

Analisis Dimensi Fraktal Kejadian Gempa Di Laut Banda Indonesia

Sugeng Widada

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH. Kampus UNDIP Tembalang, Semarang
Email: sugengwidada@undip.ac.id

Abstract

The Banda Sea region is an active earthquakes area which indicated by mean monthly incident of quakes more than 220. The condition is caused the area being located in the triple junction. Earthquakes system in this region which occur during September 2015 up to October 2016 is analyzed by fractal approach to investigate the subduction system. Earthquakes system is chaotic, so can be quantified using fractal concept. Quantify result of Banda Sea earthquakes system using Aki method is fractal dimension 2.08. It indicates that the slab was fractured by some fault in form an angle or upright position with the subduction strike. Such a thing also be proven by the fact that the length zone of slab moved during each earthquake is not same, the variation is about 6 – 1,056 m. Based on the fractal analysis, also be identified that about 6.25 magnitude six earthquakes are expected each year. The result of study support the previous studies which propose that the tectonic system in Banda Sea region is very complex.

Keywords: Earthquakes system, fractal, Banda Sea

Abstrak

Kawasan Laut Banda merupakan daerah aktif gempa yang ditunjukkan dengan kejadian gempa rata-rata bulanan lebih dan 220. Keadaan ini dapat dimengerti mengingat kawasan tersebut merupakan pertemuan tiga buah lempeng yang bergerak. Pola kegempaan di daerah tersebut yang terjadi pada September 2015 hingga Oktober 2016 dicoba dianalisa menggunakan pendekatan fraktal untuk mengetahui pola subduksi di daerah tersebut. Pola kegempaan merupakan suatu kejadian yang chaos, sehingga dapat dilakukan kuantisasi berdasarkan konsep fraktal. Hasil kuantisasi pola gempa Laut Banda menggunakan metode Aki diperoleh dimensi fraktal 2,08. Hal ini menunjukkan bahwa slab yang menunjам dan bergerak sehingga menimbulkan gempa terbagi dalam beberapa bagian melalui suatu sesar yang menyududut / tegak lurus jurus subduksi. Keadaan ini dikuatkan oleh hasil perhitungan panjang daerah yang bergerak untuk setiap kejadian gempa tidak sama, yaitu bervariasi dari 6 – 1.056 m. Berdasarkan analisa fraktal tersebut juga diketahui bahwa gempa dengan magnitudo 6,25 akan terjadi 6 kali dalam satu tahun. Hasil penelitian ini mendukung hasil penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa tatanan tektonik di daerah Laut Banda sangat kompleks.

Kata Kunci: Pole gempa, fraktal, Laut Banda

PENDAHULUAN

Laut Banda dan sekitarnya merupakan daerah aktif gempa bumi. Stasiun Geofisika Ambon mencatat kejadian gempa rata-rata bulanan lebih dari 220. Tingkat seismisitas yang tinggi ini disebabkan oleh keadaan tatanan tektonik yang sangat kompleks di daerah

ini. Katili (1984), Saver (1983), Widiwijyanti dkk. (1995) dan Bock, dkk. (2003) dalam Irsyam, dkk (2010) menyatakan bahwa daerah Sulawesi dan sekitarnya merupakan daerah pertemuan dan gerak tiga lempeng utama, yaitu : Lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat, Lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara dan Lempeng Eurasia yang

relatif stabil (Gambar 1). Komponen gaya lain sebagai hasil bentukan gerak lempeng utama, yang juga berperan dalam pembentukan dinamika di daerah Sulawesi dan sekitarnya diantaranya adalah : Kontinen mikro Banggai-Sula, Kontinen mikro Tukang Besi, Lempeng Laut Sulawesi serta kemungkinan masih berlangsungnya proses pembukaan Selat Makasar (Widiwijayanti, 1995). Zona-zona tersebut memiliki aktifitas kegempaan yang sangat tinggi. Frekuensi terjadinya gempa berbanding lurus dengan frekuensi kejadian tsunami, dimana 92% tsunami di Indonesia dibangkitkan oleh gempa dengan magnitudo (M_s) lebih besar dari 6,0 dan 86% terjadi oleh gempa dangkal dengan kedalaman kurang dari 60 km serta 80% gempa yang terjadi dengan mekanisme sesar naik (Puspito, 2007).

