

**KUANTISASI JENIS GEMPA VOLKANIK GUNUNG MERAPI
UNTUK KEPERLUAN PREDIKSI LETUSAN
MENGUNAKAN METODA KORELASI DIMENSI**

Budi Eka Nurcahya, Ari Setiawan
Lab. Geofisika, FMIPA, UGM

INTISARI

Menggunakan metoda korelasi dimensi dapat dikuantisasikan tiga tipe gempa vulkanik Gunung Merapi. Tipe 1 harga dimensi fraktalnya $D_{c1}=4.49 \pm 0.24$, tipe 2 $D_{c2}=5.97 \pm 0.15$ dan tipe 3 $D_{c3}=5.34 \pm 0.16$. Harga dimensi fraktal ketiga tipe gempa vulkanik Gunung Merapi tersebut dapat dipakai sebagai dasar dalam merancang alat monitoring secara kontinyu untuk memprediksi adanya letusan secara cepat.

Kata kunci : gempa vulkanik, dimensi korelasi, prediksi letusan.

**TO QUANTIFY TYPE OF VOLCANIC EARTHQUAKES IN ORDER
TO PREDICT VOLCANIC ACTIVITY ON THE MERAPI VOLCANO:
APPLICATION OF CORRELATION DIMENSION METHOD**

Budi Eka Nurcahya, Ari Setiawan

ABSTRACT

Correlation dimension method has been used to quantify three types of seismovolcanic wave recorded at Merapi volcano. Type 1 has fractal dimension $D_{c1}=4.5 \pm 0.2$, type 2 $D_{c2}=6.0 \pm 0.2$ and type 3 $D_{c3}=5.3 \pm 0.2$. Values of the fractal dimension of the vibration can be used as additional parameters for on line data processing in volcanic activity prediction.

Key words : seismovolcanic, correlatin dimension, eruption prediction.

I. PENGANTAR

Gunung Merapi merupakan salah satu dari beberapa gunungapi yang paling aktif di Indonesia. Aktivitas gunungapi ini sukar diamati. Keadaan ini diduga karena aktivitas yang muncul merupakan hasil dari proses suatu sistem dinamika yang tidak linier, yaitu aliran magma pada gunungapi tersebut. Salah satu tanda adanya aktivitas dari Gunung Merapi adalah munculnya gempa vulkanik yang bentuknya bermacam-macam. Bentuk gempa vulkanik dan urutan terjadinya pada gunungapi ini sukar dikuantisasikan dengan cara analisis linier.

Untuk mengatasi kesukaran dalam mengkuantisasikan jenis gempa dan urutan terjadinya dilakukan kuantisasi dengan cara analisis tidak linier. Salah satu caranya menggunakan metoda korelasi dimensi (correlation-dimension). Cara ini merupakan langkah awal untuk kuantisasi aktivitas Gunung Merapi. Kuantisasi ini dilakukan karena pengamatan secara kontinyu dan otomatis perlu hasil analisis yang sifatnya kuantitatif. Hasil dari kuantisasi menggunakan metoda korelasi dimensi pada jenis-jenis gempa Gunung Merapi berupa harga dimensi fraktal diagram fase ruang (phase-space) data runtun waktu masing-masing jenis gempa gunung tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkuantisasikan jenis-jenis gempa vulkanik Gunung Merapi menggunakan metoda korelasi dimensi untuk beberapa jenis gempa vulkanik yang sering muncul. Dengan menggunakan hasil kuantisasi jenis-jenis gempa vulkanik Gunung Merapi diharapkan dapat dibuat alat monitoring gempa vulkanik secara kontinyu dan otomatis untuk keperluan prediksi letusan.

Sukarnya pengamatan aktivitas gunungapi karena aktivitas gunungapi merupakan hasil dari suatu sistem dinamika tidak linier. Sistem dinamika tidak linier yang ada pada gunungapi antaralain proses aliran magma didalam saluran magma (Julian 1994, Sornette 1991, Chouet 1991). Dinamika aliran fluida ini menimbulkan gempa vulkanik yang bentuk data runtun waktunya serta urutannya bersifat kaotik.

Bentuk gempa dan urutan terjadinya gempa vulkanik Gunung Merapi yang sifatnya kaotik mengakibatkan adanya kesulitan didalam analisis secara kuantitatif. Adapun masalah yang timbul didalam analisis kuantitatif dalam analisis jenis gempa, dan urutan atau interval gempa vulkanik gunungapi tersebut. Untuk mengatasi masalah ini dilakukan analisis secara kuantitatif menggunakan analisis dimensi korelasi. Penelitian ini merupakan tindak lanjut dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fadeli 1987 yaitu klasifikasi secara kualitatif data gempa vulkanik Gunung Merapi.

Untuk sinyal runtun waktu (gempa vulkanik) yang kaotik analisis linier (a.l. spectral analysis) kurang begitu baik dilakukan (Sidorowich 1993, Abarbanel 1997). Untuk mengetahui derajat kekaotikan data runtun waktu tersebut dilakukan analisis tidak linier (Abarbanel 1996, 1997). Salah satu cara analisis adalah penentuan dimensi korelasi atau dimensi fraktal dari diagram fase ruang yang dibentuk dari data runtun waktu.

Diagram fase-ruang dapat disusun dari suatu data runtun waktu yang tunggal, misalnya hasil rekman gempa vulkanik. Apabila kita mempunyai data runtun waktu dengan sampling Δt sebanyak M , maka dapat disusun suatu diagram fase-ruang dengan embedding-dimension m didalam ruang vektor R^m . Diagram fase-ruang ini dapat juga dinyatakan dalam suatu himpunan vektor

$$P = \left\{ \bar{z}(t_j) \right\}_{j=0}^{M-m} \text{ dimana;}$$

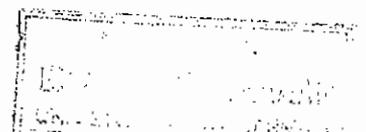
$$\bar{z}(t_j) := (y(t_j), y(t_{j+1}), \dots, y(t_{j+m-1})) \quad (1)$$

dan $1 \leq j \leq M-m+1$. Harga dimensi korelasi diagram fase-ruang tersebut adalah:

$$D_{cm} = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\ln(C(r))}{\ln(r)} \quad (2)$$

dengan

$$C(r) = \lim_{M \rightarrow \infty} \frac{1}{M(M-1)} \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^M H(r - |\bar{z}_i - \bar{z}_j|) \quad (3)$$



dimana r adalah penskala untuk diagram fase-ruang. $H(s)=1$ jika $s > 0$ dan $H(s)=0$ jika $s < 0$. Harga D_{cm} akan sama dengan dimensi fraktal D apabila harga D_{cm} tidak berubah untuk perubahan kenaikan harga m (Seydel, 1994).

