



ANALISIS PARAMETER KEGEMPAAN (NILAI-a DAN NILAI-b) DI WILAYAH BUSUR BANDA

Shofiyatul Mahmudah

Universitas Negeri Surabaya

Zainul Arifin Imam Supardi

Universitas Negeri Surabaya

Korespondensi penulis: shofiyatul.18018@mhs.unesa.ac.id

Abstract.

Some areas in Indonesia are earthquake-prone areas, one of which is the Banda arc. The Banda arc has a complete tectonic system and is also an area with a high level of seismicity. One of the earthquake disaster mitigation efforts is by analyzing the a-values and b-values which are seismotectonic parameters. The a-values and b-values can be analyzed through the Gutenberg-Richter equation through the frequency-magnitude distribution. The gradient of the frequency-magnitude distribution is the b-value which is a stress distribution constant which indicates the level of fragility of the rocks in the area, while the a-value indicates seismic activity which is the seismicity constant. In determining the a-value and b-value depends on the Magnitude completeness (M_c). This study uses earthquake data from the USGS catalog from 2015–2020 and then uniformizes the magnitude to magnitude moment (M_w), declusters the earthquake catalog to eliminate the effects of foreshocks and aftershock to obtain the main earthquake data through ZMAP 6.0 software. After that, do a magnitude-frequency distribution plot to determine the completeness of the data in order to obtain the completeness of magnitude (M_c) which can be used to determine the a-value and b-value using ZMAP 6.0 software. The result of this research is the value of Magnitude Completeness (M_c) is 4.5, while the a-value is 9,07 and the b-value is 1,33. For the spatial variation of a-values and b-values, there are areas with a low a-value of 7 and a low b-value of 1,2 which have a chance of a large earthquake in the future due to the accumulation of energy that causes a high level of stress in the area.

Keywords: *magnitude completeness, a-value, b-value, banda arc*

Abstrak.

Beberapa daerah di Indonesia merupakan daerah rawan gempa, salah satunya yaitu busur banda. Busur Banda mempunyai sistem tektonik yang lengkap dan juga merupakan daerah dengan tingkat seismisitas yang tinggi. Salah satu upaya mitigasi bencana gempa bumi yaitu dengan analisis nilai-a dan nilai-b yang merupakan parameter seismotektonik. Nilai-a dan nilai-b dapat dianalisis melalui persamaan Gutenberg-Richter melalui distribusi frekuensi-magnitudo. Gradien dari distribusi frekuensi-magnitudo merupakan nilai-b yang merupakan konstanta distribusi tegangan yang menunjukkan tingkat kerapuhan batuan yang berada di wilayah tersebut sedangkan nilai-a menunjukkan aktivitas seismik yang merupakan konstanta seismisitas. Dalam menentukan nilai-a dan nilai-b bergantung pada *Magnitude completeness* (M_c). Penelitian ini menggunakan data gempa bumi dari katalog USGS dari tahun 2015–2020 kemudian melakukan penyeragaman magnitudo menjadi *magnitude moment* (M_w), melakukan dekluster katalog gempa untuk menghilangkan pengaruh *foreshock* dan *aftershock* untuk mendapatkan data gempa utama melalui *software* ZMAP 6.0. Setelah itu melakukan plot distribusi fekuensi magnitudo untuk mengetahui kelengkapan data sehingga diperoleh kelengkapan *magnitude* (M_c) yang dapat digunakan untuk menentukan nilai-a dan nilai-b

dengan menggunakan *software* ZMAP 6.0. Hasil dari penelitian ini adalah nilai *Magnitudo Completeness* (M_c) sebesar 4,5 sedangkan nilai-a sebesar 9,07 dan nilai-b sebesar 1,33. Untuk variasi spasial nilai-a dan nilai-b terdapat daerah dengan nilai-a rendah sebesar 7 dan nilai-b rendah sebesar 1,2 yang berpeluang terjadi gempa besar di waktu yang akan datang disebabkan oleh adanya akumulasi energi yang menimbulkan tingkat stress yang tinggi di daerah tersebut.

