

ANALISIS PARAMETER *a*-VALUE DAN *b*-VALUE SEBAGAI MITIGASI BENCANA GEMPA BUMI DI NUSA TENGGARA TIMUR

Halimatul Aslamia^{1*}, Zainul Arifin Imam Supardi¹

¹ Program Studi Fisika, Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam dan Matematika, Universitas Negeri Surabaya. Jl. Ketintang Surabaya 60231, Indonesia

Email: halimatul.18005@mhs.unesa.ac.id

Received: 14 March 2022. Accepted: 24 April 2022. Published: 28 April 2022

ARTICLE INFO

Keywords:

Parameter a-value; b-value; Gutenberg-Richter law; Precursor; Seismotectonic.

How to cite:

Aslamia H, et al (2022). Analisis Parameter a-Value dan b-Value Sebagai Mitigasi Bencana Gempa Bumi Di Nusa Tenggara Timur. *Jambura Physics Journal* Vol 4(1): 14-27

DOI:

<https://doi.org/10.34312/jpj.v4i1.13815>

ABSTRACT

Research on seismicity parameters in the East Nusa Tenggara region can use the a-value and b-value parameters as the main earthquake precursors. The two parameters are seismic activity level and relief level. In general, both parameters use the relationship between between the frequency of earthquake occurrences and magnitude earthquake from the Gutenberg-Richter law in the form of a graph. This study uses secondary data from the USGS earthquake details which was processed with ZMAP 6.0 software with the maximum likelihood method. Statistics of earthquakes with a magnitude of $4,5 \leq M_w \leq 7,9$ as many as 1685 events and a depth of 675.5 km in the period 1990-2020. Based on data analysis, the Gutenberg-Richter equation is $\log N(M) = 8.72 - 1.19M$ where b-value = 1.19, a-value = 8.72, a-value (annual) = 7.23, fractal dimension = 2.38. From this reason, seismic activity in the East Nusa Tenggara region is relatively high, stress levels are low and the source of the earthquake is the main faults cause structural earthquakes and even tsunamis in the seismic tectonics of the arc area basin in front of the Australian plate subducting along the subduction zone in the northern Indonesia. Therefore, the seismic parameters can be used as a long-term earthquake disaster mitigation through knowledge such as socialization before a disaster, during a disaster, and after a disaster by considering the local wisdom of the local community.

1. Pendahuluan

Negara maritim memiliki jangkauan perairan lebih luas dibandingkan dengan daratan seperti Indonesia, secara geografis terhempit antara dua benua yaitu benua Asia dan benua Australia serta dua Samudra yaitu Samudra Hindia dan Samudra

Pasifik (Utomo & Purba, 2019). Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng struktural : Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Kondisi tektonik di wilayah Nusa Tenggara Timur diapit oleh lempeng Indo-Australia bertumbukan dengan lempeng Eurasia (Wekke, 2021) sehingga dapat dikatakan sepanjang wilayah Nusa Tenggara Timur berada pada zona subduksi yang masih aktif. Kawasan lempeng tektonik aktif memicu kerentanan suatu wilayah terhadap bencana seismik (Risanti & Prastowo, 2021), pergerakan lempeng tersebut berasal dari energi dalam bumi dengan aliran konveksi yang menjalar ke permukaan bumi sebagai gelombang seismik. Menurut (BMKG, 2017), pergerakan lempeng menunjam lempeng lain diklasifikasikan menjadi tiga yaitu kedua lempeng saling menyebar, menumbuk, dan mendeformasi. Oleh karena itu, pemahaman dalam konteks mengenai parameter seismisitas dan mitigasi bencana dapat dipetakan sesuai kerentanan wilayah terhadap gempa bumi sangat diperlukan.

Pergerakan lempeng memicu timbulnya gempa bumi tektonik, gempa bumi merupakan peristiwa pelepasan energi dalam bentuk gelombang getaran yang merambat ke permukaan bumi akibat aliran turbulensi di kerak bumi (Sili & Fauzi, 2013), energi tersebut berupa *stress* dan *strain* akibat penunjaman lempeng membentuk daerah subduksi dan sesar lokal (Bidang, 2020). Menurut (Kayal, 2008) salah satu teori yang menjelaskan tegangan tektonik menyebabkan gempa adalah teori elastik Rebound Reid menjelaskan sebagian besar gempa bumi berasal dari batuan kerak memiliki gaya tegang secara elastis di bawah tekanan deviatorik ketika terjadi regangan elastis dilepaskan secara tiba-tiba akan terakumulasi dalam batuan sehingga terjadi patahan. Batuan yang hancur akibat dari pelepasan tegangan di dalam bumi akan memancarkan gelombang-gelombang gempa ke segala arah seperti redaman, pemantulan, pembiasan pada lempeng litosfer, hal ini menyebabkan perjalanan gelombang tidak beraturan dan sulit diprediksi (Thene, 2016).

Daerah Nusa Tenggara Timur merupakan bagian seismotektonik Indonesia yang berada pada pertemuan Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia jalur Mediterania dan zona subduksi dengan batas berupa palung (*Oceanic Trench*) (BMKG, 2017). Sebaran episentrum wilayah Nusa Tenggara Timur termasuk ke dalam kategori episentrum dangkal di sekitar Kepulauan Flores, Alor, dan Wetar sampai Roman (Tang, 2016). Pada pesisir selatan kepulauan Timor, gempa bumi disebabkan oleh aktivitas subduksi dibandingkan aktivitas vulkanik atau aktivitas gunung api.