II. CARA PENELITIAN

Lokasi Penelitian

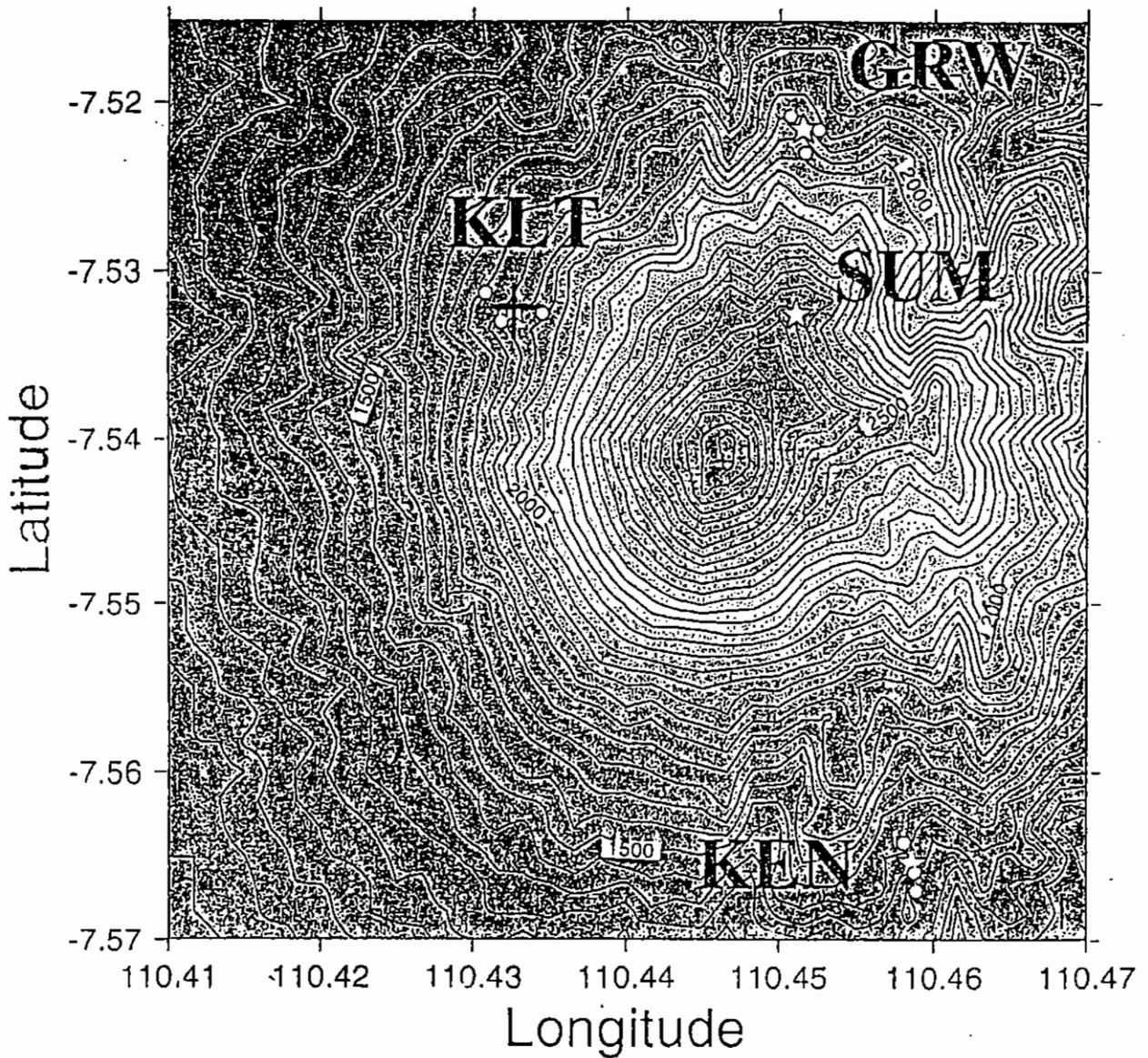
Pada penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap penelitian, yaitu pengambilan, pengolahan, dan analisis data. Pengambilan data gempa vulkanik Gunung Merapi dilakukan di Stasiun Klatakan menggunakan seismometer tiga komponen arah berpita lebar (broad-band) STS-2 yang mempunyai frekuensi diri 0.001 Hz pada tanggal 28-08-1997. Perekaman data dilakukan menggunakan data logger REFTEK 72A-07/6/ND. Klatakan berada disebelah barat puncak Gunung Merapi dengan ketinggian kurang lebih 1750 meter dari permukaan laut. Pengambilan data dilakukan dengan cuplikan (sampling) sebesar 50 Hz. Gambar-1 adalah lokasi penelitian. Data disimpan dengan format GSE dalam keadaan terkompres.

Pengolahan Data

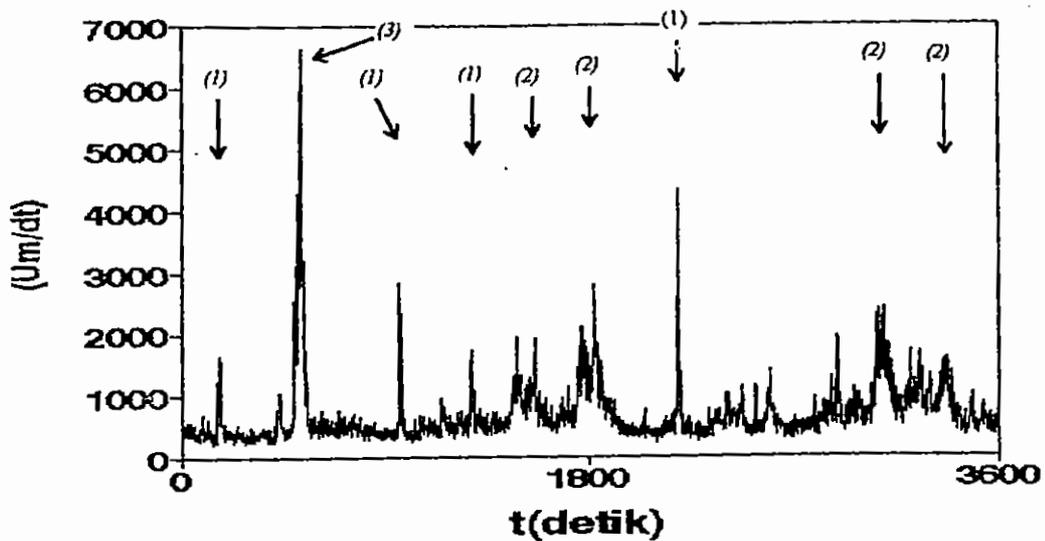
Langkah pertama pada pengolahan data adalah menampilkan data selama satu hari dalam bentuk sampel, untuk tiap rekaman data selama satu jam. Berdasarkan bentuk sampel data hasil rekaman kemudian dipilih gempa vulkanik yang terekam. Gempa vulkanik Gunung Merapi yang terekam ditunjukkan dengan puncak-puncak sampel. Gambar-2 adalah contoh sampel rekaman data antara jam 00:00 sampai dengan jam 01:00 GMT untuk komponen arah vertikal.

Pembuatan sampel dilakukan setelah data mengalami proses pentapisan tapis pita tinggi (highpass-filter) dengan frekuensi tapis 1 Hz.