Kata kunci: kelengkapan magnitudo, nilai-a, nilai-b, busur banda

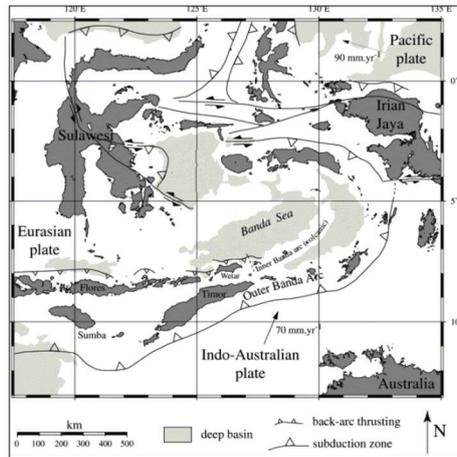
LATAR BELAKANG

Wilayah Indonesia merupakan wilayah yang cukup sering terjadi bencana gempa bumi. Hal ini dikarenakan Indonesia merupakan daerah dengan tatanan tektonik cukup kompleks dan memiliki frekuensi yang cukup aktif. Berdasarkan letak geografis, Indonesia terletak di antara pertemuan empat lempeng tektonik yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, Lempeng Indo-Australia dan juga Lempeng Laut Filipina (Irsyam, M; Natawidjaja, D.H; Meilano, I; Rudyanto, A; Triyoso, W; Hanifa, N.R; Djarwadi, D. dan Sunarjito, L.F, 2017). Bencana gempa bumi juga dapat menyebabkan kerugian secara material dan korban jiwa. Untuk itu diperlukan beberapa penelitian mengenai bencana gempa bumi guna meminimalisir dampak dari bencana tersebut, salah satunya dengan menganalisis parameter seismotektonik sebagai indikasi tingkat aktivitas kegempaan suatu wilayah yang rentan terjadi gempa bumi. Parameter gempa bumi merupakan acuan nilai besaran dan letak kejadian suatu gempa bumi. Besaran gempa bumi yaitu suatu ukuran kekuatan yang dihitung berdasarkan data dari alat perekam gempa atau seismograf (Shohaya, J. N., Chasanah, U., Mutiarani, A., P, L. W., & Madlazim, 2013).

KAJIAN TEORITIS

Beberapa daerah di Indonesia merupakan daerah rawan gempa, salah satunya yaitu busur banda. Busur Banda mempunyai sistem tektonik yang lengkap dikarenakan merupakan pertemuan beberapa lempeng, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik barat. Busur banda juga merupakan daerah dengan tingkat seismisitas yang tinggi. Dapat dilihat dari gambar 1 yang menunjukkan zona subduksi yang ada di wilayah Busur Banda (Ngadmanto, 2009). Batas lempeng- lempeng yang ada di wilayah zona subduksi merupakan zona aktif gempa (G & Subardjo, 2005). Jalur gempa di Indonesia selaras dengan panjangnya zona subduksi yang mengelilingi Indonesia atau kurang lebih 5.600 km dimulai dari Andaman sampai ke Busur Banda Timur kemudian diteruskan ke daerah Maluku dan Sulawesi Utara. Untuk daerah barat dan selatan Indonesia, zona subduksi meliputi wilayah pantai barat Sumatera, pantai selatan awa, Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat (Nurrochman, A., Doni, L. R., Safitri, W.,

Yogi, I. B., & Rasimeng, S, 2020). Stasiun Geofisik Ambon mencatat kejadian gempa rata-rata bulanan yang terjadi di sekitar Laut Banda sebanyak lebih dari 220 gempa (Widada, 2016). Laut Banda merupakan wilayah laut yang paling muda dengan usia kurang lebih sekitar 5 juta tahun.



Gambar 1. Peta tektonik di wilayah Busur Banda.

Salah satu cara untuk menganalisis proses gempa untuk upaya mitigasi bencana yaitu menggunakan hubungan frekuensi-magnitudo (*Frequency-Magnitude Distribution*) dikemukakan Gutenberg-Richter yang dapat dituliskan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\log n(M) = a - bM \quad (1)$$

Dimana $n(M)$ adalah jumlah kumulatif gempa bumi, dengan M merupakan magnitudo yang akan digunakan dalam penelitian. Sedangkan nilai- a dan nilai- b konstanta dalam parameter kegempaan. Nilai- a merupakan konstanta seismisitas dan nilai- b merupakan konstanta distribusi tegangan. Beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan, parameter kegempaan nilai- a dan nilai- b dianalisis secara bersamaan dikarenakan dapat menunjukkan potensi terjadinya gempa bumi pada suatu daerah (Ernandi, 2020).

