

Vol. 4, No. 1, Januari-Juni 2019
e-ISSN : 2528-5718

JISTech

(Journal of Islamic Science and Technology)



Diterbitkan Oleh :
Fakultas Sains Dan Teknologi
UIN Sumatera Utara Medan

SEISMIC PATTERN BASED ON ANALYSIS OF FRACTAL VARIATIONS BEFORE THE 2009 SUMATRA EARTHQUAKE WITH ZMAP SOFTWARE

Rafki Imani

Universitas Putra Indonesia "YPTK" Padang, Indonesia

E-mail: rafimani17@yahoo.co.id

Abstract : *The Sumatra-Andaman earthquake of December 26, 2004, to Padang earthquake on September 30, 2009, was a series of destructive earthquakes in the history of the Sumatra earthquake. This research is aimed at earthquake mitigation by determining the patterns and earthquake phenomena before the 2009 Padang Earthquake with fractal dimensions D based on the Maximum Likelihood Estimation (MLE) by Gutenberg-Richter as an effort to predict earthquakes in anticipation period (pre-disaster) with the help of Zmap software. Seismic data was taken from NEIC-USGS and BMKG until November 2013 with an area limit of 92° BT - 106° BT and 7° LU - 7° LS, at a maximum earthquake depth of 200 km, which contains the Sumatra region. The estimation results explain the temporary decrease in fractal D seen and began to rise again before the significant earthquake in The 2009 Padang Earthquake.*

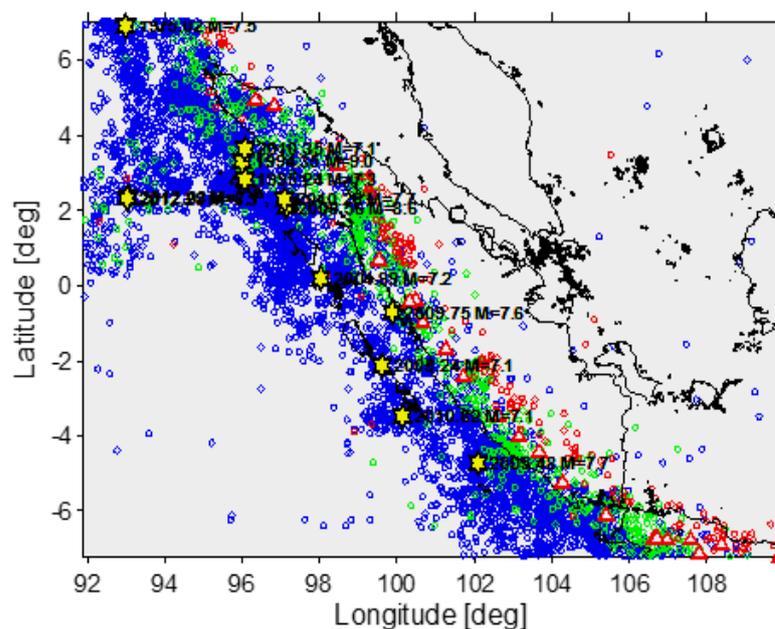
Keywords: *2009 Sumatra Earthquake, mitigation, Fractal*

Pendahuluan

Pulau Sumatera merupakan salahsatu zona gempa di Indonesia. Gempa di Sumatera berasal dari Sesar Sumatera maupun dari zona subduksi yang berada di laut sebelah Barat pulau Sumatera. Beberapa gempa besar yang tercatat di Sumatera seperti, gempa Aceh 2004, gempa Nias 2005 dan terakhir gempa Padang 2009. Kondisi ini mengakibatkan pulau Sumatera memiliki risiko yang tinggi akibat bahaya gempa. Gambar 1 menunjukkan distribusi gempa di Sumatera.