Aktivitas seismik dan kerapuhan batuan suatu wilayah dapat diketahui dengan metode pendekatan empiris Gutenberg-Richter menunjukkan hubungan frekuensi gempa bumi dengan magnitudo gempa. Berdasarkan hasil dari perhitungan menggunakan persamaan Gutenberg-Richter yaitu grafik log-linear yang dapat dianalisis sebagai nilai seismisitas gempa. Parameter *a-value* bergantung periode observasi dan luas wilayah yang diamati, jika semakin tinggi *a-value* akan semakin tinggi tingkat aktivitas di wilayah tersebut (Suharna *et al.*, 2018), sedangkan *b-value* umumnya mendekati 1 yang menunjukkan gempa dengan kekuatan kecil (Rohadi, 2015).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai seismisitas dan dimensi fraktal di wilayah Nusa Tenggara Timur sebagai langkah awal upaya mitigasi bencana gempa melalui pembekalan pengetahuan yang dijadikan ilmu dasar bagi masyarakat

dan pemerintah setempat. Penelitian ini memiliki batasan pengambilan data magnitudo gempa $M_w \geq 4,5$ untuk meminimalisir getaran permukaan bumi yang bukan berasal dari dalam bumi. Pengambilan data untuk dikaji lebih lanjut mengenai nilai seismisitas kegempaan dalam periode 1990 sampai 2020 dengan magnitudo $M_w \geq 4,5$ dan kedalaman gempa $< 675,5$ km, dari data seismik yang diperoleh akan dianalisis nilai parameter seismik di daerah Nusa Tenggara Timur.

2. Metode Penelitian

Studi Literatur dan Pengolahan data

Jenis penelitian ini termasuk kuantitatif deskriptif, data riset menggunakan data sekunder berasal dari website Survei Geologi Amerika Serikat (USGS) berupa katalog gempa bumi dalam periode 30 tahun pada tahun 1990-2020 terdiri dari longitude, latitude, kedalaman, magnitudo, tahun, bulan, hari, jam, menit. Lokasi penelitian di Nusa Tenggara Timur dengan batasan wilayah 118° - 125° Bujur Timur dan 7° - 11° Lintang Selatan. Statistika gempa bumi dengan magnitudo $4,5 \leq M_w \leq 7,9$ sebanyak 1.685 kejadian dan kedalaman 675,5 km.

Penelitian ini melibatkan tiga variabel diantaranya variabel bebas adalah besaran momen (M_w), variabel kontrol adalah distribusi parameter *a-value* dan *b-value* menurut persamaan Gutenberg-Richter di Nusa Tenggara Timur, serta variabel respon adalah frekuensi kejadian gempa bumi, *a-value*, *b-value*, dan dimensi fraktal. Data gempa bumi dan visualisasi waktu kejadian dapat menjadi parameter seismik dengan bantuan *software* untuk pemetaan (Popandopoulos G. A. & Chatziioannou E., 2014). *Software* untuk mengolah data gempa menggunakan Ms. Excel, notepad, ZMAP 6.0, Matlab R2010a. Pengolahan data dalam penelitian ini yaitu :

1. Mendownload data gempa bumi dari katalog USGS yang dapat diakses melalui situs USGS (Conterminous U.S., n.d.).
2. Menyortir data ke Ms. Excel berupa longitude, latitude, magnitudo, kedalaman, tahun, bulan, hari, jam, menit,
3. Semua skala magnitudo gempa seperti m_b (*body wave magnitudo*), M_d (*duration magnitudo*), M_s (*surface wave magnitudo*) dikonversikan ke skala M_w (*moment magnitudo*), hal ini karena skala M_w menyatakan konsistensi besar kekuatan gempa utama (Pasau et al., 2017). Persamaan konversi skala magnitudo (Kadirioğlu & Kartal, 2016) sebagai berikut :

$$M_w = 0.5716 M_s + 2.4980 \quad (M_s \leq 5.4) \quad (1)$$

$$M_w = 0.8126 M_s + 1.1723 \quad (M_s \geq 5.4) \quad (2)$$

$$M_w = 0.7947 M_d + 1.3420 \quad (3)$$

$$M_w = 1.0319 m_b + 0.0223 \quad (4)$$

$$M_w = 0.8095 M_l + 1.3003 \quad (5)$$

4. Export data dengan format .csv, kemudian buka data melalui notepad dan simpan data dengan format .dat
5. Input data untuk memperoleh data parameter 16ndicat menggunakan aplikasi Matlab R2010a dengan program ZMAP 6.0
6. Pilih output data menjadi bagan beserta mapping *a-value* dan *b-value*, grafik *b with time* dan plot histogram *deep earthquake*.

Metode Maximum Likelihood

Parameter *a-value* dan *b-value* berasal dari probabilitas maksimum menggunakan metode *maximum likelihood*. Penentuan variabilitas *b-value* dari magnitudo untuk memperkirakan M_c , maka persamaan *b-value* metode *maximum likelihood* (Godano, Lippiello, & de Arcangelis, 2014),

$$b = \frac{\log_{10}(e)}{\langle m \rangle - (M_c - \frac{\Delta m}{2})} \quad (6)$$

Persamaan 6 menunjukkan $\langle m \rangle$ adalah *average magnitudo* dan nilai $\Delta m = 0.1$ adalah *binning magnitudo*. Sedangkan persamaan *a-value*,

$$a = \log N + \log(b \ln 10) + M_c b \quad (7)$$

Hukum empiris Gutenberg-Richter menjadi teori dasar dalam penentuan parameter seismik yang menunjukkan keterkaitan antara frekuensi gempa bumi dengan magnitude. Menurut (Madlazim, 2013) metode ini cukup akurat dan telah teruji secara luas, secara matematis rumus tersebut ditulis sebagai berikut :

$$\log N(M) = a - bM \quad (8)$$

N merupakan frekuensi kejadian gempa bumi, a merupakan konstanta keaktifan seismik, b merupakan konstanta kerapuhan batuan dan M merupakan magnitudo gempa bumi. Pada persamaan 8 menunjukkan persamaan linear, $\log N$ adalah variabel respon sumbu Y dan M , variabel bebas sumbu X. Persamaan *a-value* yaitu perpotongan sumbu Y di sumbu X yang menunjukkan jumlah data gempa dengan luas wilayah, sedangkan *b-value* yaitu gradien suatu garis hubungan regresi yang menunjukkan hubungan antara jumlah gempa besar maupun gempa kecil (Popandopoulos G. A. & Chatziioannou E., 2014).