Nilai- b dapat menggambarkan aktivitas *stress* lokal. Perubahan nilai- b yang signifikan telah teramati di beberapa medan yaitu di daerah tumbukan antar lempeng, sepanjang patahan dan daerah *aftershock*. Terdapat indikasi penurunan nilai- b sebelum terjadinya gempa bumi (*foreshocks*) dan kenaikan nilai- b setelah terjadinya gempa bumi (*aftershocks*). Untuk menentukan nilai- b digunakan metode *maximum likelihood* yang dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$b = \frac{\log e}{\bar{M} - M_{min}} \quad (2)$$

Dimana \bar{M} adalah magnitudo rata-rata dan M_{min} adalah magnitudo minimum. Standar deviasi digunakan untuk memperoleh simpangan dari perhitungan nilai-b dapat menggunakan persamaan:

$$\delta b = 2.30b^2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}{n(n-1)}} \quad (3)$$

Dimana n merupakan jumlah gempa pada sampling perhitungan. Nilai-a dapat menggambarkan tingkat seismisitas di suatu daerah. Daerah dengan nilai-a yang tinggi menunjukkan bahwa daerah tersebut memiliki tingkat seismisitas yang tinggi dimana daerah tersebut sering terjadi gempa bumi, sedangkan daerah dengan nilai-a yang rendah menunjukkan bahwa daerah tersebut memiliki tingkat seismisitas yang rendah. Rendahnya tingkat seismisitas pada suatu daerah yang berada pada zona aktif gempa disebabkan adanya akumulasi energi pada daerah tersebut. Untuk mengetahui nilai-a dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$a = \log N(M \geq M_0) + \log(b \ln 10) + M_0 b \quad (4)$$

Dimana M_0 adalah magnitudo terkecil pada wilayah penelitian. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Drajat Ngadmanto, dengan menggunakan data gempa dari katalog NEIC di wilayah Busur Banda pada tahun 1973-2009 menyebutkan bahwa nilai-a sebesar 9,96 sedangkan untuk nilai-b sebesar 1,28. Dari nilai-a dapat dilihat bahwa wilayah Busur Banda memiliki keaktifan gempa yang relatif tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai-a dan nilai-b dengan data gempa dari katalog USGS di wilayah Busur Banda pada tahun 2015-2020 dan hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai data terbaru sebagai upaya mitigasi bencana di wilayah Busur Banda dan sekitarnya.

METODE PENELITIAN

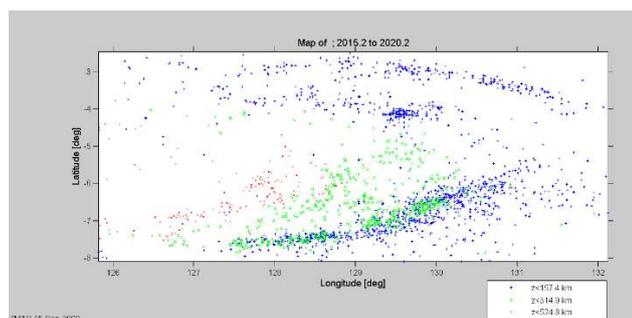
Penelitian ini menggunakan data gempa bumi selama rentang waktu 2015–2020. Data gempa bumi tersebut berasal dari katalog gempa USGS di wilayah Busur Banda. Langkah pertama yaitu mengambil data gempa bumi melalui katalog gempa USGS dan menyeleksi data dengan melakukan penyeragaman magnitudo menjadi *magnitude moment* (M_w) dengan menggunakan excel, kemudian melakukan dekluster katalog gempa untuk menghilangkan pengaruh *foreshock* dan *aftershock* dan diperoleh data gempa utama. Setelah itu melakukan plot distribusi frekuensi magnitudo untuk mengetahui kelengkapan data sehingga diperoleh kelengkapan magnitudo (M_c). Langkah berikutnya menghitung nilai-a dan nilai-b dengan menggunakan *software* ZMAP 6.0 dengan basis MATLAB yang dikembangkan oleh Stefian

Wiemer dkk yang dapat digunakan untuk analisis seismisitas sejak tahun 1993 (Wyss, M., Wiemer, S., & Zúñiga, F)