Sifat gempa yang sering bersifat acak dan sulit diperkirakan membuat banyak peneliti tidak bisa memprediksi kejadiannya, baik magnitude maupun lokasinya. Studi seismisitas telah banyak dilakukan untuk memperkirakan pola kegempaan, misalnya analisa nilai-b sebagai parameter penting yang berkontribusi dalam penentuan besaran percepatan muka tanah dengan Teori Probabilitas Total [1]. Disamping itu, heterogenitas geologis suatu wilayah yang berbeda, memiliki dampak

bahaya gempa yang juga berbeda. Umumnya ketidakaturan pola hiposenter gempa, dapat diamati berdasarkan kegempaan yang pernah terjadi sebelumnya, karena secara geofisis daerah yang pernah mengalami gempa akan mengakibatkan terjadinya deformasi pada batuan di dalam lapisan tanah sebagai akibat dari akumulasi energi yang tersimpan cukup lama [2]. Pola aktivitas kegempaan pada zona gempa di suatu wilayah dapat diamati dengan distribusi fraktal. Dalam beberapa penelitian terdahulu, berdasarkan analisa fraktal, terdapat kecenderungan pola gempa yang tak biasa sebelum gempa besar terjadi [3],[4].



Gambar 1. Distribusi kegempaan Sumatera magnitud Mw 4 – 9

Distribusi fraktal dapat memberikan gambaran mengenai aktivitas geologis suatu wilayah dalam rentang waktu yang lama [5]. Analisa distribusi fraktal telah banyak berkontribusi dalam mengamati pola kegempaan, misalnya di Pulau Jawa [3], di Bali-NTB [6], di Pantai Barat Sumatera [5] dan di Laut Banda [7]. Di luar negeri penelitian serupa juga sudah dilakukan pada Gempa Hyogoken-Nanbu, Jepang dan pada Gempa Tokachi-Oki, Hokkaido Jepang [4] dengan kekuatan hingga Mw 8,0.

Satria, dkk [5] menggunakan Metode Hurst dalam analisa fraktal dan menyimpulkan bahwa aktivitas kegempaan di Pantai Barat Sumatera memiliki pola yang tidak acak dan berbanding lurus terhadap waktu.

Penelitian ini dilakukan bertujuan menganalisa variasi distribusi fraktal sebelum gempa Sumatera 2009 yang terjadi di Padang Sumatera Barat.

Landasan Teori

1. Distribusi Fraktal

Ciri khusus dari sistem fraktal adalah memiliki sebuah dimensi yang biasa ditulis dengan notasi D , yang digunakan untuk mengukur geometri dari distribusi kemungkinan variasinya sebagai fungsi ruang dan waktu. Nilai D yang besar berasosiasi dengan geometri patahan yang tidak teratur, yang mengakibatkan koefisien gesek pada bidang sesar menjadi lebih besar sehingga waktu perulangan gempa lebih lama. Sebaliknya, pada nilai D yang kecil menunjukkan geometri yang teratur, yang mengakibatkan koefisien gesek pada bidang sesar lebih kecil sehingga waktu perulangan gempa menjadi lebih singkat [8].

Distribusi fraktal dicirikan oleh dimensinya yang merupakan bilangan pecahan. Secara sederhana geometri dimensi fraktal ditulis dengan [9]:

$$N = \frac{C(r)}{r^D} \quad (1)$$

Dimana N adalah jumlah kumulatif dari titik atau objek (data gempa) distribusi x ($x = 1, 2, 3, \dots, i$) yang dipisahkan oleh jarak r , $C(r)$ adalah kontanta korelasi linear r , dan D adalah dimensi fraktal. Jika dimensi fraktal D bilangan bulat, maka sama dengan dimensi Euclidean (misalnya; $D = 0$ berupa titik, $D = 1$ adalah garis, $D = 2$ adalah bujur sangkar dan $D = 3$ adalah kubus). Namun untuk kasus objek alam dalam kehidupan sehari-hari termasuk dalam kegempaan, dimensi fraktal bukanlah bilangan Euclidean, akan tetapi berupa pecahan. Dalam operasi logaritma, persamaan (1) menjadi:

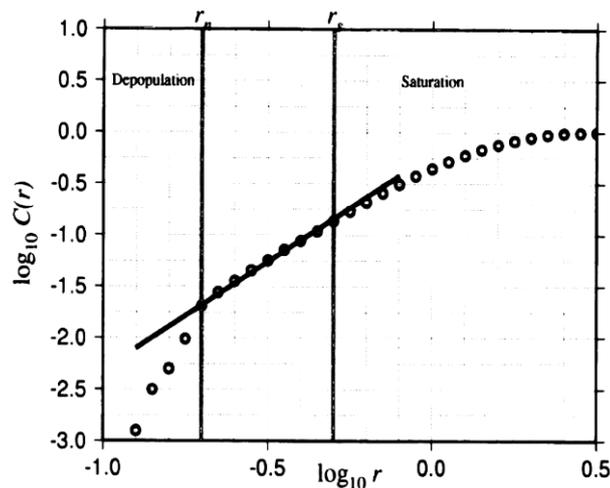
$$\text{Log } N_n = \text{Log } C(r) - \text{Log } r_n^{-D} \quad (2)$$

Dari persamaan (2), terlihat adanya hubungan logaritma linear antara konstanta $C(r)$ dengan r_n^{-D} dimana [9]:

$$C(R) \propto r_n^{-D} \tag{3}$$

2. *Fraktal dalam Seismisitas*

Variasi dimensi fraktal secara spasial berhubungan erat dengan heterogenitas kondisi geologis suatu wilayah. Dalam analisis seismik, karakteristik dan distribusi episenter gempa bumi di suatu wilayah ditandai berupa distribusi titik-titik kejadian gempa yang dianggap sebagai fraktal dan dapat diukur geometri dan dimensinya [10].



Gambar 2. Plot Metode *Slope* Kurva Logaritma $C(r)$ terhadap Logaritma r untuk Menentukan Estimasi Dimensi Fraktal D dengan Metode *Least Square*.

Menurut Ramadhani [3], distribusi patahan dalam sistem sesar di permukaan bumi akibat peristiwa gempa memiliki geometri patahan yang disebut dengan sistem fraktal. Patahan-patahan tersebut tersusun dari retakan-retakan dalam bentuk yang sama, yang dihasilkan oleh gempa dan dapat dianggap sebagai sistem fraktal.

Metodologi Penelitian

1. Metode Regresi Linier

Dimensi fraktal D dapat ditentukan berdasarkan hubungan persamaan (3) dengan pendekatan metode *slope* regresi linear antara logaritma jarak patahan r_n dari sumber gempa dengan logaritma konstanta korelasi integral $C(r)$, seperti Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2, dimensi fraktal D diperoleh dari nilai eksponen dengan konstanta integral korelasi $C(r)$ adalah [11]:

$$D = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log C(r)}{\log r_n} \quad (4)$$

Dalam hubungannya dengan seismisitas, fungsi korelasi integral dihitung untuk menentukan geometri dari jumlah distribusi episenter gempa dengan jarak r pada kluster atau area pengamatan yang berukuran R , sehingga [12]:

$$C(r) = \frac{2}{N(N-1)} N(r < R) \quad (5)$$

Dimana $C(r)$ adalah fungsi korelasi integral dari distribusi data episenter gempa dalam suatu kluster atau area distribusi, N adalah jumlah total dari distribusi gempa, $N(r < R)$ merupakan jumlah pasangan antar-titik fraktal dengan jarak yang kecil dari R .

Berdasarkan magnitudo gempa, besarnya dimensi fraktal D diperoleh dari turunan fungsi Distribusi frekuensi-magnitudo oleh Gutenberg-Richter, dimana [6]:

$$\text{Log } N(m) = a - bM \quad (6)$$

dengan $N(m)$ adalah jumlah gempabumi pada magnitudo m , nilai- a merupakan tingkat seismik, sedangkan nilai- b berhubungan dengan keadaan tektonik daerah yang tergantung dari sifat batuan setempat.

