

Analisa Fraktal Dan Rasio Slip Pulau Sumatera Berdasarkan Variasi Parameter Tektonik

¹⁾Suharna.A, ²⁾Pariabti Palloan, dan ³⁾Muhammad Arsyad

¹⁾Mahasiswa KBK Fisika Bumi FMIPA UNM Makassar

²⁾³⁾Dosen KBK Fisika Bumi FMIPA UNM Makassar

Kampus Parangtambung, Jl. Daeng Tata Raya, Makassar 90224

*e-mail : suharnaamir@gmail.com

Abstrak - Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa dimensi fraktal (D) dan rasio *slip* (Sp/S) Pulau Sumatera berdasarkan variasi parameter tektonik (*b-value*). Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kejadian gempa pada tahun 1973-2018 yang diperoleh dari katalog ISC, GCMT dan IRIS. Data tersebut diolah dengan menggunakan software *Zmap* berbasis *Matlab* untuk memperoleh nilai parameter tektonik (*b-value*), dimensi fraktal (D) dan rasio *slip* (Sp/S). Berdasarkan hasil analisis dengan membagi Pulau Sumatera menjadi 5 zona, diperoleh *b-value* berada pada rentang 0,6 sampai 0.9 menunjukkan bahwa nilai *b-value* Pulau Sumatera cukup rendah. Adapun nilai dimensi fraktal yang diperoleh berada pada rentang 1,2 sampai 1,9 sumber gempa Pulau Sumatera terdistribusi mendekati 2 dimensi. Rasio *slip* yang diperoleh pada setiap zona lebih besar dari 50% menunjukkan bahwa lebih dari 50% *slip* yang terjadi pada Pulau Sumatera berada pada patahan primer dan sisanya berada pada patahan sekunder.

Kata Kunci: Parameter Tektonik, Dimensi Fraktal, Rasio Slip

Abstract - This study aims to analyze fractal dimensions (D) and the slip ratio (Sp / S) of Sumatra Island based on variations in tectonic parameters (*b-value*). The data used in this study are earthquake event data from 1973-2018 obtained from the ISC, GCMT and IRIS catalogs. The data is processed using Matlab-based *Zmap* software to obtain tectonic parameter values (*b-value*), fractal dimensions (D) and slip (Sp / S) ratios. Based on the results of the analysis by dividing Sumatra Island into 5 zones, obtained *b-values* in the range 0.6 to 0.9 indicate that the value of Sumatra's *b-value* is quite low. The fractal dimension values obtained are in the range of 1.2 to 1.9. The earthquake source of Sumatra Island is distributed close to two dimensions. The slip ratio obtained in each zone greater than 50% indicates that more than 50% of the slip that occurs on Sumatra Island is in the primary fault and the rest is in the secondary fault.

Keywords: Tectonic Parameters, Fractal Dimensions, Slip Ratio

I. PENDAHULUAN

Sumatera berada di daerah pertemuan antara lempeng tektonik Indo-Australia dengan lempeng Eurasia yang disebut zona subduksi. Lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara sampai N 26⁰ dengan kecepatan 60-70 mm/tahun (Newcom dan McCan, 1987) dapat mengakibatkan gempa bumi dengan magnitude yang besar dan berpotensi tsunami.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Madlazim (2013) diperoleh bahwa selama 49 tahun terakhir (1964-2013) kecenderungan dari gempa bumi di Pulau Sumatera semakin meningkat. Kejadian gempa bumi mengalami peningkatan yang sangat tajam pada tahun 2004, yang diduga terjadi karena proses pencapaian keseimbangan energi yang dialami oleh lempeng. Arah zona subduksi yang menyudut juga menyebabkan timbul dua patahan besar yaitu Patahan Sumatera dengan intensitas kegempaan yang tinggi dan Patahan Mentawai dengan sebagian wilayahnya memiliki intensitas kegempaan yang besar (Harjono, 1992).