Dimensi fraktal merupakan bidang geometri yang memiliki ukuran objek berbentuk tidak utuh, jika semakin besar dimensi fraktalnya maka semakin besar kepadatan objek (Suharna et al., 2018). Pendekatan fraktal diperoleh dari pendekatan Gutenberg-Richter, untuk distribusi episenter gempa bumi dengan korelasi integral didefinisikan sebagai berikut (Srivastava et al., 2014),

$$C(r) = \frac{2}{N(N-1)} \quad (9)$$

Apabila distribusi episenter dianggap sebagai struktur dimensi fraktal maka menunjukkan hubungan berikut,

$$C(r) \sim r^D \quad (10)$$

dimana D disebut sebagai dimensi 17 ndicat, hasil dari kemiringan plot $C(r)$ terhadap r terhadap koordinat logaritma. Dimensi fraktal sebagai zona patahan dan kerak heterogen yang didalamnya terdapat kekuatan energi sehingga diperlukan pemetaan dalam skala tertentu (Srivastava et al., 2014) *b-value* dan dimensi fraktal terkait hubungan empiris (Suharna et al., 2018).

$$D = \frac{3b}{c} \quad (11)$$

c adalah konstanta yang bernilai 1,5 sehingga nilai $D = 2b$. Rentang dimensi 17 ndicat antara 0 sampai 2 dari rentang kesalahan aktif di mana 0 menyiratkan bahwa pusat gempa berkerumun menjadi satu titik dan pada nilai mendekati 2.0, dan pusat gempa terdistribusi secara homogen atas ruang dua dimensi (Srivastava et al., 2014). Nilai pola seismik yang terkuantisasi oleh dimensi fraktal dapat mengilustrasikan pola subduksi penyebab gempa (Widada, 2016).

Hasil *a-value* dan *b-value* dari metode *maximum likelihood* digunakan sebagai *precursor* gempa bumi, karena hasil yang diperoleh cukup akurat dari estimasi

probabilitas kepastian sekitar M_c 95% (Popandopoulos G. A. & Chatziioannou E., 2014). Perolehan informasi seismik secara menyeluruh menjadi indikator utama kondisi geologi suatu wilayah dan peluang bencana gempa bumi di Nusa Tenggara Timur.

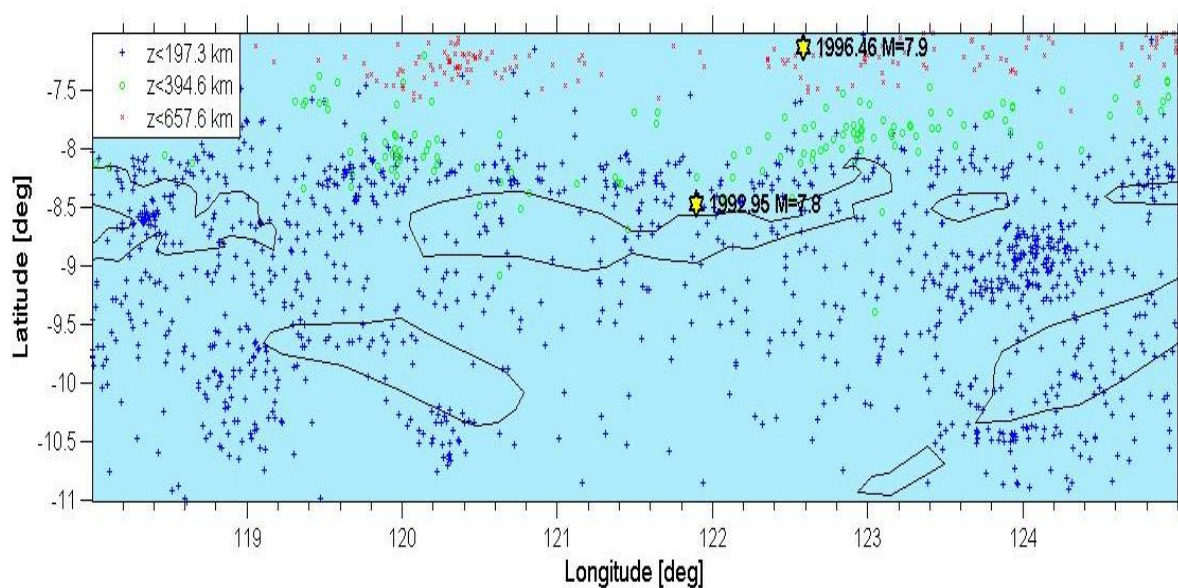
3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil olah data melalui *software* ZMAP 6.0 dengan memetakan katalog gempa bumi dari tahun 1990-2020 wilayah Nusa Tenggara Timur ditunjukkan oleh Gambar 1.