Station distribution at Merapi



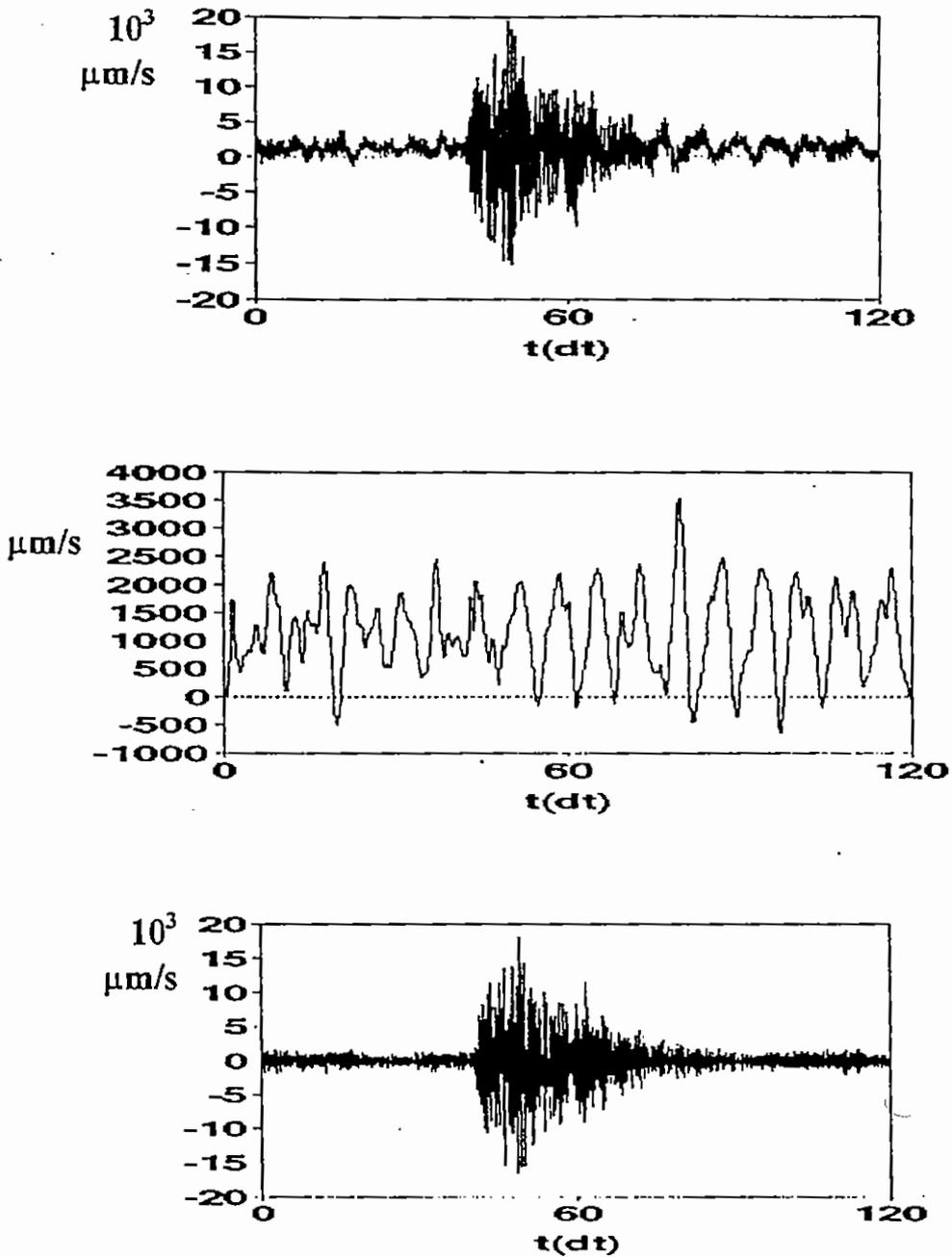
Gambar - 1. Lokasi Penelitian di Gunung Merapi, (+) Stasiun Klatakan.



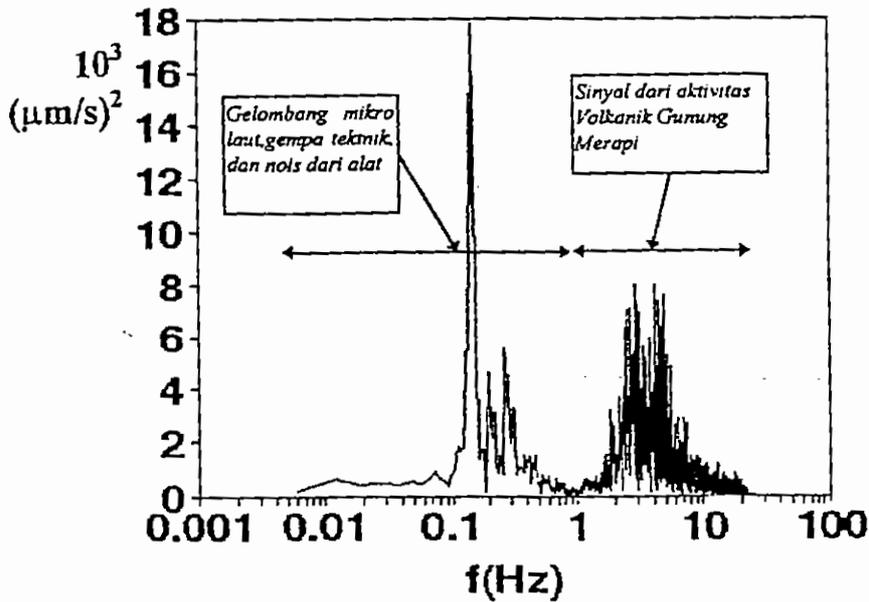
Gambar-2. Sampul rekaman data antara jam 00:00 sampai dengan jam 01:00 GMT untuk komponen arah vertikal.

Untuk mengetahui gempa vulkanik yang sebenarnya dilakukan analisis spektrum data hasil rekaman. Berdasarkan analisis spektrum diketahui bahwa sinyal yang terekam terdiri dari dua pita frekuensi yang dominan, yaitu 0.0-1.0 Hz dan 1.0-25.0 Hz Gambar-4. Gambar-3 adalah sinyal hasil rekaman dan sinyal yang sudah mengalami proses pentapisan dengan tapis pita rendah (low-pass filter) 1.0 Hz dan tapis pita tinggi (high-pass filter) 1.0 Hz

Sinyal dengan frekuensi kurang dari 1.0 Hz yaitu pada pita 0.1 - 0.5 Hz adalah gelombang seismik mikro laut (oceanic mecroseisms), sedangkan untuk frekuensi kurang dari 0.1 Hz diduga merupakan derau (nois) dari alat akibat pengaruh suhu udara lingkungan, atau gempa tektonik yang berasal bukan dari akitivitas vulkanik. Untuk poses selanjutnya, sebelum dilakukan analisis kuantitatif setiap data dilakukan pentapisan menggunakan tapis pita tinggi dengan frekuensi tapis 1.0 Hz



Gambar-3. (a) Sinyal hasil rekaman yang belum mengalami pentapisan. (b) Sinyal hasil rekaman sesudah mengalami pentapisan dengan tapis pita rendah 1.0 Hz. (c) Sinyal hasil rekaman sesudah mengalami pentapisan dengan tapis pita tinggi 1.0 Hz



Gambar-4. Contoh hasil transformasi Fourier sinyal seismik dari Gunung Merapi yang terekam sebelum mengalami proses pentapisan.