Menurut Rohadi (2007) salah satu cara untuk meneliti proses gempa bumi dalam upaya mitigasi adalah hubungan frekuensi-magnitude (*Frequency-Magnitude Distribution*, FMD). FMD dari gempa bumi yang dikemukakan oleh Gutenberg-Richter, merupakan hubungan pangkat (*power law*). Dari hubungan frekuensi-magnitude dapat diperoleh nilai *a-value* dan nilai *b-value*.

Metode FMD merupakan metode awal dalam upaya mitigasi gempa bumi. Nilai *b-value* yang diperoleh dari metode ini dapat digunakan untuk menentukan tingkat kerapuhan batuan dari suatu wilayah yang disebut analisis fraktal. Gempa bumi erat kaitannya dengan patahan,

sementara patahan disusun oleh retakan-retakan pada batuan. Retakan-retakan pada batuan tersebut dianggap sebagai sistem fraktal. Dengan menganalisis fraktal dapat diketahui stabilitas dari wilayah tersebut.

Untuk itu tujuan dari penelitian ini adalah menentukan nilai parameter tektonik (*b-value*), dimensi fraktal (D) dan rasio *slip* (Sp/S) Pulau Sumatera.

II. LANDASAN TEORI

Kerangka Tektonik Pulau Sumatera

Pulau Sumatera yang secara geografis berarah barat laut merupakan perpanjangan ke selatan dari lempeng benua Eurasia, tepatnya berada pada batas barat dari Pulau Sunda. Posisi Pulau Sumatera bersebelahan dengan batas antara lempeng samudra India-Australia dan Sundaland. Subduksi kedua lempeng ditandai oleh sistem punggung Sunda (*Sunda arc sistem*) yang aktif dan memanjang dari Burma di utara hingga ke selatan Simana. Lempeng Australia mengalami tabrakan (*collision*) dengan bagian timur Indonesia (Hamilton, 1979).

Subduksi antara lempeng India-Australia dengan Pulau Sunda membentuk pola konvergen yang miring (*oblique*). Gerakan miring tersebut merupakan resultan dua gaya, yaitu gerakan turun dan gerakan mendatar. Gerakan turun terakomodasi oleh penunjaman lempeng samudra India-Australia di bawah Pulau Sunda. Sedangkan gerakan mendatar terrefleksikan pada pola-pola patahan geser yang membentuk rangkaian struktur (*dextral wrenching*) di dalam Pulau Sunda.

Rangkaian struktur patahan geser tersebut pada akhirnya membentuk Patahan Besar Sumatera (Patahan

Sumatera) yang dikenal dengan nama Patahan Semangko. Hal ini berarti bahwa posisi Patahan Semangko berada tepat pada Bukit Barisan *mountain volcanic arc* yang dibuktikan dengan banyak ditemukannya *wrench fault* pada jajaran pegunungan tersebut (Darman dan Sidi, 2000).

Proses Terjadinya Gempa Bumi

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan kesegala arah berupa gelombang sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi. Gempa bumi mempunyai sifat berulang, dalam arti bahwa gempa bumi di suatu daerah akan terjadi lagi di masa yang akan datang dalam periode waktu tertentu (biasanya ratusan tahun) (Awaluddin, 2011).

Parameter Tektonik (b-Value)

b-value merupakan parameter tektonik pada suatu daerah yang bergantung pada sifat batuan pada wilayah setempat (Scholz, 1968). Hal ini berarti bahwa *b-value* menunjukkan jumlah relatif dari getaran yang kecil hingga besar. Secara teoritis *b-value* tidak bergantung pada periode pengamatan melainkan hanya bergantung pada sifat tektonik dari gempa bumi sehingga dapat dianggap sebagai suatu parameter karakteristik suatu gempa bumi daerah tektonik aktif.

b-value yang rendah berkorelasi dengan tingkat stress yang tinggi dan *b-value* yang tinggi berkorelasi dengan tingkat stress yang rendah. Semakin rendah *b-value* yang dimiliki suatu daerah maka, semakin tinggi kemungkinan terjadinya gempa dengan magnitudo yang besar karena tingginya tingkat stress yang dimiliki wilayah tersebut (Sunardi, 2009).