Sistem pergerakan lempeng utama dan lempeng mikro tersebut di atas sangat kompleks melalui jalur-jalur sesar geser dan subduksi, sehingga pola gempa yang ditimbulkan mempunyai karakteristik fisis yang kompleks dilihat baik dari segi domain ruang maupun domain waktu. Dengan semikian pola kejadian gempa bumi di daerah tersebut tidak saling terkait satu dengan yang lain dan berlangsung secara acak, sehingga tergolong sebagai proses *chaotic*. Konsep fraktal dapat digunakan untuk merepresentasikan obyek-obyek secara alamiah di alam yang bersifat chaos dan selanjutnya dapat diungkapkan sebagai fenomena matematis. Analisis fraktal untuk mengenali pola kegempaan di Indonesia telah dilakukan oleh Sukmono, dkk.(1995) yang melakukan analisis kegempaan Sesar Sumatera.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola tumbukan yang mengakibatkan terjadinya gempa di daerah Laut Sunda berdasarkan data seismisitas di daerah yang bersangkutan. Oleh karena itu analisa dilakukan terutama dalam domain ruang dengan mengkuantisasi pola gempa menggunakan pendekatan fraktal.

MATERI DAN METODE

Dalam penelitian ini data gempa di Laut Banda yang terjadi mulai bulan September 2015 hingga Oktober 2016 yang diperoleh dari Data Katalog Gempa Bumi USCS dicoba dikuantisasi dengan pendekatan fraktal. Metode yang digunakan dalam kuantisasi tersebut adalah metode Aki. Prinsip dasar metode ini adalah mencari dimensi fraktal suatu pola kejadian gempa dengan mendasarkan pada hubungan antara frekuensi kejadian dengan magnitudonya.. Menurut Turcotte (1992) magnitudo yang memenuhi syarat untuk dihitung dimensi fraktalnya adalah antara 4,5 hingga 6,5. Oleh karena itu data yang diambil adalah data yang bermagnitudo antara 4,5 – 6,5. sebagaimana tercantum pada Tabel 2.

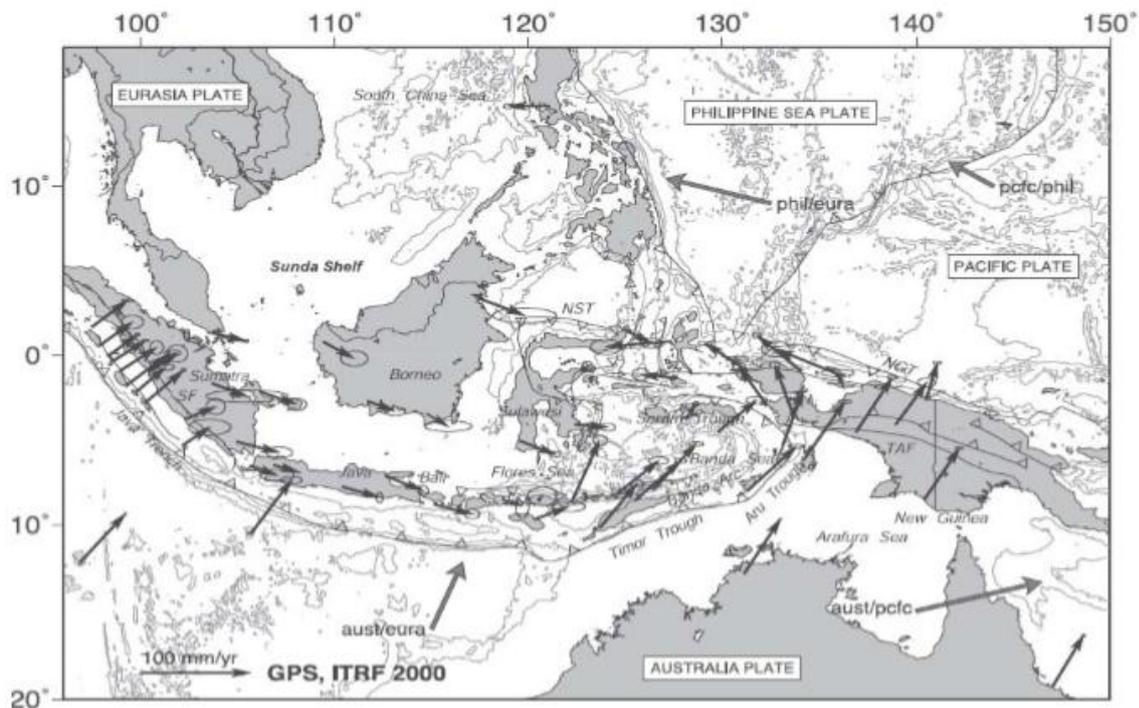
Dimensi fraktal yang diperoleh merupakan dimensi yang tidak utuh. Jika menurut dimensi apologi dimensi 1 berarti garis, dimensi dua berarti bidang dan dimensi 3 berarti ruang, maka dimensi fraktal 1,2 berarti suatu garis bercabang dengan cabang yang jumlahnya 0,2 dari luas total. Dengan demikian nilai kuantisasi pola gempa yang diperoleh berupa dimensi fraktal yang selanjutnya dapat menggambarkan pola subduksi penyebabnya. Sedangkan luas lempeng yang bergerak selama terjadi gempa dapat dihitung berdasarkan hubungannya dengan momen gempa yang terjadi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pendekatan fraktal untuk seismisitas dan tektonik berpijak pada suatu kenyataan adanya hubungan antara frekuensi gempa dengan magnitudonya yang berhubungan secara log-linear (Guttenberg & Richter ,1954 dalam Turmotte, 1992). Hubungan tersebut dapat dirumuskan sebagai:

$$\log N = - b m + \log a \quad (1)$$

dalam hal ini N merupakan jumlah kejadian gempa dengan magnitudo lebih besar dan m , b dan a merupakan suatu konstanta.



Gambar 1. Peta tektonik kepulauan Indonesia dan sekitarnya (Bock, dkk., 2003 dalam Irsyam, dkk, 2010).

Magnitudo merupakan ukuran empiris kekuatan gempa yang merupakan fungsi dari total energi melalui gelombang seismik akibat gempa, sehingga dapat dituliskan sebagai:

$$E_s = 144 M + 5,24 \text{ Joule} \quad (2)$$

Sebagaimana diketahui bahwa tegasan balik selama kejadian gempa berhubungan langsung dengan momen gempa M yang ditunjukkan oleh persamaan :

$$M = \mu A \delta_e$$

dalam hal ini μ adalah modulus geser batuan dimana patahan terjadi, A merupakan luas daerah yang mengalami patahan dan δ_e adalah rata-rata pergeseran yang terjadi sepanjang jurus patahan.

Dilain pihak momen gempa berkaitan juga dengan magnitudonya yang dirumuskan dengan persamaan :

$$\text{Log } M = c m + d$$

pada persamaan ini nilai c dan d adalah konstanta.

Kanamori & Anderson (1975) dalam Turcotte (1992) menyatakan bahwa nilai c ini secara teoritis adalah sebesar 1,5. Selanjutnya dikatakan bahwa terdapat hubungan langsung antara momen gempa M dengan luas daerah patahan A yang ditunjukkan oleh :

$$M = \alpha A^{3/2} \quad (5)$$

dimana α merupakan konstanta. Dengan mengkombinasikan persamaan (1), (4) dan (5) diperoleh:

$$\text{log } N = -3b/2c \text{ log } A + \text{log } \beta \quad (6)(3)$$

dengan

$$\text{log } \beta = b/c + \text{log } a - b/c \text{ log } \alpha \quad (7)$$

Dengan demikian persamaan (6) dapat ditulis sebagai:

$$N = \beta A^{-3b/2c} \quad (8)$$

Mandelbrot (1967) dalam Turcotte (1992) menyatakan bahwa terdapat hubungan antara jumlah obyek (N) dengan karakteristik dimensi liniernya yang lebih besar dan r yang ditulis sebagai:

$$N = C/r^D \quad (9)$$

dengan C merupakan konstanta dan D merupakan dimensi fraktalnya. Dengan mengambil $A \approx r^2$, maka persamaan (8) dapat ditulis:

$$D=3b/c \quad (10)$$

oleh karena $c = 1,5$ maka

$$D=2b \quad (11)$$

Dengan memperhatikan persamaan (1) jelas bahwa dimensi fraktal pola gempa merupakan dua kali slope log frekwensi terhadap magnitudonya.