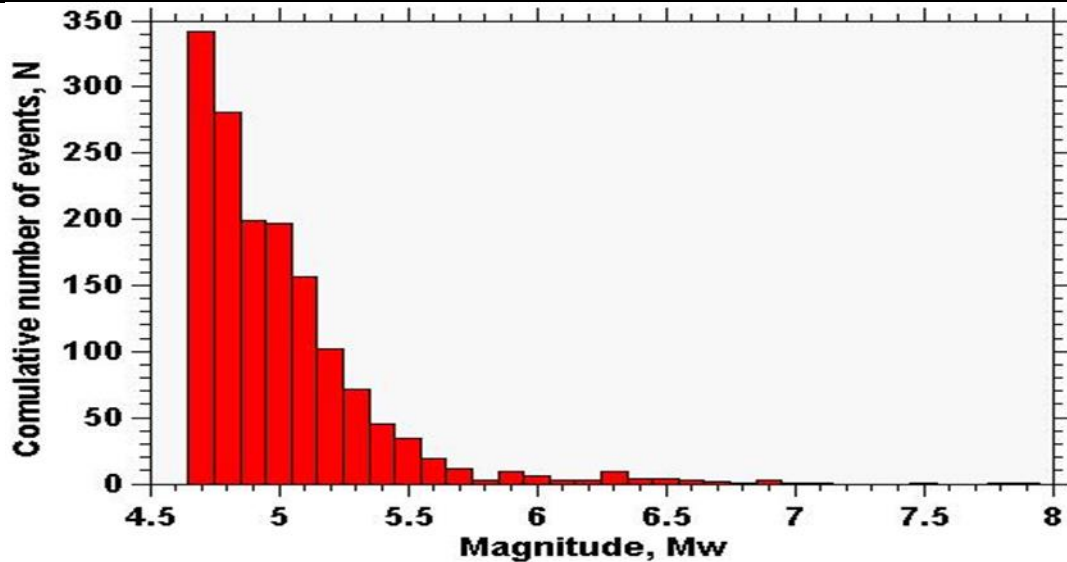
Gambar 1 menunjukkan bahwa wilayah Nusa Tenggara Timur terjadi gempa hingga ribuan kali yang tersebar merata di seluruh wilayah tersebut baik gempa besar maupun gempa kecil dengan variasi kedalaman yang berbeda. Tanda sebaran titik warna biru tua adalah gempa dengan kedalaman $< 197,3$ km, tanda sebaran titik warna hijau adalah gempa dengan kedalaman $< 394,6$ km, sedangkan tanda sebaran titik warna merah adalah gempa dengan kedalaman $< 657,5$ km.

Hasil katalog USGS gempa bumi di wilayah Nusa Tenggara Timur sebanyak 1685 kejadian, kemudian data diolah dengan metode *maximum likelihood*. Metode ini melalui proses awal yang dilakukan yaitu penampisan seismisitas, hal ini dilakukan untuk menghilangkan gempa susulan, getaran awal gempa, dan kejadian gempa duplikat (Sokolov *et al.*, 2017). Jumlah gempa awal 1.685 kejadian yang disaring menjadi gempa utama sebanyak 1.512 atau 89,73% dan sisanya gempa susulan. Dari data tersebut diolah menggunakan ZMAP 6.0 dalam menu *analyse time series histogram* yang diklasifikasikan menjadi kelas magnitudo dengan rentang 0,10 sehingga diperoleh *optimum solution* seperti Gambar 2.

Interval kelas magnitudo yang menunjukkan frekuensi paling tinggi adalah $4,65 \leq M_w \leq 4,75$ sebanyak 342 kejadian. Berdasarkan persamaan Gutenberg dan Richter bahwa plot distribusi frekuensi magnitudo dan magnitudo gempa bumi sesuai Gambar 2. Gempa bumi terbesar yang mengguncang Nusa Tenggara Timur



Gambar 1. Peta Seismisitas Nusa Tenggara Timur tahun 1990-2020.



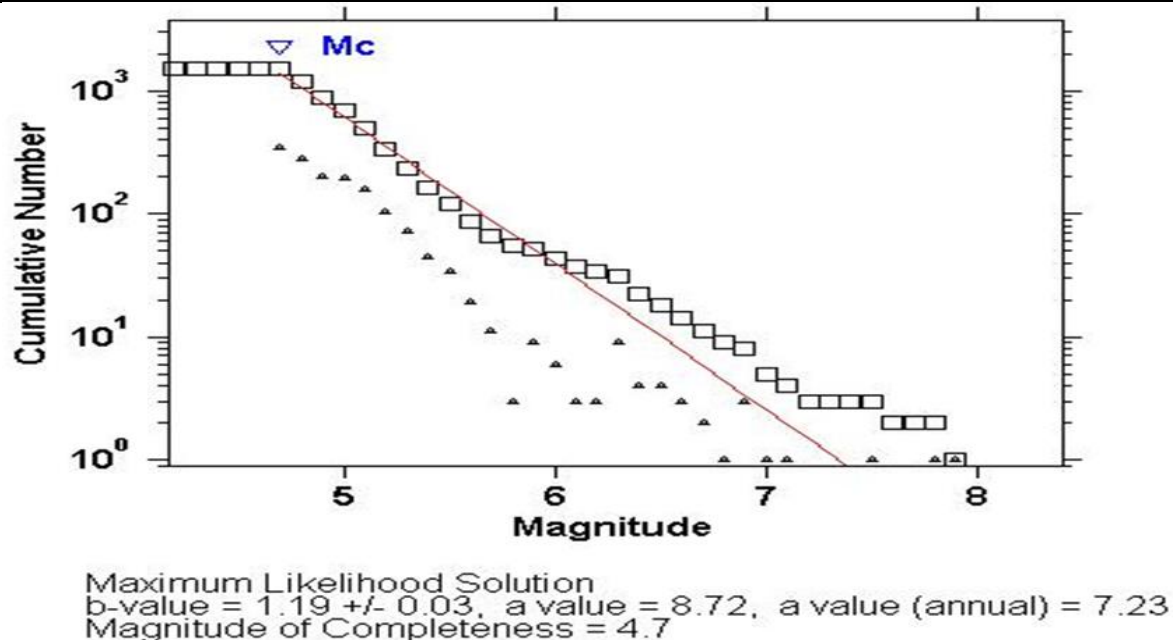
Gambar 2. Histogram jumlah magnitudo dengan magnitudo gempa bumi.

selama periode penelitian terjadi pada tahun 1996 dengan *magnitude moment* (M_w) 7,9. Gempa bumi dengan *magnitude moment* (M_w) $\geq 7,0$ memiliki pola atau siklus yang diawali dengan aktivitas normal, kemudian terjadi anomali seismisitas dengan tanda-tanda meningkatnya seismisitas, selang beberapa waktu terjadi penurunan aktivitas seismisitas dan dikejutkan dengan gempa utama (Ardiansyah, 2014)

Plot parameter seismisitas wilayah Nusa Tenggara Timur yang diolah melalui program ZMAP 6.0 pada aplikasi Matlab 2010R diperoleh distribusi frekuensi-magnitudo (FMD), *magnitude completeness*, *a-value* dan *b-value* seperti yang ditunjukkan Gambar 3.