Fraktal

Fraktal berasal dari kata latin *fractus* yang berarti patah atau rusak. Ciri khas dari fraktal adalah memiliki dimensi yang dinyatakan dalam D (Mandelbrot, 1982). Dimensi adalah ukuran dari suatu objek. Bangun fraktal adalah bangun geometri yang memiliki dimensi tak harus bulat atau bisa disebut dimensi fraktal. Semakin besar dimensi fraktalnya menunjukkan semakin besar pula tingkat kepadatannya. Sebaliknya, semakin kecil dimensinya maka semakin kecil pula tingkat kepadatannya.

Pendekatan fraktal untuk seismisitas dan tektonik berpijak pada suatu kenyataan adanya hubungan antara frekuensi gempa dengan magnitudonya yang berhubungan secara log-linear berdasarkan persamaan Gutenberg Richter (Matsuzaki, 1994).

$$\log(N) = a - bM$$

dengan N adalah jumlah kejadian gempa pertahun, a dan b adalah konstanta. Konstanta a menunjukkan keaktifan seismik. Keaktifan seismik menyatakan tingkat seismisitas di suatu daerah yang sedang diamati, dan nilai ini tergantung dari, periode pengamatan, luas daerah pengamatan, seismisitas di daerah tersebut. Makin besar nilai a di suatu daerah berarti daerah tersebut memiliki aktivitas seismik yang tinggi, sebaliknya untuk nilai a yang kecil berarti aktivitas seismiknya rendah (Rusdin, 2009).

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

$$N = C/r^D \quad (1)$$

dengan C merupakan konstanta dan D merupakan dimensi fraktalnya. Dengan mengambil $A \approx r^2$. Maka persamaan dapat dituliskan

$$D = \frac{3b}{c} \quad (2)$$

Karena $c = 1,5$ maka

$$D = 2b \quad (3)$$

Dimensi fraktal pertama kali dikembangkan dalam fenomena gempa bumi oleh Kagan dan Knopoff (1980) yang mempelajari distribusi spasial dari hiposenter dan episenter.

Rasio Slip

Slip memiliki arti sebagai pergeseran relatif. *Slip* (pergeseran relatif) bila diukur dari blok satu ke yang lain pada bidang patahan dan merupakan pergeseran titik-titik yang sebelumnya berimpit. Rasio antara *slip* yang terjadi pada patahan utama dengan total *slip* dinamakan rasio *slip*, dan dapat dihitung dari dimensi fraktal dengan rumus (Khatri, 1995):

$$\frac{Sp}{S} = 1 - 2^{-(3-D)} \quad (4)$$

dimana Sp adalah *slip* yang terjadi pada patahan utama dan S merupakan total *slip*.