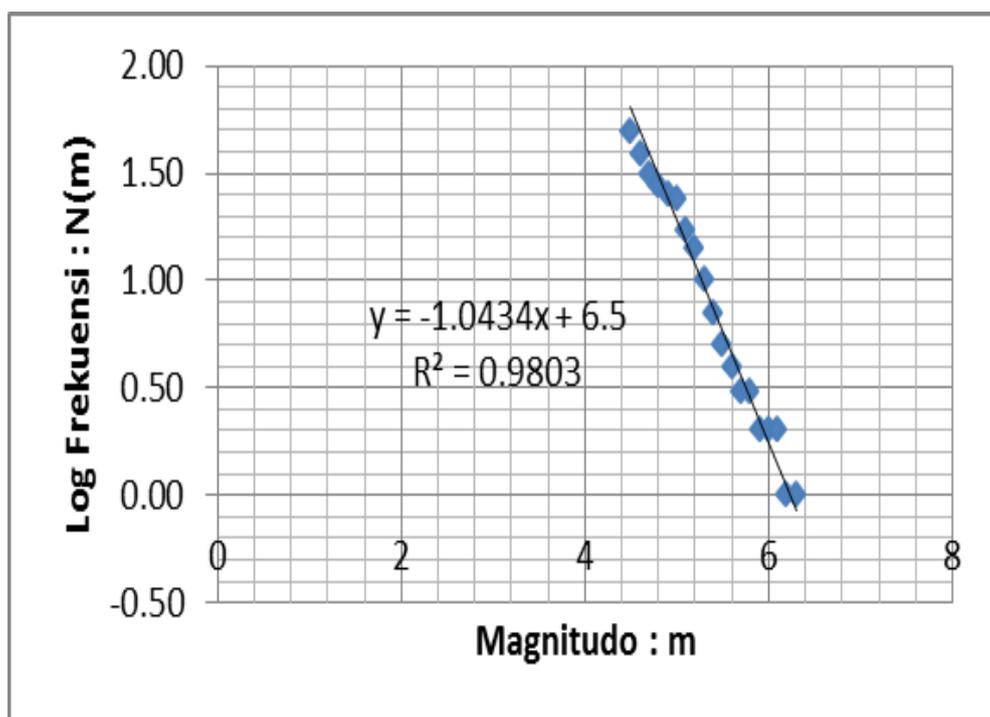
Data gempa Laut Banda sebagaimana tercantum pada Tabel 1 dapat dihitung log frekuensi terhadap magnitudonya sebagaimana tercantum pada Tabel 1. Grafik antara log frekuensi terhadap magnitudo tersebut ditampilkan seperti pada Gambar 2, dan terlihat disini bahwa kemiringan grafiknya adalah sebesar 1,04. Dengan demikian dimensi traktai pola gempa Laut Banda adalah sebesar $2 \times 1,04 = 2,08$.

Dimensi fraktal ini mengandung makna fisis bahwa slab (lempeng yang

menunjam dan menimbulkan gempa) diduga kuat bercabang dalam arti telah tersesarkan dengan arah menyudut terhadap jurus penunjaman, dimana jurus-jurus sesar tersebut tidak sebidang satu dengan yang lainnya. Kondisi ini menunjukkan betapa kompleksnya kondisi tektonik di wilayah tersebut.

Untuk mendapatkan gambaran besarnya zona yang bergerak saat terjadi gempa, maka dilakukan perhitungan Moment Gempa dengan menggunakan persamaan (4). Dalam hal ini nilai c dan d diambil masing-masing 1,5 dan 9,1 sebagaimana dikemukakan oleh Hanks dan Kanamori(1979) dalam Turcotte (1992).

Selanjutnya dengan menggunakan persamaan (5), luas zona lempeng yang bergerak dapat ditentukan. Dalam hal ini digunakan nilai $\alpha = 3,27 \times 10^6$ Pa sebagaimana yang dianjurkan oleh Mandelbrot (Turcotte, 1992). Oleh karena nilai A dalam persamaan (5) merupakan suatu luasan, maka panjang dari zona subduksi yang bergerak dapat dihitung, yaitu membagi nilai tersebut dengan kedalaman pusat gempa (Tabel 2).