Besarnya dimensi fraktal berdasarkan hubungan di atas dan magnitudo gempanya adalah:

$$D_{mag} = 3b/c \quad (7)$$

dimana D menyatakan dimensi fraktal, b adalah nilai- b dari relasi Gutenberg-Richter serta c adalah kemiringan antara log-moment terhadap magnitudo ($c = 1,5$), maka dimensi fraktal menjadi:

$$D_{mag} = 2b \quad (8)$$

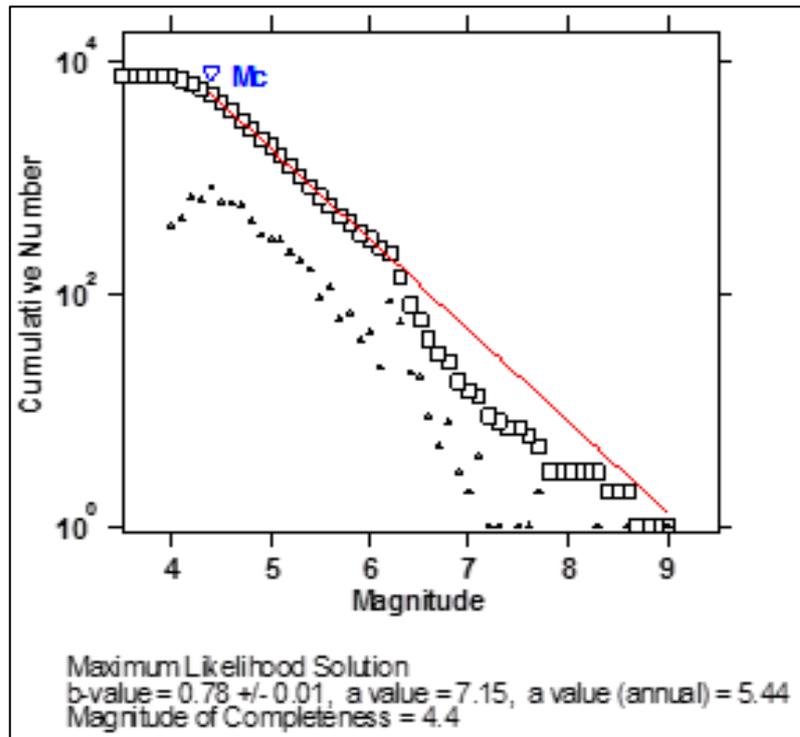
Korelasi antara nilai- b dan dimensi D bervariasi terhadap kondisi geologis suatu wilayah, sehingga dalam beberapa kasus dapat bernilai positif ataupun bernilai negatif.

2. Data

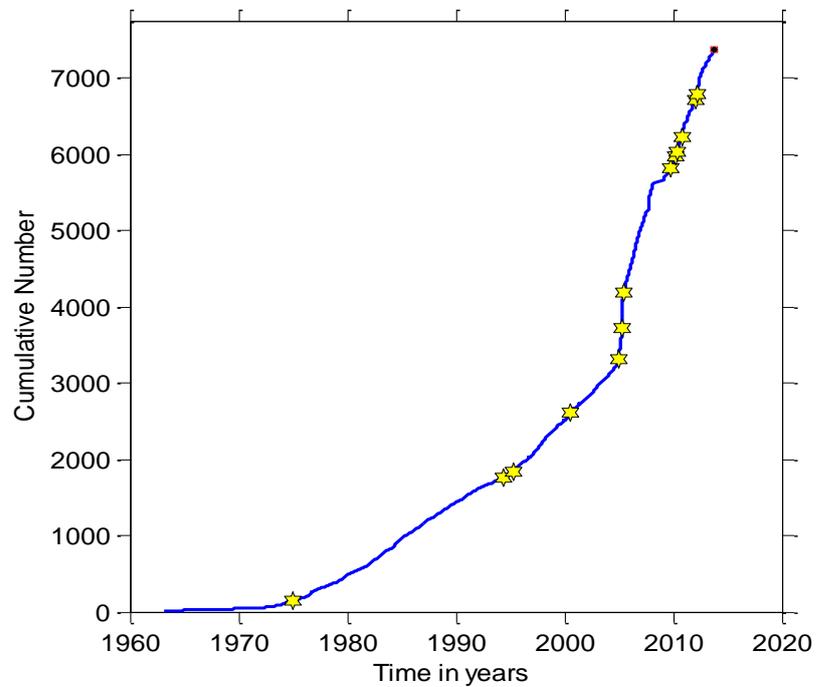
Data gempa yang digunakan dikumpulkan dari katalog Preliminary National Earthquake Information Center USGS (NEIC-USGS) dan katalog rekaman gempa dari BMKG yang meliputi gempa yang pernah terjadi di Sumatera hingga dengan tahun 2010, karena analisa dilakukan hanya untuk melihat pola kegempaan sebelum gempa 2009 di Padang, Sumatera Barat. Data tersebut kemudian disortir untuk gempa-gempa utama saja, kemudian dilakukan penyeragaman magnitudo menjadi skala magnitudo wave (M_w).