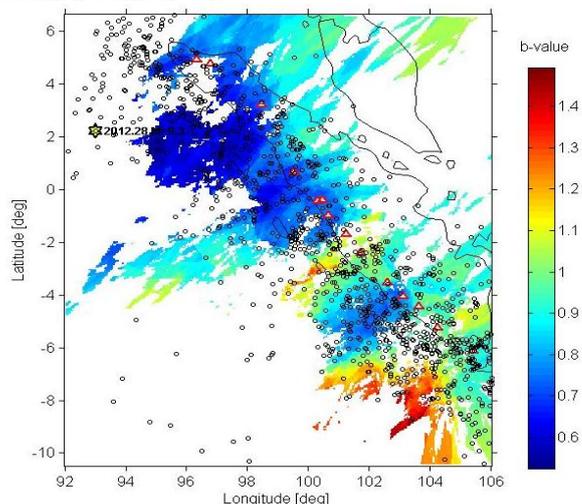
III. METODOLOGI PENELITIAN

Data yang diolah dalam penelitian ini adalah data kejadian gempa tahun 1973-2018 meliputi; longitude, latitude, tahun, bulan, hari, magnitudo, kedalaman, jam, menit terjadinya gempa bumi. Data tersebut diperoleh dari katalog GCMT, ISC dan IRIS yang diolah dengan menggunakan ZMAP (Wiemmer, 2002). Untuk memudahkan dalam menganalisis data yang ada, Pulau Sumatera dibagi kedalam 5 zona dimana dalam setiap zona dihitung nilai *b-value*, dimensi fraktal (D) dan rasio slip (Sp/S).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Parameter tektonik Pulau Sumatera dipetakan berdasarkan perbedaan gradasi warna dengan menggunakan program ZMAP. *b-value* Pulau Sumatera berada pada rentang 0,6-1,4 berdasarkan Gambar 4.1.



Gambar 1. Variasi Spasial *b-value* Pulau Sumatera

Perbedaan warna yang terlihat pada Gambar 1 menunjukkan perbedaan variasi spasial *b-value* yang dimiliki oleh pulau Sumatera.

Penentuan *b-value* masing-masing zona pada Gambar 1 dilakukan dengan melihat hubungan antara frekuensi dengan magnitudo (FMD) setiap zona. Hasil yang diperoleh berupa *magnitude completeness* (Mc) dan *b-value* seperti Tabel 1.

Tabel 1 Hasil analisis nilai *b-value* tiap zona pulau Sumatera tahun 1973-2018.

Zona	Jumlah Gempa	Mc	<i>b-value</i>
1	99	5,7	$0,941 \pm 0,200$
2	121	5,1	$0,622 \pm 0,061$
3	180	5,1	$0,871 \pm 0,080$
4	221	5,1	$0,888 \pm 0,060$
5	231	5,1	$0,954 \pm 0,070$

Pada Tabel 1 di atas, diperoleh nilai Mc (*Magnitude Completeness*) yang bervariasi. Mc atau kelemahan magnitudo adalah magnitudo yang dominan terjadi di suatu wilayah, dari grafik di atas Mc yang paling tinggi berada pada zona 1 untuk daerah aceh dan sekitarnya yaitu 5.7 sedangkan 4 zona yang lainnya memiliki Mc yang sama yaitu 5.1. Nilai Mc menunjukkan kondisi kuat lemahnya gempa yang sering terjadi sehingga Mc menjadi suatu parameter yang berpengaruh dalam menentukan seismisitas di suatu wilayah.

Dimensi Fraktal dan Rasio Slip

Dimensi fraktal dapat ditentukan dengan menganalisis nilai *b-value*. Dimensi fraktal yang diperoleh menunjukkan sumber distribusi sumber gempa

Tabel 2 Hasil analisis dimensi fraktal (D) dan rasio *slip* (Sp/S)

Zona	<i>b-value</i>	Dimensi Fraktal (D)	Rasio Slip (Sp/S)
1	$0,941 \pm 0,200$	1,882	54%
2	$0,622 \pm 0,061$	1,244	70%
3	$0,871 \pm 0,080$	1,742	58%
4	$0,888 \pm 0,060$	1,776	57%
5	$0,954 \pm 0,070$	1,908	53%

Tabel 2 merupakan hasil analisis dimensi fraktal (D) dan rasio *slip* (Sp/S) Pulau Sumatera. Dimensi fraktal diperoleh berdasarkan nilai *b-value* dan rasio *slip* diperoleh berdasarkan nilai dimensi fraktal.

Parameter Tektonik (*b-Value*)

Parameter yang paling penting dalam menentukan *b-value* adalah Mc (*Magnitude of completeness*) Mc pada wilayah penelitian bervariasi. Mc adalah kelemahan magnitudo atau batas bawah magnitudo atau magnitudo yang paling sering muncul saat kejadian gempa.