Analisis Dimensi Korelasi

Hasil rekaman data yang terekam selama satu hari kemudian dibuat sampel tiap jam, hasilnya sebagaimana Gambar-A1 dan Gambar-A2 Lampiran-A. Dari sampel yang diperoleh kemudian dicuplik sinyal-sinyal yang merupakan hasil dari aktivitas vulkanik Gunung Merapi. Sinyal seismik yang diperoleh kemudian diklasifikasikan secara kualitatif sebagaimana yang telah dilakukan oleh Fadeli 1989. Klasifikasi secara kualitatif mendapatkan hasil tiga buah tipe gempa vulkanik, yaitu tipe 1, tipe 2 dan tipe 3. Tipe 1 biasa disebut "volcanic shock A", tipe 2 disebut "volcanic tremor" dan tipe 3 "volcanic shock B".

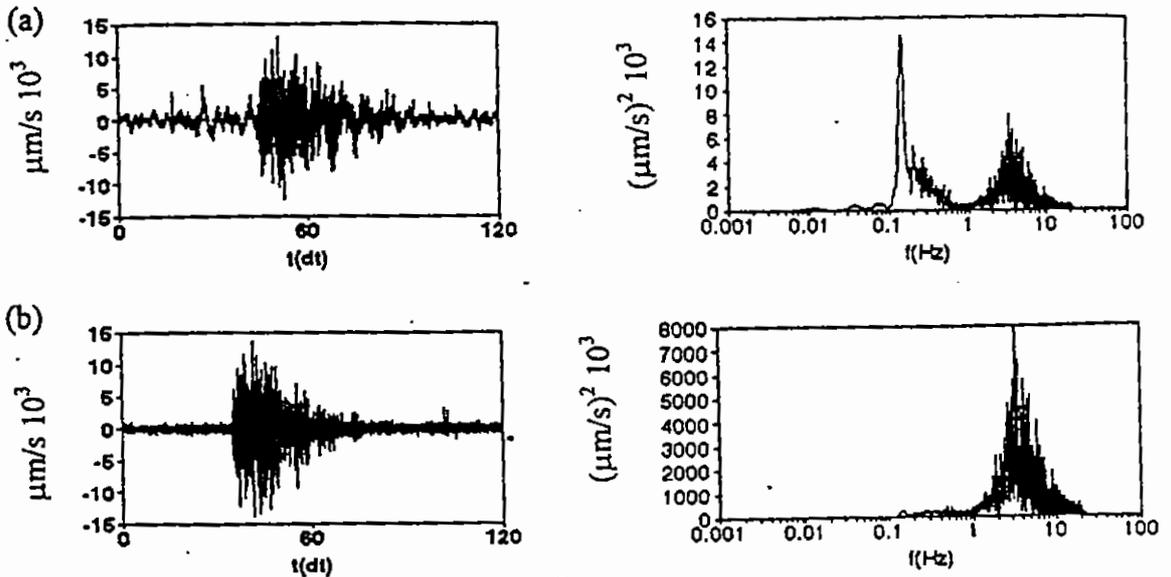
Setelah dilakukan pemilihan secara kualitatif, dilakukan proses transformasi Fourier. Proses transformasi Fourier dilakukan untuk mengetahui kandungan sinyal berdasarkan spektrumnya. Setelah diketahui bentuk spektrumnya kemudian dilakukan proses pentapisan menggunakan tapis pita tinggi dengan frekuensi tapis 1.0 Hz untuk masing-masing sinyal guna memisahkan sinyal yang berasal dari aktivitas vulkanik Gunung Merapi dengan gelombang mikro laut.

Setelah dilakukan proses pentapisan dan transformasi Fourier kemudian dilakukan proses korelasi dimensi untuk mengetahui dimensi fraktal masing-masing tipe gempa vulkanik. Proses korelasi dimensi menggunakan persamaan (3) dengan embedding dimension $m=1$ sampai dengan $m=10$. Pemilihan harga m sampai dengan 10, dikarenakan untuk ketiga tipe gempa vulkanik Gunung Merapi harga $C(m)$ untuk $m \geq 8$ sudah tidak berubah. Proses korelasi dilakukan setelah program diujicoba menggunakan sinyal random dan sinus. Untuk sinyal sinus dan sinyal random harga $C(m)$ sebagai fungsi m sebagaimana tersaji pada Gambar-8.

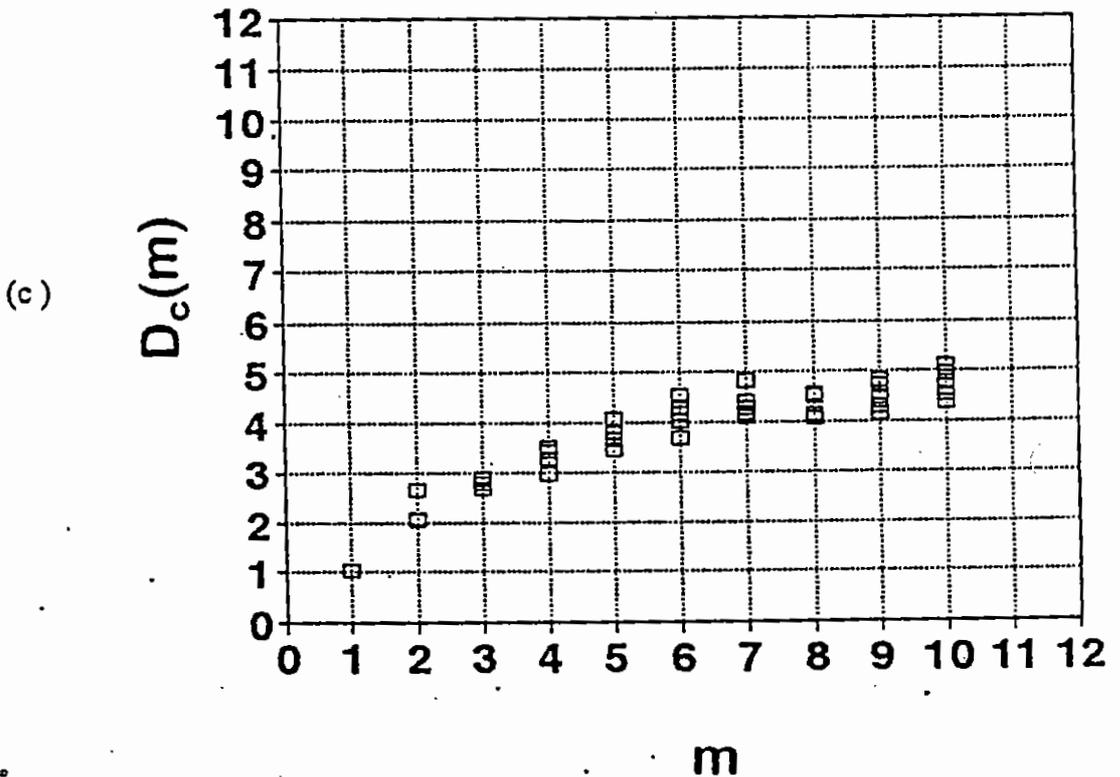
Harga dimensi fraktal menunjukkan harga kuantisasi dari masing-masing tipe gempa vulkanik tersebut. Gambar-5 adalah contoh gempa vulkanik Gunung Merapi tipe 1 sebelum dilakukan proses pentapisan dan spektrumnya (a), setelah mengalami proses pentapisan dan spektrumnya (b), sedangkan hasil korelasi dimensi $C(m)$ sebagai fungsi m untuk lima buah jenis gempa tipe 1. Gambar-6 untuk gempa tipe 2 dan Gambar-7 untuk gempa tipe 3.