Perhitungan nilai-b dan nilai-a dilakukan dengan menggunakan metode *maximum likelihood*. Untuk pemetaan variasi secara spasial pada penelitian ini dilakukan dengan cara membagi wilayah penelitian dengan sistem grid dan nilai-a dan nilai-b dihitung untuk tiap titik grid sebesar $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ dengan radius konstan. Pemetaan spasial dari nilai-a dan nilai-b dilakukan setelah menentukan radius konstan dan kelengkapan magnitudo (M_c) yang digunakan. Untuk perhitungan nilai-b secara temporal dapat menggunakan metode *sliding time window* pada lokal area. Nilai-b dihitung dari banyaknya jumlah kejadian gempa (N) kemudian *window* digeser sejauh $N/10$, dan dilakukan sampai terjadinya gempa bumi terakhir (Nuannin, P., Kulhanek, O., & Persson, L)

HASIL DAN PEMBAHASAN

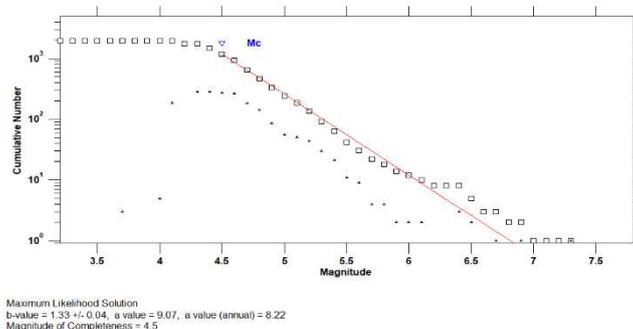
Berdasarkan katalog gempa bumi USGS dengan rentang waktu selama tahun 2015 – 2020 di wilayah Busur Banda dapat dilihat pada **Gambar 2**. dimana menunjukkan peta seismisitas dari wilayah Busur Banda telah terjadi sebanyak 2096 gempa dengan magnitudo kecil hingga besar pada kedalaman $< 157,4$ km yang dapat dilihat dari sebaran warna biru, sedangkan untuk kedalaman $< 314,9$ km dapat dilihat dari sebaran warna hijau dan kedalaman $< 524,8$ km dapat dilihat dari sebaran warna merah. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah Busur Banda merupakan zona aktif gempa.



Gambar 2. Peta seismisitas di wilayah Busur Banda tahun 2015 – 2020.

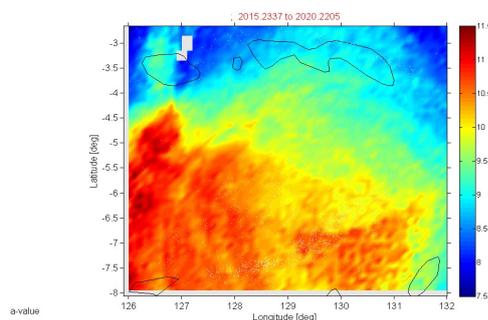
Dari penelitian yang telah dilakukan di daerah Busur Banda menghasilkan grafik distribusi frekuensi-magnitudo pada **Gambar 3**. dimana pada grafik tersebut menunjukkan bahwa hubungan frekuensi dan magnitudo gempa berbanding terbalik. Semakin kecil frekuensi gempa maka semakin besar magnitudo gempa dan sebaliknya, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Ernandi, 2020). Selain itu, pada grafik terdapat garis linier berwarna

merah yang menunjukkan persamaan Gutenberg-Richter. *Magnitude Completeness* (M_c) merupakan parameter yang paling penting dalam menentukan nilai-a dan nilai-b (Ngadmanto, 2009). Dapat dilihat bahwa nilai *Magnitude Completeness* (M_c) dari katalog gempa tahun 2015–2020 yaitu sebesar 4,5. Sedangkan untuk nilai-a sebesar 9,07 dan nilai-b sebesar 1,33. Seperti halnya penelitian di beberapa wilayah lain, nilai-b mendekati satu (Kulhanek, 2005).



Gambar 3. Grafik distribusi frekuensi-magnitudo di wilayah Busur Banda.

Berdasarkan penelitian, analisis spasial nilai-a dapat dilihat pada **Gambar 4a**, dimana terdapat persebaran beberapa nilai-a di wilayah Busur Banda, variasi spasial nilai-a di wilayah Busur Banda sebesar 7,5 hingga 11,5 dapat dilihat bahwa ada beberapa daerah dengan nilai-a yang rendah ditandai dengan warna biru sebesar 7 perlu diwaspadai karena nilai-a menunjukkan aktivitas seismik suatu wilayah, daerah dengan nilai-a yang rendah merupakan daerah yang mempunyai aktivitas gempa yang rendah. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya gempa bumi besar karena wilayah yang dalam waktu lama tidak terjadi gempa maka akan berpeluang terjadinya gempa besar (Rohadi, 2008).