Gambar 2. Grafik Log frekuensi (log N) terhadap magnitudo (m)

Tabel 1. Perhitungan log frekuensi untuk magnitudo yang bersesuaian

Magnitudo	N (m)	Log N (m)
≥ 4,5	49	1.69
≥ 4,6	39	1.59
≥ 4,7	31	1.49
≥ 4,8	28	1.45
≥ 4,9	25	1.40
≥ 5,0	24	1.38
≥ 5,1	17	1.23
≥ 5,2	14	1.15
≥ 5,3	10	1.00
≥ 5,4	7	0.85
≥ 5,5	5	0.70
≥ 5,6	4	0.60
≥ 5,7	3	0.48
≥ 5,8	3	0.48
≥ 5,9	2	0.30
≥ 6,0	2	0.30
≥ 6,1	2	0.30
≥ 6,2	1	0.00
≥ 6,3	1	0.00

Memperhatikan hasil perhitungan panjang zona subduksi yang bergerak sehingga menimbulkan gempa sebagaimana tercantum pada Tabel 3, dimana nilainya bervariasi dari 6 m hingga 1.056 m, maka dapat disimpulkan bahwa untuk setiap kali terjadi gempa tidak seluruh slab sepanjang 1.056 bergerak. Hal ini hanya mungkin terjadi jika slab tersebut terpotong-potong menjadi beberapa bagian melalui suatu sesar yang menyudut maupun tegak lurus terhadap jurus subduksi. Sesar-sesar tersebut merupakan bidang diskontinuitas yang membatasi bagian-bagian slab yang bergerak. Hal ini sesuai dengan makna nilai dimensi fraktal 2,08 sebagaimana diuraikan diatas.

Memperhatikan grafik pada Gambar 2. Terlihat bahwa persamaan (1) mempunyai nilai log a sebesar 6,5 yang berarti mempunyai nilai $a = 3,16 \times 10^6$ per

tahun. Hal ini mempunyai makna bahwa gempa bumi dengan magnitudo lebih besar 6,25 diperkirakan akan selalu terjadi sebanyak 6 kali setiap tahun.

KESIMPULAN

Pola gempa di Laut Banda yang terjadi pada September 2015 hingga Oktober 2016 dapat dikuantisasikan menggunakan pendekatan fraktal metode Aki. Hasil perhitungan menunjukkan nilai Dimensi Fraktal 2,08. Nilai tersebut mempunyai makna fisis bahwa zona subduksi yang bergerak terbagi dalam beberapa bagian melalui suatu sesar yang menyudut ataupun tegak lurus jurus subduksi dengan masing-masing jurus sesar tidak sebidang. Kondisi demikian didukung hasil perhitungan bahwa panjang zona subduksi yang bergerak pada setiap gempa selalu berubah yang