III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

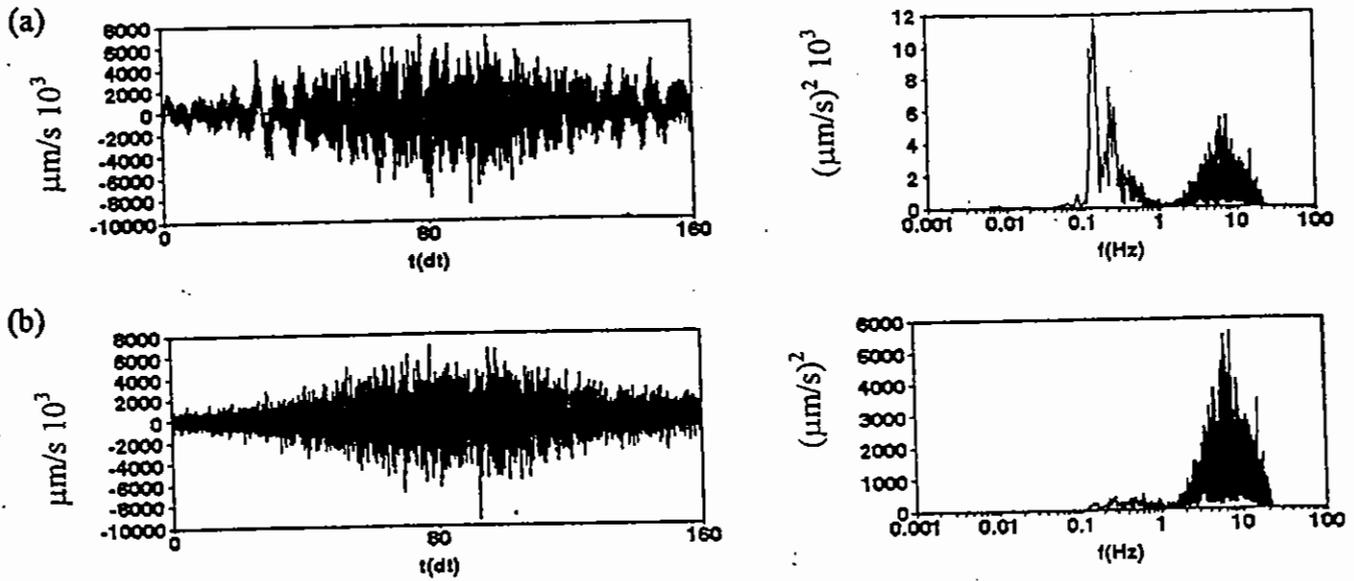
Menggunakan proses korelasi dimensi untuk gempa vulkanik Gunung Merapi diperoleh harga dimensi fraktal sebagai mana tersaji pada Tabel-1. Apabila dibandingkan dengan harga dimensi fraktal sinyal sinus $D_s=1.07 \pm 0.01$ dan random yang besarnya $D_r \geq 14$, menunjukkan bahwa ketiga jenis tipe gempa Gunung Merapi tersebut berada dalam keadaan dapat diprediksi (deterministic) dan tidak terprediksi (undeterministic) atau random, yang jenis sinyal ini disebut sinyal yang sifatnya kaotik (chaotic signal). Gambar-8 adalah embedding dimension m versus $D(m)$ untuk fungsi sinus (a) dan random (b)