Analisis distribusi frekuensi-magnitudo (Gambar 3) menunjukkan hubungan jumlah kejadian gempa dengan magnitudo saling berbanding terbalik, di mana semakin besar jumlah kejadian gempa maka semakin kecil magnitudo gempa yang terjadi begitupun sebaliknya (Widada, 2016). Hasil nilai FMD secara keseluruhan wilayah penelitian (Gambar 3) menggunakan metode *maximum likelihood* diperoleh *magnitude of completeness* (M_c) bernilai M_w 4,7. Hal ini berarti jumlah magnitudo gempa yang lebih besar dari M_w 4,7 akan semakin kecil. Secara teknik M_c merupakan batas ambang frekuensi magnitudo yang relatif tinggi dan dapat memberikan perkiraan konservatif (Mignan & Woessner, 2012). Pada grafik terdapat garis linear merah yang menunjukkan persamaan empiris Gutenberg-Richter adalah $\log N(M) = 8.72 - 1.19M$.

Parameter *b-value* merupakan parameter seismotektonik yang bergantung pada kondisi struktur batuan sebagai indikator pendeteksi gempa bumi suatu wilayah (Harimei et al., 2017). *b-value* ditunjukkan oleh gradien grafik hubungan frekuensi dengan magnitudo, di mana *b-value* wilayah Nusa Tenggara Timur sebesar 1,19 dengan ketidakpastian $\pm 0,03$, hasil estimasi variasi *b-value* termasuk dalam rentang statistik antara 0,5-1,5 (Rohadi, 2015). Rentang *b-value* berkisar 1,0 menunjukkan alokasi wilayah tektonik (Putri et al., 2016) struktur wilayah Nusa Tenggara Timur merupakan daerah tektonik aktif berbentuk prisma akresi, terdapat sesar aktif dan tersusun dari batuan dasar mikro buton; batuan prisma akresi; batuan gunung api bawah laut; dan batuan sedimen klastika (Rahardiawan & Purwanto,



Gambar 3. Grafik distribusi frekuensi komulatif dengan magnitudo seismic (FMD) wilayah Nusa Tenggara Timur tahun 1990-2020 (□: frekuensi komulatif, Δ: frekuensi non komulatif) dengan metode maximum likelihood.

2016). Secara teori sifat penjarangan gelombang seismik dipengaruhi elastisitas batuan yang dilewati, di mana batuan elastis akan mengalami *stress* sehingga terjadi perubahan bentuk atau deformasi yang disebut kerapuhan batuan (Mutiarani et al., 2013). Parameter *b-value* ini mengindikasikan “*stressmeter*” di mana *b-value* yang besar menunjukkan tingkat *stress* yang kecil atau dapat dikatakan pernah terjadi gempa bumi dengan skala besar sehingga hanya tersisa energi yang mampu menghasilkan gempa kecil, namun sebaliknya jika *b-value* yang dihasilkan kecil maka menunjukkan tingkat *stress* yang besar karena akumulasi energi dalam bumi yang disimpan relatif lama mengakibatkan penumpukan energi dalam batuan yang rapat sehingga batuan permukaan tidak mampu menahannya maka berpeluang terjadinya gempa dengan magnitudo besar. Berdasarkan *b-value* di wilayah Nusa Tenggara Timur mengindikasikan gempa bumi relatif besar terjadi pada interval waktu yang relatif singkat yakni M_w 7,8 pada tahun 1992 dengan dan M_w 7,9 pada tahun 1996, meskipun telah terjadi gempa besar dengan waktu yang relatif cepat kemungkinan terjadi gempa besar terjadi kembali karena ditinjau dari letak wilayah lempeng tektonik. Sebagaimana faktor yang mempengaruhi terjadinya gempa antara lain hiposentrum, episentrum, jenis batuan penyusun, besarnya pergeseran lempeng, dan lama waktu getaran gempa (Murtianto, 2016).

Secara umum pola sebaran spasial parameter hukum Gutenberg-Richter membuktikan konsep geodinamika suatu wilayah, seperti *a-value* mengindikasikan tingkat keaktifan gempa bumi (Popandopoulos G. A. & Chatziioannou E., 2014), wilayah Nusa Tenggara Timur menunjukkan *a-value* sebesar 8.72 dengan *annual rate of seismic* sebesar 7,23 yang merepresentasikan wilayah tersebut memiliki aktivitas seismik yang cukup besar sehingga berpeluang akan terjadi gempa dengan magnitudo besar. Sedangkan nilai dimensi fraktal dapat diketahui dari hasil *b-value* sebesar $D = 2b = 2(1.19) = 2,38$. Dimensi fraktal menunjukkan sumber distribusi