Hasil Dan Pembahasan

Perhitungan nilai dimensi fraktal D dalam penelitian ini dilakukan dengan bantuan *software* Zmap [13]. Selanjutnya diplot kurva fraktal untuk melihat pola distribusi gempa yang pernah terjadi di Sumatera. Berdasarkan kurva pada Gambar 3, diketahui kelengkapan gempa (M_c) adalah sekitar 4,4, ini berarti bahwa frekuensi kejadian gempa dengan magnitudo di bawah 4,4 di wilayah ini jarang terjadi. Sementara plot kurva kumulatif gempa (Gambar 4), menunjukkan adanya perubahan arah *slop* setelah tahun 2004 dan 2009, yang ditandai dengan gempa Aceh 2004 dan gempa Padang 2009.

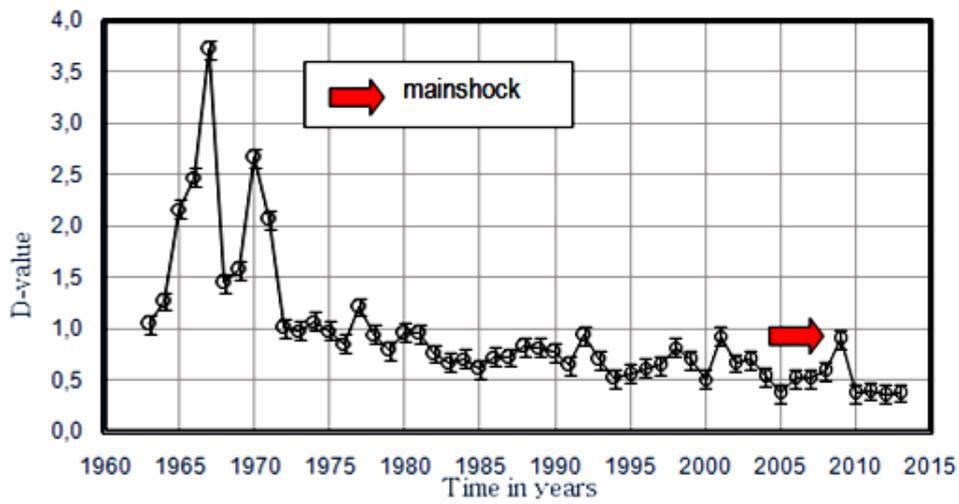


Gambar 3. Kelengkapan data gempa



Gambar 4. Plot kumulatif kurva pola gempa

Besarnya dimensi fraktal D bervariasi untuk masing-masing wilayah gempa, bergantung pada heterogenitas wilayahnya. Gambar 5 menampilkan perubahan dimensi fraktal D . Terlihat pada gambar, sebelum terjadinya gempa-gempa besar (*mainshock*), dimensi fraktal D mengalami penurunan dan mulai naik hingga terjadinya gempa besar.