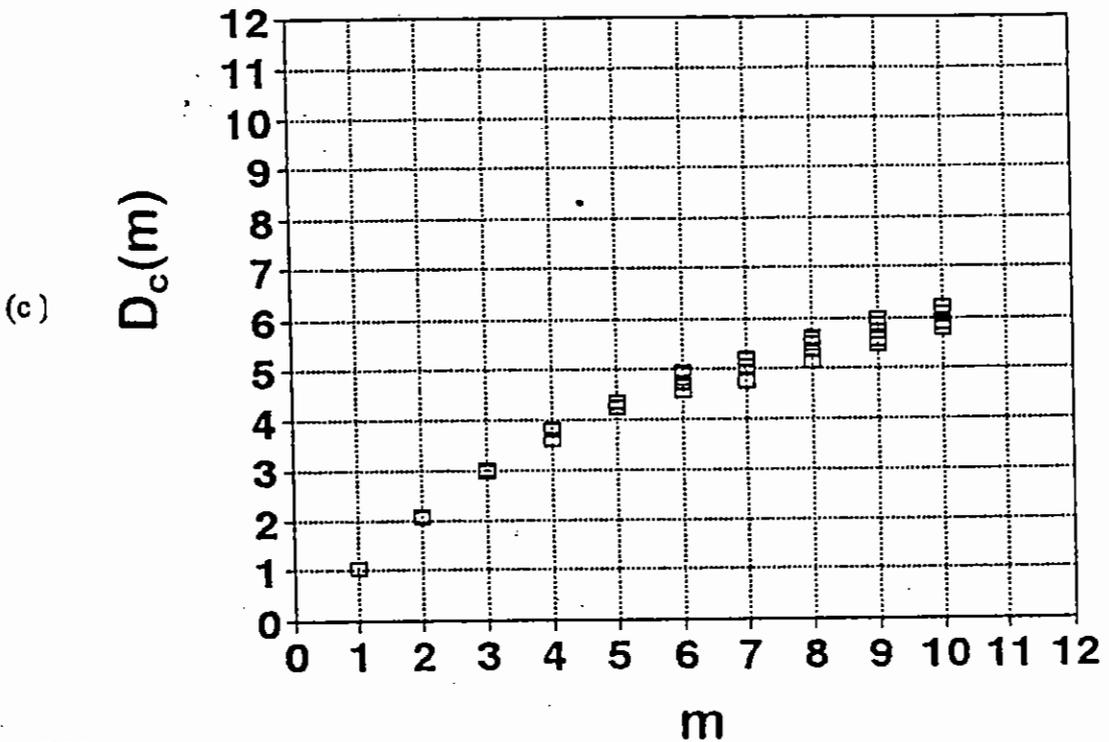
Tipe 1



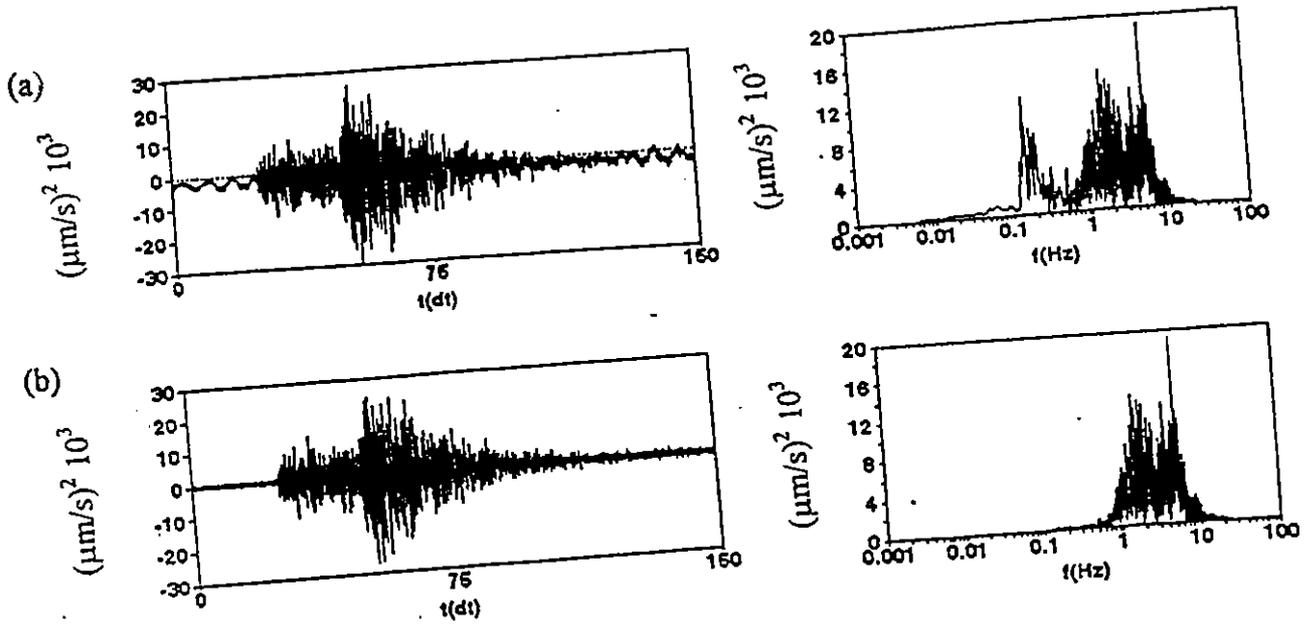
Gambar-5. (a) Contoh gempa vulkanik Gunung Merapi tipe 1 sebelum dilakukan proses pentapisan dan hasil transformasi Fourier. (b) Setelah proses pentapisan. (c) Hasil korelasi dimensi $D_c(m)$ sebagai fungsi m untuk lima buah jenis gempa tipe 1.



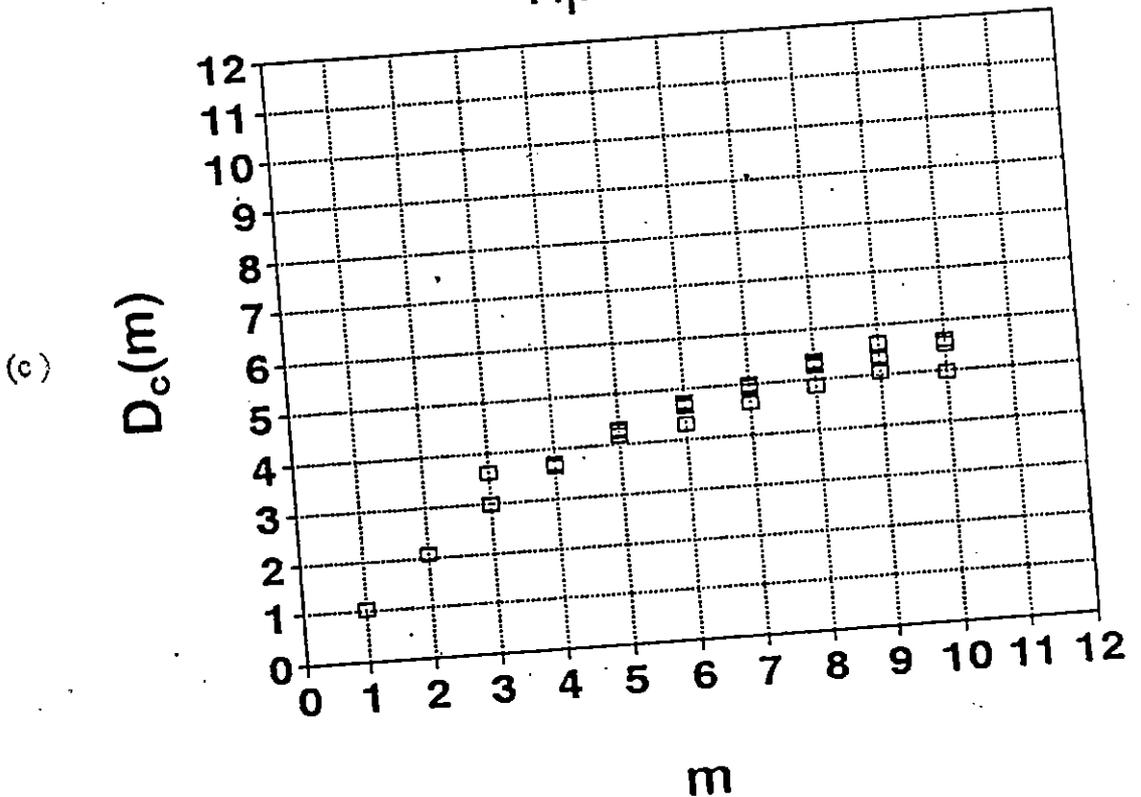
Tipe 2



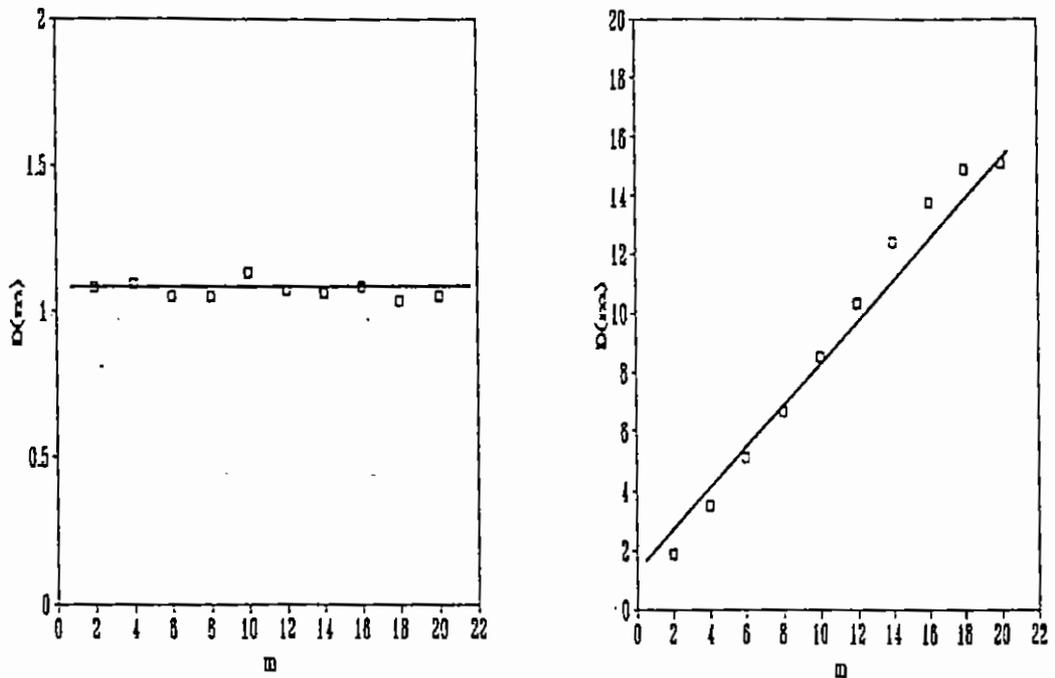
Gambar-6. (a) Contoh gempa vulkanik Gunung Merapi tipe 2 sebelum dilakukan proses pentapisan dan hasil transformasi Fourier. (b) Setelah proses pentapisan. (c) Hasil korelasi dimensi $D_c(m)$ sebagai fungsi m untuk lima buah jenis gempa tipe 2.