Distribusi frekuensi–magnitudo yang digunakan untuk menganalisis *b-value* menggambarkan bagaimana hubungan magnitudo dengan jumlah kejadian gempa yang terjadi. Hubungan frekuensi–magnitudo saling berbanding terbalik, semakin besar magnitudenya maka semakin kecil frekuensi kejadian gempa yang terjadi begitupula sebaliknya. Berdasarkan distribusi frekuensi magnitudo yang diperoleh

maka nilai Mc (*Magnitude of completeness*) diperoleh bervariasi untuk setiap zona.

Mc (*Magnitude completeness*) menunjukkan magnitudo dominan yang terjadi. Pada pembagian zona pulau Sumatera zona 1 memiliki magnitudo dominan yang lebih tinggi dibandingkan dengan zona lainnya. Zona 1 memiliki Mc sebesar 5,7 hal ini terjadi karena banyak patahan-patahan aktif selain patahan utama (Ngadmanto, 2000) sedangkan 4 zona yang lainnya memiliki Mc 5,1. Nilai Magnitudo di zona 1 merupakan jenis gempa kuat sedangkan di 4 zona yang lain tergolong sebagai gempa sedang. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Mustafa, 2010 yang menganalisis kejadian gempa di Nias, Aceh dan Sumatera Barat.

Secara keseluruhan *b-value* pulau Sumatera dari Tabel 4.2 adalah sekitar 0,8 nilai ini tergolong rendah. Nuannin (2005) menyebutkan bahwa umumnya *b-value* yang lebih kecil dari 1 mewakili tingkat stress yang tinggi. Hasil bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan Madlazim (2013) yang memperoleh *b-value* pulau Sumatera yaitu 0,865. Nilai ini menggambarkan tingkat stress yang tinggi, sehingga peluang terjadinya gempa dengan magnitudo yang besar sangat tinggi. Ngadmanto (2012) menyebutkan bahwa *b-value* yang relatif rendah mengindikasikan bahwa wilayah tersebut berpeluang akan gempa besar di waktu yang akan datang disebabkan oleh adanya akumulasi energi menimbulkan tingkat stress yang tinggi di wilayah tersebut.

Dimensi Fraktal (D) dan Rasio Slip (Sp/S)

Nilai dimensi fraktal yang diperoleh menggambarkan distribusi sumber gempa bumi yang mendekati satu dimensi dan dua dimensi. Khatri (1995) menyatakan bahwa nilai dimensi fraktal mendekati dua terkait dengan distribusi sumber gempa mendekati dua dimensi. Nilai rasio *slip* yang diperoleh menunjukkan bahwa pada daerah penelitian hampir semua *slip* yang terjadi berada pada sistem patahan utama (primer) sedangkan sisanya berada pada patahan sekunder.

Zona 1 merupakan daerah Aceh dan sekitarnya berada pada $94,41^{\circ}\text{BT} - 97,48^{\circ}\text{BT}$ dan $0,28^{\circ}\text{LU} - 6,62^{\circ}\text{LU}$ memiliki *magnitude completeness* 5,7 dengan *b-value* 0,941 tercatat memiliki jumlah gempa sebanyak 99. Gempa paling besar tercatat di Aceh pada tahun 2004 dengan magnitudo 9,2 SR dan tahun 2007 dengan magnitudo 7,5 SR. Dimensi fraktal untuk wilayah aceh adalah 1,882 dengan rasio *slip* 54%. Nilai dimensi fraktal yang diperoleh menunjukkan bahwa distribusi sumber mendekati 2 dimensi dengan total *slip* yang terjadi 54% berada pada patahan utama dan sisanya berada pada patahan sekunder.

Zona 2 merupakan daerah Sumatera Utara dan sekitarnya berada pada $96,11^{\circ}\text{BT} - 99,28^{\circ}\text{BT}$ dan $2,08^{\circ}\text{LS} - 5,167^{\circ}\text{LU}$ memiliki *magnitude completeness* sebesar 5,1 dengan *b-value* 0,622 dan tercatat memiliki jumlah gempa yaitu 121. Gempa besar tercatat pada tahun 1996 dengan magnitudo 7,3 SR, 2005 dengan magnitudo 8,6 SR, tahun 2010 dengan magnitudo 7,8 dan tahun 2011 dengan magnitudo 7,3. Dimensi fraktal untuk wilayah Sumatera Utara dan sekitarnya adalah 1,244 dengan rasio *slip* 70%. Nilai dimensi fraktal yang diperoleh menunjukkan bahwa distribusi sumber mendekati 1 dimensi dengan total *slip* yang terjadi 70% berada pada patahan utama dan sisanya berada pada patahan sekunder.

