat input signal analog di lapangan.
- Tersedia RS-232 serial interface untuk program interaktif.
- Tersedia 10 Ah rechargeable lead bttery dengan charger elektronik.

Seismometer LE-3D/5 s adalah gephon 5 sec tiga komponen

Data-data teknik:

Sensitivitas	: 400 Vs/m
Eigen frekuensi	: 0.2 Hz (5 sec)
Frekuensi pojok atas	: > 40 Hz
Redaman	: 0.7 + kritikal
Jangkauan suhu	: -15° ... + 35° C
Sistem pelindung	: IP65
Dimensi	: 195 mm (diameter)* 165 mm
Berat	: kira-kira 6 kg
Konsumsi power	: 10... 5 V --> kira-kira 100 mW (12V/8mA)

Lampiran II

KEPUTUSAN MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP

Nomor : KEP-49 /MENLH/11/1996

Tanggal : 25 Nopember 1996

BAKU MUTU GETARAN MEKANIK BERDASARKAN DAMPAK KERUSAKAN

Getaran		Frekuensi (Hz)	Batas getaran peak (mm/detik)			
Parameter	Satuan		Katagori A	Katagori B	Katagori C	Katagori D
Kecepatan	mm/detik	4	<2	2 - 27	>27 - 140	>140
Getaran		5	<7.5	7.5 - 25	>25 - 130	>130
		6.3	<7	7 - 21	>21 - 110	>110
Frekuensi	Hz	8	<6	6 - 19	>19 - 100	>100
		10	<5.2	5.2 - 16	>16 - 90	> 90
		12.5	<4.8	4.8 - 15	>15 - 80	> 80
		16	<4	4 - 14	>14 - 70	> 70
		20	<3.8	3.8 - 12	>12 - 67	> 67
		25	<3.2	3.2 - 10	>10 - 60	> 60
		31.5	<3	3 - 9	> 9 - 53	> 53
40	<2	2 - 8	> 8 - 50	> 50		
		50	<1	1 - 7	> 7 - 42	> 42

Keterangan

- Katagori A : Tidak menimbulkan kerusakan
 Katagori B : Kemungkinan keretakan plesteran (retak/terlepas plesteran pada dinding pemikul beban (pada kasus khusus)
 Katagori C : Kemungkinan rusak komponen struktur dinding pemikul beban
 Katagori D : Rusak dinding pemikul beban