Tipe 3



Gambar-7. (a) Contoh gempa vulkanik Gunung Merapi tipe 3 sebelum dilakukan proses pentapisan dan hasil transformasi Fourier. (b) Setelah proses pentapisan. (c) Hasil korelasi dimensi $D_c(m)$ sebagai fungsi m untuk lima buah jenis gempa tipe 3.



Gambar-8. Embeding dimensi m versus $D(m)$ untuk fungsi sinus (a) dan random (b)

Tabel-1. Tabel klasifikasi gempa vulkanik Gunung Merapi.

No	Tipe gempa (nama)	Harga dimensi fraktal D_{α}	Keterangan
1	Tipe 1 (<u>volcanic shock A</u>)	4.5 ± 0.2	kaotik
2	Tipe 2 (<u>volcanic tremor</u>)	6.0 ± 0.2	kaotik
3	Tipe 3 (<u>volcanic shock B</u>)	5.3 ± 0.2	kaotik

Menggunakan harga dimensi fraktal untuk ketiga tipe gempa vulkanik Gunung Merapi tersebut dapat dipakai sebagai otomatisasi klasifikasi, pemisahan serta pencacahan secara terus menerus (on line processing), sehingga diperoleh

runtun interval dan cacah persatuan waktu tertentu untuk ketiga gempa jenis gempa tersebut.

Pengamatan secara terus menerus banyaknya cacah gempa tiap 6 jam secara manual dengan pemisahan secara kualitatif oleh Fadeli (1987) untuk gempa tipe 1, 2 dan 3 pada bulan Mei sampai dengan bulan Juni 1984, menunjukkan bahwa terjadi adanya peningkatan jumlah cacah gempa sebelum terjadi letusan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Fadeli (1987) dan harga dimensi fraktal untuk ketiga tipe jenis gempa tersebut di atas dapat dipakai sebagai dasar dalam pembuatan sistim alat monitoring kontinu secara otomatis untuk proses pemisahan dan pencacahan tipe gempa, sehingga dapat diperoleh data runtun waktu interval gempa dan cacah gempa persatuan waktu untuk keperluan prediksi secara cepat.

IV. KESIMPULAN

Menggunakan korelasi dimensi dapat dikuantisasikan tipe gempa vulkanik Gunung Merapi. Tipe 1 harga dimensi fraktalnya $D_{c1}=4.5 \pm 0.2$, tipe 2 $D_{c2}=6.0 \pm 0.2$ dan tipe 3 $D_{c3}=5.3 \pm 0.2$. Harga dimensi fraktal ini apabila dibandingkan dengan harga dimensi fraktal sinyal sinus dan random, menunjukkan bahwa ketiga jenis gempa tersebut merupakan sinyal yang kaotik. Dengan menggunakan harga dimensi fraktal ketiga type gempa vulkanik Gunung Merapi tersebut dapat dipakai sebagai dasar dalam merancang alat monitoring secara kontinu untuk memprediksi adanya letusan secara cepat.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

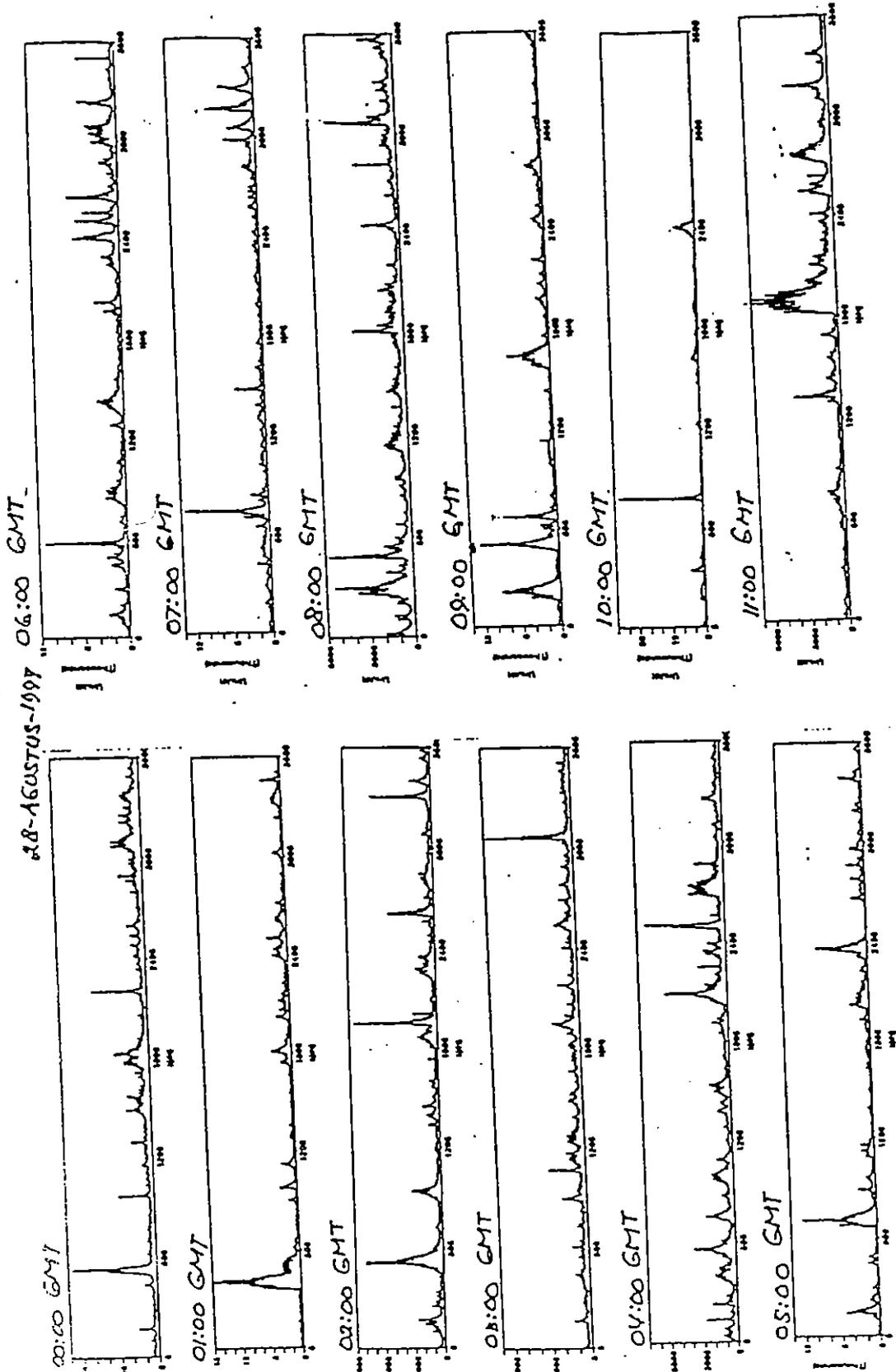
Atas terselesaikannya penelitian ini peneliti mengucapkan terima kasih kepada : LEMBAGA PENELITIAN UGM yang telah mendanai penelitian ini melalui Anggaran Rutin UGM M.A. 5250 tahun 1997/1998 berdasarkan S.K. Pembantu Rektor II UGM No. 24/J.01.P2/KU/97 tanggal 1 Agustus 1997, Dr