Zona 3 merupakan daerah Riau, Sumatera Barat dan sekitarnya berada pada $97,77^{\circ}\text{BT} - 101,8^{\circ}\text{BT}$ dan $4,39^{\circ}\text{LS} - 3,386^{\circ}\text{LU}$ memiliki *magnitude completeness* sebesar 5,1 dengan *b-value* 0,871 dan tercatat memiliki jumlah gempa yaitu 180. Gempa besar tercatat pada tahun 1992 dengan *magnitude* 7,8 SR, tahun 2009 dengan *magnitude* 8,9 SR dan 7,1 SR. Dimensi fraktal untuk wilayah Sumatera Utara dan sekitarnya adalah 1,742 dengan rasio *slip* 58%. Nilai dimensi fraktal yang diperoleh menunjukkan bahwa distribusi sumber mendekati dua dimensi dengan total *slip* yang terjadi 58% berada pada patahan utama dan sisanya berada pada patahan sekunder.

Zona 4 merupakan daerah Jambi dan sekitarnya berada pada $100^{\circ}\text{BT} - 104,1^{\circ}\text{BT}$ dan $6,67^{\circ}\text{LU} - 104,1^{\circ}\text{LS}$ memiliki *magnitude completeness* sebesar 5,1 dengan *b-value* 0,888 dan tercatat memiliki jumlah gempa yaitu 121. Gempa besar tercatat pada tahun 2000 dengan *magnitude* 7,8 SR, tahun 2001 dengan *magnitude* 6,8 SR dan tahun 2007 dengan *magnitude* 7,8 SR. Dimensi fraktal untuk wilayah Sumatera Utara dan sekitarnya adalah 1,776 dengan rasio *slip* 57%. Nilai dimensi fraktal yang diperoleh menunjukkan bahwa distribusi sumber berupa mendekati dua dimensi dengan total *slip* yang terjadi 57% berada pada patahan utama dan sisanya berada pada patahan sekunder.

Zona 5 merupakan daerah Sumatera Selatan, Lampung dan sekitarnya berada pada $102,4^{\circ}\text{BT} - 106,1^{\circ}\text{BT}$ dan $8,499^{\circ}\text{LS} - 1,086^{\circ}\text{LS}$ memiliki *magnitude completeness* sebesar 5,1 dengan *b-value* 0,945 dan tercatat memiliki jumlah gempa yaitu 121. Gempa besar tercatat pada tahun 1995 dengan *magnitude* 7,1 SR dan tahun 2004 dengan *magnitude* 8,1 SR. Dimensi fraktal untuk wilayah Sumatera Selatan, Lampung dan sekitarnya adalah 1,908 dengan rasio *slip* 53%. Nilai dimensi fraktal yang diperoleh menunjukkan bahwa distribusi sumber mendekati dua dimensi dengan total *slip* yang terjadi 53% berada pada patahan utama dan sisanya berada pada patahan sekunder.

V. KESIMPULAN

Wilayah Sumatera Selatan, Lampung dan Sekitarnya memiliki dimensi fraktal yang cukup besar. Nilai Dimensi fraktal yang besar berasosiasi dengan geometri yang lebih tidak teratur. Geometri yang tidak teratur menyebabkan koefisien gesek pada setiap sistem patahan lebih besar dan waktu perulangan gempa yang lebih lama.