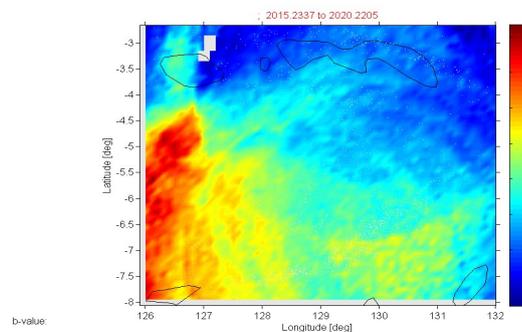


Gambar 4a. variasi spasial nilai-a di wilayah Busur Banda.

Sedangkan untuk analisis spasial nilai-b dapat dilihat pada **Gambar 4b**. Variasi nilai-b sebesar 1,3 hingga 2 dimana variasi nilai-b tampak mirip dengan variasi spasial nilai-a, hal ini juga sesuai dengan penelitian (Ngadmanto, 2009) yang menyebutkan bahwa wilayah dengan

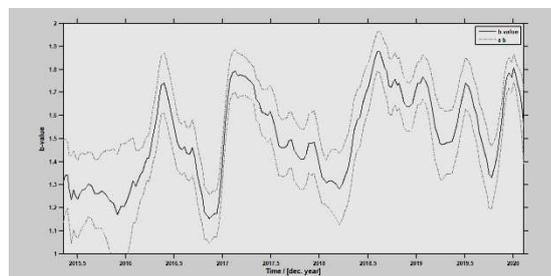
nilai-a rendah juga memiliki nilai-b yang rendah, dan wilayah yang memiliki nilai-a tinggi juga memiliki nilai-b yang tinggi. Terdapat beberapa daerah yang memiliki rentang nilai-b yang rendah sebesar 1,2 hingga 1,4 yang ditandai dengan daerah yang berwarna biru, menurut hasil penelitian para ahli sebelumnya, nilai-b yang rendah biasanya berkorelasi dengan tingkat stress yang tinggi, begitu pula sebaliknya (Rohadi, 2008).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan Drajat Ngadmanto menyebutkan bahwa parameter kegempaan pada wilayah Busur Banda yaitu nilai-a dan nilai-b sebesar 9,96 dan 1,28 berdasarkan data gempa bumi pada tahun 1973–2009, dan hasil penelitian ini yang menyebutkan bahwa nilai-a dan nilai-b sebesar 9,07 dan 1,33 dapat diketahui bahwa wilayah Busur Banda tidak mengalami perubahan aktivitas seismik secara signifikan. Tetapi wilayah ini mempunyai aktivitas seismik yang cukup tinggi dilihat dari banyaknya jumlah gempa yang terjadi.



Gambar 4b. variasi spasial nilai-b di wilayah Busur Banda.

Untuk nilai-b dapat juga dilakukan variasi secara temporal. Analisis temporal nilai-b digunakan untuk melihat pola perubahan nilai-b terhadap waktu dan hubungannya dengan gempa bumi yang terjadi (Ngadmanto, 2009).



Gambar 5. Variasi temporal nilai-b di wilayah Busur Banda.

Pada penelitian ini hasil variasi nilai-b berdasarkan waktu dapat dilihat pada **Gambar 5**. Dimana berdasarkan gambar tersebut terjadi beberapa kali penurunan nilai-b secara signifikan pada periode tahun 2016–2017, 2018, dan 2019–2020. Hal ini sesuai dengan beberapa

penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa terjadinya gempa besar didahului dengan kenaikan nilai-b yang diikuti penurunan nilai-b (Rohadi, 2008). Akan tetapi, ada beberapa kejadian gempa bumi terjadi pada saat nilai-b dalam keadaan mengalami peningkatan. Hal ini mungkin dapat terjadi karena beberapa kasus yang menunjukkan bahwa nilai-b naik secara tiba-tiba sebelum terjadinya gempa bumi (Muzli, 2009).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, nilai kelengkapan magnitudo (M_c) sebesar 4,5 dimana hal ini menunjukkan nilai magnitudo gempa minimum yang dapat mempengaruhi nilai-a dan nilai-b sehingga didapatkan nilai-a sebesar 9,07 dan nilai-b sebesar 1,33 dari data gempa bumi periode 2015-2020, dapat diketahui bahwa wilayah Busur Banda tidak mengalami perubahan aktivitas seismik secara signifikan berdasarkan hasil penelitian (Ngadmanto, 2009). Tetapi wilayah ini mempunyai aktivitas seismik yang cukup tinggi dilihat dari banyaknya jumlah gempa yang terjadi dan nilai-a yang tinggi. Dari variasi spasial nilai-a didapatkan nilai sebesar 7,5 hingga 11,5 dan variasi spasial nilai-b sebesar 1,2 hingga 2. Terdapat beberapa daerah yang mempunyai nilai-a dengan nilai terendah sebesar 7 dan nilai-b dengan nilai terendah sebesar 1,2 yang berpotensi terjadi gempa besar di waktu yang akan datang dikarenakan nilai-a dan nilai-b yang rendah dapat menimbulkan tingkat stress yang tinggi dikarenakan adanya akumulasi energi di daerah tersebut. Oleh karena itu masyarakat yang berada di wilayah Busur Bandadan sekitarnya diharapkan untuk lebih waspada.

SARAN

Penelitian ini belum dapat menyebutkan beberapa wilayah di sekitar Busur Banda yang berpotensi terjadinya gempa bumi merusak serta periode ulang gempa bumi di wilayah Busur Banda. Untuk peneliti selanjutnya diharapkan mampu mengembangkan penelitian ini dengan data katalog gempa dari sumber yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada USGS yang telah menyediakan katalog gempa bumi serta pihak-pihak yang terlibat dalam penelitian dan penyusunan artikel ini, serta kepada peneliti sebelumnya yang telah melakukan penelitian dengan topik terkait.

DAFTAR REFERENSI

- Ernandi, F. N. (2020). Analisis Variasi a-value dan b-value dengan Menggunakan Software ZMAP V.6 sebagai Indikator Potensi Gempa Bumi di Wilayah Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Inovasi Fisika* , 24-30.
- G, I., & Subardjo. (2005). Pengetahuan Seismologi. *Badan Meteorologi dan Geofisika*.
- Irsyam, M; Natawidjaja, D.H; Meilano, I; Rudyanto, A; Triyoso, W; Hanifa, N.R; Djarwadi, D. dan Sunarjito, L.F. (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan*.
- Kulhanek, O. (2005). Seminar on b value. *Dept. of Geophysics, Charles University*.
- Muzli. (2009). Signature of Tectonic Stress in Seismicity . *Master Thesis in Free University Berlin*.
- Ngadmanto, D. (2009). Penentuan Potensi Gempa Bumi Berdasarkan Parameter Kegempaan di Wilayah Busur Banda. *Pusat Penelitian dan Pengembangan, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika*, 125-132.
- Nuannin, P., Kulhanek, O., & Persson, L. (t.thn.). *Spatial and Temporal b value Anomalies Preceding the devastating off coast of NW Sumatra earthquake of Desember 26, 2004*. 2005: Geophysical Research Letters.
- Nurrochman, A., Doni, L. R., Safitri, W., Yogi, I. B., & Rasimeng, S. (2020). Perbandingan Penggunaan Matlab dan Python Dalam Penentuan Episenter Gempa; Studi Kasus Gempa Laut Banda 06 Mei 2020. *JIFP (Jurnal Ilmu Fisika dan Pembelajarannya)*, 77-82.
- Rohadi, S. (2008). Studi Aplikasi Wavelet pada periodisitas dan prediksi aktivitas gempa bumi di zona subduksi jawa. *Master Thesis Pasca Sarjana ITB*.
- Shohaya, J. N., Chasanah, U., Mutiarani, A., P, L. W., & Madlazim. (2013). Survey dan Analisis Seismisitas Wilayah Jawa Timur Berdasarkan Data Gempa Bumi Periode 1999-2013 sebagai Upaya Mitigasi Bencana Gempa Bumi. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*.
- Widada, S. (2016). Analisis Dimensi Fraktal Kejadian Gempa di Laut Banda Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 108-114.
- Wyss, M., Wiemer, S., & Zúñiga, F. (t.thn.). *ZMAP A Tool for Analyses of Seismicity Patterns*. 2001: Typical Applications And Uses. A Cookbook.