Kirbani Sri Brotopuspito selaku pembimbing dalam penelitian ini dan Murwanto serta Catur Joko yang membantu dalam pengambilan data di lapangan.

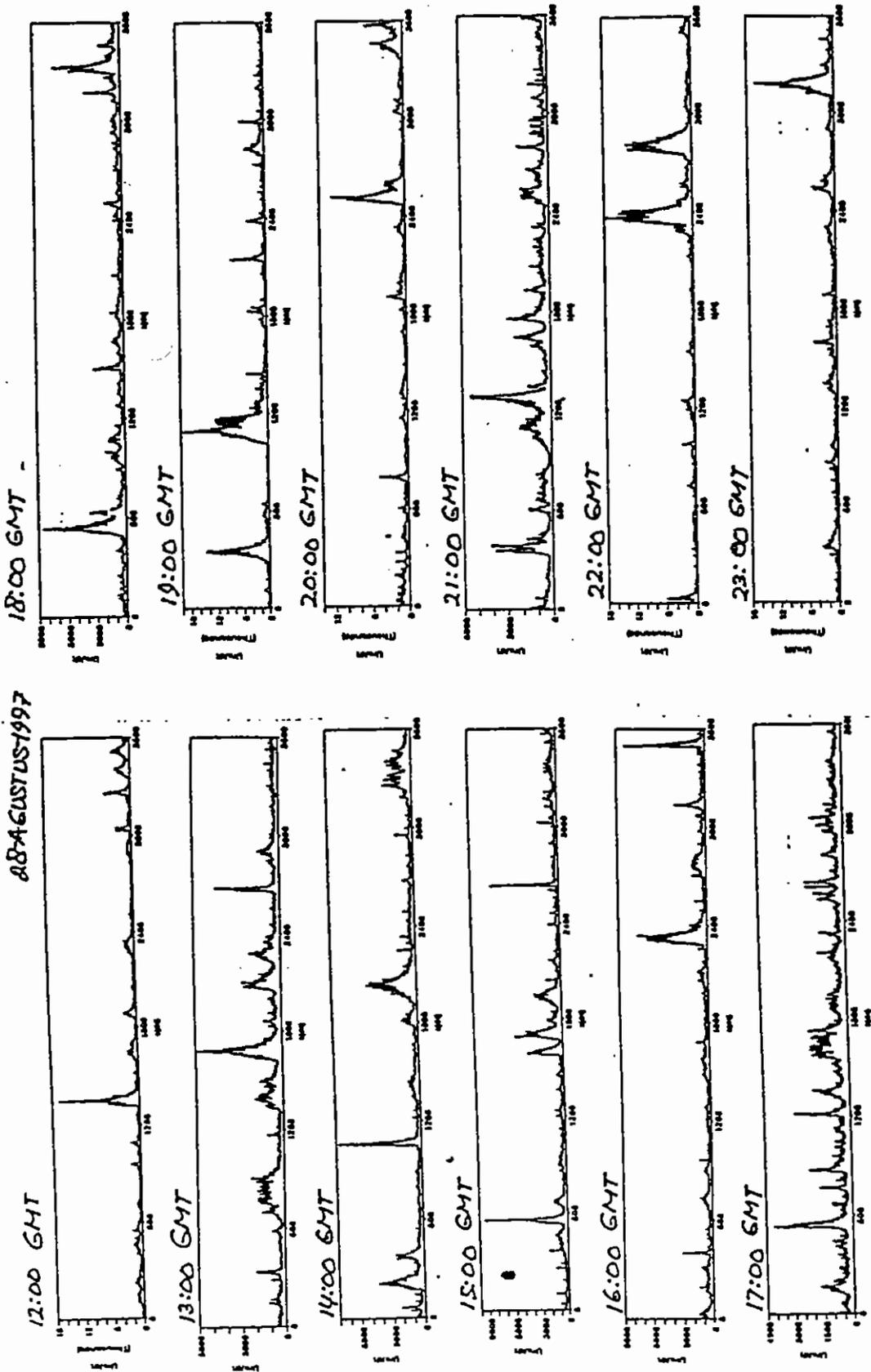
VI. DAFTAR PUSTAKA

- Abrabanel , H.D.I, 1997, "*Tools for the analysis of chaotic data*", Field institute Communication, Vol. 11, p.1-16.
- Abrabanel , H.D.I, Gills, Z., 1996, "*Nonlinier-time-series analysis of chaotic laser dynamics*", Pysical Review A, Vol 53, No. 1, p. 440-453.
- Chouet, B. & Shaw, H.R., 1991, "*Fractal properties of tremor and gas events observed at Kilauea volcano Hawaii*", Journal of Geophysical Research, v.96, B6, 10177-10189.
- Fadeli A., 1987, "*An analysis of seismic data from Merapi Volcano (Central Java)*", Contributions of the Merapi Volcano Research Group, Gadjah Mada University.
- Julian R. B., 1994, "*Volcanic tremor: Nonlinier exitation by fluid flow*", Journal of Geophysical Research, v.99, B6, 11895-11877.
- Seydel R., 1994, "*Practical bifurcation and stabylity analysis*", second edition, p. 335-360, Spriger-Verlag Berlin.
- Sidorocowich J.J Abrabanel , H.D.I., Reggie B., , Tsimiring, L.S., 1993, "*The analysis of observed chaotic data in physical system*", Rev. Mod. Phys. Vol. 65, No. 4, p.1331-1392.
- Sornette A. Dubois J., Cheminee, Sornette D., 1991, "*Are Squences of volcanic eruptions deterministically chaotic ?*", Jurnal of Geophysical Research, v.96/B7, 10191-10207.

LAMPIRAN A



Gambar-A1. Sampul gempa vulkanik Gunung Merapi komponen vertikal rekaman data tanggal 28-Agustus-1997 di Stasiun Klatakan untuk jam 00:00 s/d 11:00 GMT.



Gambar-A2. Sampul gempa vulkanik Gunung Merapi komponen vertikal rekaman data tanggal 28-Agustus-1997 di Stasiun Klatakan untuk jam 12:00 s/d 23:00 GMT.