Gambar 5. Variasi temporal dimensi fraktal D wilayah Sumatera sebelum gempa Padang 2009

Dari tahun 2001 hingga 2005, dimensi fraktal D mengalami penurunan yang cukup signifikan, kemudian mulai mengalami kenaikan selama hampir setahun sebelum gempa 2009. Dalam banyak penelitian terdahulu di wilayah kegempaan, variasi temporal (perubahan) dimensi fraktal D ini telah berhasil diterapkan sebagai analisa prekursor sebelum terjadi gempabumi besar, baik di dalam maupun di luar negeri [3],[4].

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dijelaskan di atas dapat disimpulkan dimana fenomena penurunan nilai D di wilayah Sumatera sering terlihat sebelum terjadinya gempa-gempa besar, seperti sebelum gempa 2004 dan 2009. Artinya fenomena ini bisa dijadikan acuan prekursor untuk gempa-gempa besar.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Prof. H. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U dan Bapak DR. Lalu Makrup atas masukan dan bimbingannya untuk kebaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Makrup, L., 2011, Kurva Percepatan Tanah Puncak dan Seismik Hazard. *Laporan Penelitian Hibah Institusi*, Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- [2] BMKG. 2010. Intregasi Pengamatan Parameter Geofisika Dalam Usaha Prediktabilitas Gempabumi. *Laporan Akhir Program Insentif Kementerian Negara Riset dan Teknologi Tahun 2010*. Puslitbang BMKG, Jakarta BMKG, 2010
- [3] Ramadhani, A. Y., 2012, Seismicity in Java, Indonesia: Spatial & Temporal Study Using Fractal Dimension & b-value. *Thesis*. Universitas Gadjah mada, Yogyakarta
- [4] Murase, K., 2004, A Characteristic Change in Fractal Dimension Prior to the 2003 Tokachi-oki Earthquake (MJ = 8.0), Hokkaido, Northern Japan. *Earth Planets Space*, 56, 401–405
- [5] Rohadi, S., Grandis, H., Ratag, M. A., 2008, Studi Potensi Seismotektonik sebagai Precursor Tingkat Kegempaan di Wilayah Sumatera. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, Vol. 9, No. 2, 65–77
- [6] Sunardi, B. 2009. Analisa Fraktal dan Rasio Slip Daerah Bali-NTB Berdasarkan Pemetaan Variasi Parameter Tektonik. Subduksi Jawa. *Jurnal Meteorologi dan Geofiasika*, Vol. 10, No. 1, 58–65
- [7] Widodo. 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar, Yogyakarta, ISBN: 978-602-229-110-7

- [8] Pertiwi, I. I., Arsyad, M., Palloan, P., 2012, Analisis Distribusi Spasial dan Temporal Seismotektonik Wilayah Sulawesi Bagian Selatan dan Barat Berdasarkan Nilai-b dengan Metode Maksimum Likelihood. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*. Jilid 8, Nomor 3, Desember 2012, hal 269–278
- [9] Nanjo, K., Nagahama, H., 2000, Observed Correlations between Aftershock Spatial Distribution and Earthquake Fault Lengths. *Terra Nova*, 12, pp. 312–316
- [10] Kumar, A., Ray, S. S., Joshi, A., Sen, A., Mittal, H. (2006). b-value and Fractal Dimension of Local Seismicity Around Koyna Region (India). *13th SEE-2006*. Research Scholar, Dept. of Earthquake Engg., I.I.T. Roorkee
- [11] Li, Q., Ming Xu, G. 2013. Characteristic Changes of Scale Invariance of Seismicity Prior to Large Earthquakes: A Constructive Review. *International Journal of Geophysics, Volume 2013*, Article ID 391637, 11 pages. Hindawi Publishing Corporation
- [12] Kumar, A., Ray, S. S., Joshi, A., Mittal, H., Sachdeva, R., Kumar, R., Ghangas, V. 2013. The b-value and Fractal Dimension of Local Seismicity Around Koyna Dam (India). *Earthq. Sci.* DOI 10.1007/s11589-013-0008-1. National Geophysical Research Institute, Hyderabad, India
- [13] Wiemer, S. 2001. *A Software Package to Analyze Seismicity*: ZMAP. *Seis. Res. Lett.*, 72, 374–83