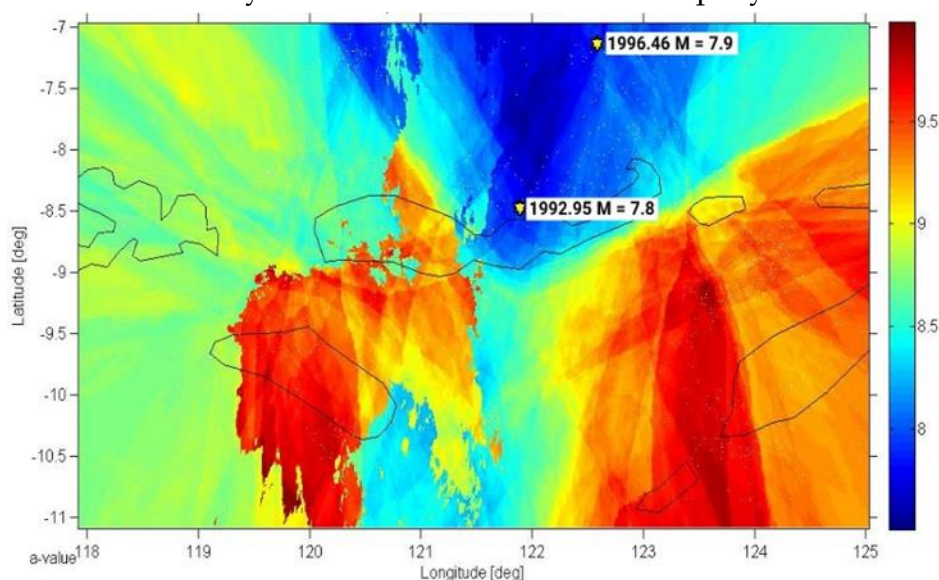
gempa bumi yang berarti lempeng yang saling menunjam sehingga menimbulkan gempa dengan kekuatan cukup besar yang mampu menjalar ke segala arah bersumber dari titik penunjaman (Widada, 2016). Episentrum gempa dapat digambarkan satu dimensi dan dua dimensi (Suharna et al., 2018), karena nilai dimensi fraktal 2,38 maka sumber distribusi gempa mendekati dua dimensi berada pada patahan utama.

Variasi Spasial a-Value dan b-Value

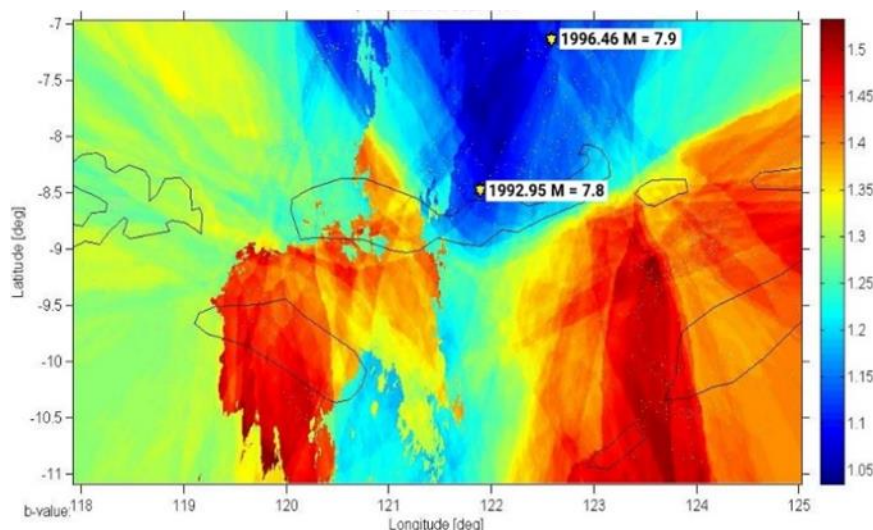
Variasi spasial parameter seismotektonik yaitu *a-value* dan *b-value* melalui ilustrasi gradasi warna peta, pemetaan ini mengindikasikan regime *stress* disepanjang zona patahan atau subduksi (Rohadi, 2015). Gambar 4 merepresentasikan variasi spasial *a-value* dan *b-value* yang dibangkitkan pada episenter Nusa Tenggara Timur periode 1990-2020 menggunakan estimasi *maximum curvature* dengan interval minimum kejadian kurang dari 5 M_c yang direpresentasikan melalui aplikasi ZMAP 6.0

Kuantitas *a-value* menunjukkan tinggi rendahnya aktivitas seismotektonik suatu wilayah berdasarkan jumlah kejadian gempa yang bergantung pada volume dan time window (Harimei et al., 2017). Variasi spasial *a-value* (Gambar 4) menunjukkan bahwa *a-value* wilayah Nusa Tenggara Timur berkisar $7,5 \leq a \leq 10$. Parameter *a-value* yang tinggi mengindikasikan tingkat aktivitas seismik relatif tinggi di wilayah tersebut. Wilayah dengan *a-value* yang tinggi berkorelasi terhadap *b-value* yang tinggi, begitupun sebaliknya. *A-value* dan *b-value* yang tinggi menunjukkan peluang gempa terhadap magnitudo cenderung kecil di wilayah tersebut dan memiliki periode ulang yang relatif lama. Wilayah Nusa Tenggara Timur rentan terjadinya gempa bumi karena berada di jalur zona subduksi dan peluang gempa bumi dengan akumulasi stress rendah.

Parameter seismotektonik yang dipengaruhi oleh karakteristik batuan di suatu wilayah disebut *b-value*. Variasi spasial *b-value* (Gambar 5) menunjukkan bahwa *b-value* wilayah Nusa Tenggara Timur berkisar $1,04 \leq b \leq 1,55$. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki struktur penyusun batuan yang tua



Gambar 4. Peta variasi spasial *a-value* di wilayah Nusa Tenggara Timur tahun 1990-2020.



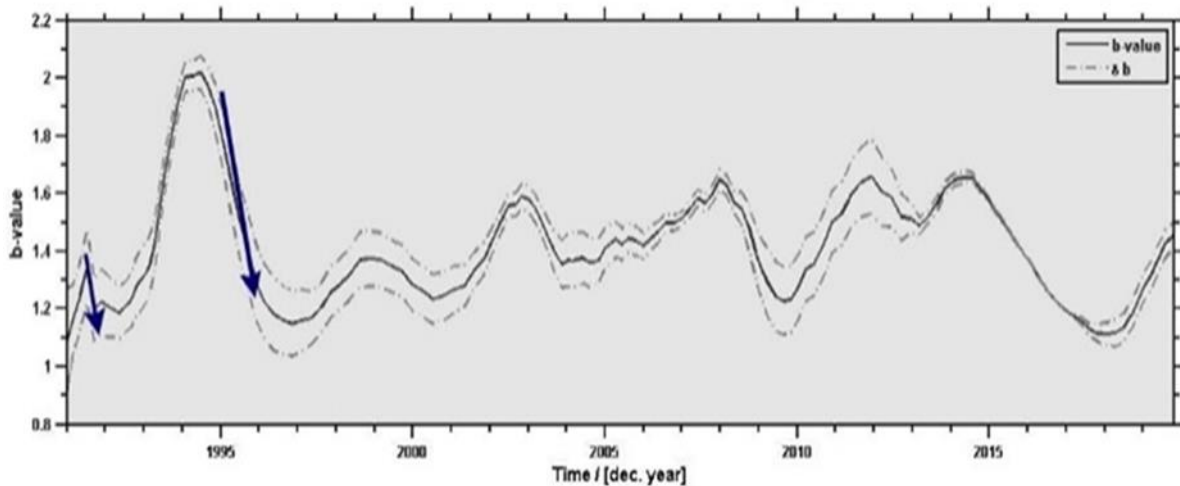
Gambar 5. Peta variasi spasial b -value di wilayah Nusa Tenggara Timur tahun 1990-2020.