Dimensi fraktal paling kecil berada pada zona 2 yaitu daerah Sumatera Utara yang memiliki nilai *D* yang lebih kecil berasosiasi dengan geometri yang lebih teratur. Hal ini menyebabkan koefisien gesek pada sistem patahan lebih kecil dan waktu perulangan gempa lebih singkat.

PUSTAKA

- [1] Awaluddin, Adang. 2011. *Penentuan Waktu Berakhirnya Gempa Susulan untuk Gempa Bumi Biak 16 Juni 2010*. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Syarif Hidayatullah: Jakarta
- [2] Darman, H., & Sidi, F. H. 2000. *An Outline of The Geology of Indonesia*. Jakarta: Ikatan Akhli Geologi Indonesia.
- [3] Geutenberg, B., and Richter, C.F., *Seismicity of Earth and Associated Phenomenon*, Princeton Univ. Press
- [4] Hamilton, W., 1979. *Tectonics of the Indonesian Region. Geol. Surv. Proff. Paper 1078, US Government. Printing Office, Washington, p.114-156.*
- [5] Harjono, H. 1992. *Laporan Penelitian Sumenta 1*. Geoteknologi. LIPI.
- [6] Kagan YY, Knopoff L. 1980. Spatial Distribution of Earthquakes, the Two Point Correlation Function, *geophys J Roy Astron Soc* 62:303-320
- [7] Khattri, K.N., 1985. Fractal description of seismicity of india and inferences regarding earthquake hazard. *Curr.Sci.*, 69.361-366
- [8] Madlazim. 2013, Kajian Awal Tentang *b Value Gempa Bumi di Sumatera Tahun 1964-2013*. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*. ISSN:2087-9946. Vol 3 No 1, Juni 2013
- [9] Mandelbrot, B.B. 1982. *The Fraktal Geometry of Nature*, Freeman, san Fransisco.
- [10] Matsuzaki, Mitsuhiro, 1994. Fractals in earthquakes. *Faculty of business Management, Kansai Jogakuin Women's Collaege*, 1-18.
- [11] Mustafa, Badrul. 2010. Analisis gempa Nias dan gempa Sumaera Barat dan kesamaannya yang tidak menimbulkan tsunami. *Universitas Andalas*. ISSN 1979-4657
- [12] Newcomb, K.R. and McCann. 1987. seismic history and seismotectonics of the Sunda arc. *JGR*, 92, B1: 421- 439.
- [13] Ngadmanto, D, 2012. Penentuan Potensi Gempabumi Merusak Berdasarkan Parameter Kegempaan Di Wilayah Busur Banda. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Vol. 8 No.1 Juli 2012 : 16 – 22
- [14] Nuannin, P., Kulhanek, O., Persson, L., 2005. Spatial and temporal *b value* anomalies preceding the devastating off coast of NW Sumatra earthquake of December 26, 2004, *Geophysical Research Letters*. 32, L11307, doi:10.1029/2005GL022679
- [15] Rohadi, S., Grandis H., dan Mezak A. Ratag. 2007. Studi Variasi Spatial Seismisitas Zona Subduksi Jawa. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, Vol.8, No.
- [16] Rusdin, Andi A. 2009. *Analisa Statistik Seismitas Sulawesi Selatan dan Sekitarnya (Tahun 1938 – 2008)*. Jakarta: Akademi Meteorologi dan Geofisika (Online, diakses tanggal 5 Juli 2018)
- [17] Scholz, C.H. 1968. The-Frequency-magnitude Relation of the Earthquake Frequency-Distribution. *Geophysical Journal of the royal Astronomical Society*, vol 58.
- [18] Sunardi, Bambang. 2009. Analisa Fractal dan Rasio Slip Daerah Bali-NTB berdasarkan Pemetaan Variasi Parameter Tektonik. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika Vol.10 No1 Tahun 2009*.
- [19] Turcotte, D.L., 1997. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*, Cambridge University Press.
- [20] Wiemer, S, Wyss M, and Zúñiga, R, 2002, *ZMAP A Tool For Analyses Of Seismicity Patterns, Typical Applications And Uses: A Cookbook*.