Tabel 2. Hasil perhitungan Moment gempa dan panjang zona subduksi penyebab gempa

Magnitudo (Mb)	Moment Gempa (Joule)	Luas Zona Bergerak (m ²)	Kedalaman Gempa (Km)	Panjang Zona Subduksi (m)
4.6	1.0E+16	2.E+06	36.2	58.20
4.6	1.0E+16	2.E+06	10.0	210.69
4.8	2.0E+16	3.E+06	13.8	241.97
5.4	1.6E+17	1.E+07	30.7	433.01
5.3	1.1E+17	1.E+07	10.0	1,055.93
5.3	1.1E+17	1.E+07	24.3	434.54
4.5	7.1E+15	2.E+06	25.4	65.89
4.5	7.1E+15	2.E+06	28.0	59.77
4.5	7.1E+15	2.E+06	28.0	59.77
4.7	1.4E+16	3.E+06	52.3	50.71
4.6	1.0E+16	2.E+06	43.8	48.10
5.2	7.9E+16	8.E+06	131.8	63.64
4.5	7.1E+15	2.E+06	191.2	8.75
5.2	7.9E+16	8.E+06	269.8	31.09
5	4.0E+16	5.E+06	254.4	20.80
4.5	7.1E+15	2.E+06	40.4	41.41
4.8	2.0E+16	3.E+06	23.9	139.71
4.6	1.0E+16	2.E+06	10.0	210.69
5	4.0E+16	5.E+06	10.0	529.22
4.5	7.1E+15	2.E+06	290.0	5.77
4.6	1.0E+16	2.E+06	372.0	5.66
5.3	1.1E+17	1.E+07	21.9	482.16
5	4.0E+16	5.E+06	14.6	362.48
4.7	1.4E+16	3.E+06	152.1	17.44
5.1	5.6E+16	7.E+06	135.0	49.35
5.1	5.6E+16	7.E+06	137.5	48.45
4.9	2.8E+16	4.E+06	252.0	16.68
4.5	7.1E+15	2.E+06	209.6	7.98
5	4.0E+16	5.E+06	235.2	22.50
5.1	5.6E+16	6.66.E+06	154.3	43.18
4.6	1.0E+16	2.E+06	198.2	10.63
5.8	6.3E+17	3.E+07	119.0	280.60
4.9	2.8E+16	4.E+06	162.0	25.95
5.2	7.9E+16	8.E+06	179.6	46.70
5	4.0E+16	5.E+06	140.8	37.59
4.6	1.0E+16	2.E+06	150.1	14.04
5	4.0E+16	5.E+06	158.8	33.33
6.1	1.8E+18	7.E+07	82.0	812.50
5.4	1.6E+17	1.E+07	76.8	173.09
4.6	1.0E+16	2.E+06	161.4	13.05
5	4.0E+16	5.E+06	140.8	37.59
5	4.0E+16	5.E+06	24.4	216.89
4.5	7.1E+15	2.E+06	161.1	10.39
5.1	5.6E+16	7.E+06	132.7	50.21
5.2	7.9E+16	8.E+06	132.3	63.40
4.1	1.8E+15	7.E+05	15.1	44.15
5.5	2.2E+17	2.E+07	118.0	141.83
4.5	7.1E+15	2.E+06	142.7	11.73
5.2	7.9E+16	8.E+06	129.4	64.82
5.6	3.2E+17	2.E+07	112.2	187.78
4.5	7.1E+15	2.E+06	73.3	22.83
4.8	2.0E+16	3.E+06	63.5	52.58
4.7	1.4E+16	3.E+06	42.8	61.97
6.3	3.5E+18	1.E+08	429.6	245.79

berkisar antara 6 m – 1.056 m, yang hanya mungkin terjadi jika slab sepanjang 1.056 m tersebut terpotong oleh suatu bidang diskontinuitas. Sedangkan frekuensi kejadian gempa dengan magnitudo lebih besar 6,25 diperkirakan terjadi sebanyak 6 kali setiap tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Irsyam, M., Sengara, I.W., Aldiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Natawidjaja, D.H., Kertapati, E., Meilano, I., Suhardjono, Asrurifak, M., dan Ridwan, M., 2010. Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010, Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, Bandung. 43 hal.
- Katili, J.A., 1984. Evolution of Plate Tectonic Concepts and its Implication for The Exploration of Hydrocarbon and Minerals Deposits in Southeast Asia, *Pangea* No. 3, p. 5- 18.
- Korvin, G., 1996. *Fractal Models in the Earth Sciences*, Elsevier, 396 p.
- Puspito, N. T., Karakteristik Gempa Pembangkit Tsunami di Kepulauan Indonesia dan sekitarnya, *Jurnal Segara*, 3(2), pp. 49-65. 2007.
- Prajuto, S., 1984. Earthquake Magnitude Distribution in Banda Sea and Its Surrounding, *Proceedings PIT HAGI IX*, p. 401 -413
- Silver, E.A., 1983. Ophiolite Emplacement by Collision Between The Sula Platform and The Sulawesi Island Arc Indonesia, *Journal of Geophysical Research* Vol. 88, No. B 11 P. 9419- 9435
- Sukmono, S., Zen, MT., Hendrajaya, L., Kadir, W.G.A, and Santoso, D., 1996. Earthquake Prediction Along The Sumatra Fault Indonesia Using Fractal Approach, *Technical Program - Expanded Abstract, International Geophysical Conference and Exposition, April 22 - May 2, 1996, P. 423 - 421.*
- Turcotte, D.L., 1992. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*, Cambridge University Press, 321 p.
- Widiwijayanti, C., Nidayat, D., Pramuwijaya, S. and Solaheluweha, J., 1995. Aktiuitas Seismik di Sulawesi dan Sekitarnya Indikasi Gerakan Kerak Bumi Resen PIT HAGI Ke 20, *Yogyakarta*, 29 - 30 Agustus 1995