berumur Plio-Plistosen sekitar 11.500 tahun yang lalu (Rahardiawan & Purwanto, 2016) dan mudah rapuh ($b > 1$) sehingga aktivitas seismik yang terjadi akan semakin besar. Parameter b -value yang diperoleh menunjukkan indikator kerapuhan suatu batuan relatif tinggi sehingga berkorelasi dengan tekanan relatif rendah. Dengan kata lain, wilayah yang memiliki karakteristik batuan heterogen yang besar mudah mengalami keretakan dan relatif tidak mampu menahan akumulasi *stress* yang tinggi (Linda *et al.*, 2019).

Pada Gambar 5, bintang kuning menunjukkan wilayah yang menjadi episentrum gempa M_w 7,8 (Desember 1992) di Laut Flores. Wilayah ini melintasi busur belakang zona transisi sekitar Busur Sunda dan Busur Banda yang bertabrakan dengan tepi benua Australia (Beckers & Lay, 1995), selain itu daerah yang menjadi episenter gempa M_w 7,9 (Juni 1996) di Laut Flores akibat adanya keruntuhan pada batas struktural, termal atau fase dari konsentrasi tegangan tinggi sehingga memicu pelepasan momen utama di sepanjang zona arah timur-tenggara (Tinker *et al.*, 1998). Wilayah berwarna biru tua menunjukkan b -value yang relatif rendah berkorelasi dengan tekanan yang relatif tinggi pula, karena adanya energi yang tersimpan dalam batuan permukaan sehingga berpotensi terjadi gempa bumi magnitudo besar relatif tinggi.

Variasi Temporal b -Value

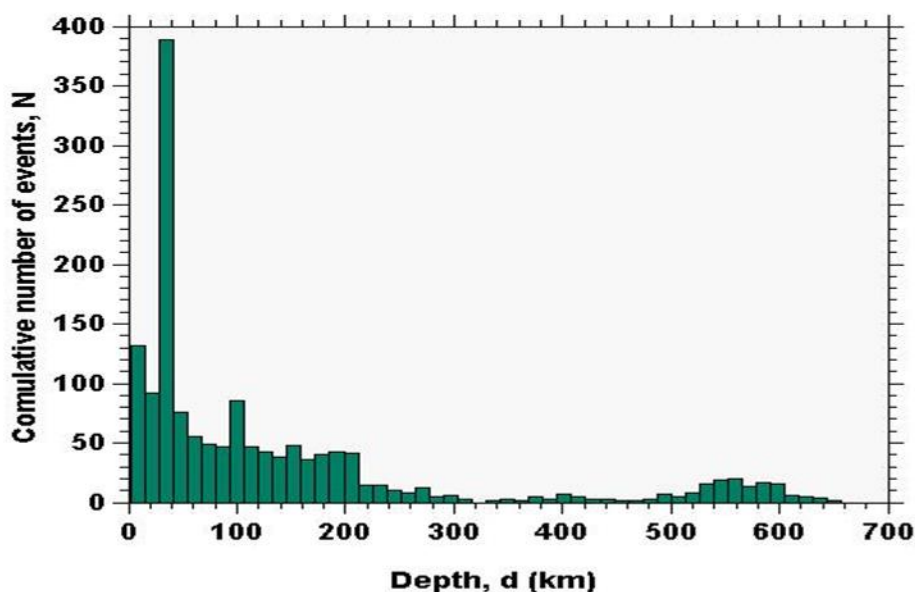
Variasi temporal b -value menunjukkan grafik menurun kebawah sebelum terjadinya gempa dengan magnitudo besar seperti Gambar 6. Tanda panah ke arah bawah mengindikasikan penurunan b -value sebelum terjadinya gempa bumi pada tahun 1992 dan 1996, potensi fluktuasi b -value dapat di jadikan precursor sebelum gempa dibangkitkan. Hasil grafik b -value with time minimum $\approx 1,1$, sedangkan b -value konstan ≈ 1 (Godano, Lippiello, & De Arcangelis, 2014), di mana wilayah Nusa Tenggara Timur merepresentasikan berada di sepanjang zona subduksi yaitu daerah busur depan lempeng Australia bergerak menuju utara (Thene, 2016) dan memiliki struktur empat jenis batuan (Rahardiawan & Purwanto, 2016). Kondisi tersebut menyebabkan peluang kerentanan batuan Nusa Tenggara Timur cukup tinggi



Gambar 6. Grafik variasi b-value terhadap waktu di wilayah Nusa Tenggara Timur periode 1990-2020.

sehingga memicu terjadinya potensi gempa bumi. Adanya tipe patahan secara langsung dibangkitkan oleh penunjaman antar lempeng Indo-Australia yang berorientasi pada magnitudo tertentu akan bergantung pada *stress* suatu wilayah, sehingga berpengaruh pada *b-value* (Rohadi, 2015).

Sumber gempa dapat diketahui dengan menggunakan aplikasi ZMAP 6.0 berdasarkan variasi kedalaman pusat gempa tektonik seperti gempa dalam, gempa sedang atau gempa dangkal di Nusa Tenggara Timur yang ditunjukkan Gambar 7. Berdasarkan gambar 7, sebagian besar titik pusat gempa Nusa Tenggara Timur berada di kedalaman < 100 km pada frekuensi seismik tertinggi yakni 40 km dalam permukaan bumi. Hasil diagram batang distribusi kedalaman bahwa Nusa Tenggara Timur termasuk dalam zona kedalaman dangkal yaitu ≤ 70 km (Sippl et al., 2013). Menurut Gambar 2 frekuensi kejadian gempa paling tinggi $M_w \approx 4,7$ dan Gambar 3 parameter *b-value* $\approx 1,19$ (19% mengindikasikan lebih tinggi dari *b-value* konstan)



Gambar 7. Diagram batang pola variasi sebaran kedalaman gempa di Nusa Tenggara Timur tahun 1990-2020.

maka dapat di analisis bahwa wilayah Nusa Tenggara Timur memiliki struktur batuan heterogen dengan akumulasi *stress* relatif rendah.

Selain itu, histogram kedalaman (Gambar 7) mengilustrasikan bagian ujung kiri adalah hiposenter gempa dangkal yang sering terjadi di dekat permukaan bumi, sedangkan ujung bagian kanan adalah hiposenter gempa dalam (≥ 300 km) jauh di bawah permukaan bumi yang relatif jarang terjadi gempa. Hal ini perlu adanya upaya mitigasi gempa bumi tektonik yang kemungkinan terjadi secara tiba-tiba, mitigasi yang dapat dilakukan seperti pembekalan pengetahuan kepada pemerintah maupun masyarakat lokal melalui sosialisasi gempa bumi pra bencana, saat bencana, dan pasca bencana, dengan memperbaiki infrastruktur bangunan tahan gempa. Adapun kearifan lokal yang dibangun sejak dini menjadi salah satu upaya mitigasi yang diperoleh dari pengalaman orang terdahulu sehingga menjadi landasan masyarakat setempat apabila terjadi tanda-tanda gempa bumi. Kegiatan tersebut sangat berguna agar dapat meminimalisir resiko akibat gempa bumi seperti kerugian material, kerugian korban jiwa, kerugian psikis, dan kerugian struktural.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data seismik Nusa Tenggara Timur dari tahun 1990 hingga 2020, diperoleh parameter *a-value* dan *b-value* sebagai *precursor* utama peluang potensi gempa bumi dengan distribusi frekuensi dan magnitudo gempa sesuai teori Gutenberg-Richter yang menjelaskan mengenai tingkat aktivitas seismik dan tingkat kerapuhan batuan wilayah tersebut. Dalam penelitian ini menggunakan data katalog USGS dengan metode *maximum likelihood* pada program ZMAP 6.0. Dari data dan analisis dapat disimpulkan bahwa wilayah Nusa Tenggara Timur memiliki tingkat aktivitas seismik relatif tinggi ditinjau dari *a-value* dan *a-value (annual)* memiliki korelasi relatif tinggi dengan tingkat *stress* rendah ditunjukkan *b-value* > 1 di mana sumber distribusi gempa berada pada patahan utama sehingga berpotensi terjadinya gempa tektonik bahkan tsunami. Oleh sebab itu, variabel parameter *a-value* dan *b-value* dapat dijadikan sebagai salah satu *precursor* mitigasi bencana gempa bumi jangka panjang melalui dedikasi ke masyarakat lokal melalui sosialisasi gempa bumi pra bencana, saat bencana, dan pasca bencana yang tetap mempertimbangkan kearifan lokal yang dianut masyarakat serta memperbaiki infrastruktur tahan gempa untuk mengurangi resiko gempa bumi tektonik seperti korban jiwa, kerugian material, kerugian fisik, dan psikis.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih untuk semua pihak terkait yakni website USGS (*United States Geological Survey*) yang telah menyediakan katalog gempa, *software* Matlab R2010a yang mendukung program ZMAP 6.0 sebagai implementasi data seismotektonik, serta ucapan terima kasih ini tak luput kepada *reviewers* yang telah memberi masukan yang berguna untuk kesempurnaan artikel penelitian ini.

Referensi

Ardiansyah, S. (2014). Model Prakiraan Kejadian Gempabumi Di Daerah Bengkulu. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 15(2), 137-146. <https://doi.org/10.31172/jmg.v15i2.183>

- Beckers, J., & Lay, T. (1995). Very broadband seismic analysis of the 1992 Flores, Indonesia, earthquake (Mw = 7.9). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 100(B9), 18179–18193. <https://doi.org/10.1029/95JB01689>
- Bidang, A. W. (2020). Pengaruh Penambahan Stasiun-Stasiun Seismik (STPI, TSPI, Dan IWPI) Terhadap Analisa Penentuan Parameter Gempa Bumi Studi Kasus Gempa Bumi Di Wilayah Papua Barat Tahun 2019 – 2020. *Biolearning Journal*, 7(2), 10–13.
- BMKG. (2017). *Gempa Bumi*. <http://balai3.denpasar.bmkg.go.id/tentang-gempa>
- Conterminous U.S. (n.d.). *Search Earthquake Catalog*. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
- Godano, C., Lippiello, E., & de Arcangelis, L. (2014). Variability of the b value in the Gutenberg–Richter distribution. *Geophysical Journal International*, 199(3), 1765–1771. <https://doi.org/10.1093/gji/ggu359>
- Godano, C., Lippiello, E., & De Arcangelis, L. (2014). Variability of the b value in the Gutenberg–Richter distribution. *Geophysical Journal International*, 199(3), 1765–1771. <https://doi.org/10.1093/gji/ggu359>
- Harimei, B., Massinai, M. A., & -, M. (2017). Analisis Seismisitas Pada Daerah Sulawesi Utara. *Jurnal Geolebes*, 1(2), 53. <https://doi.org/10.20956/geolebes.v1i2.2292>
- Kadirioğlu, F. T., & Kartal, R. F. (2016). The new empirical magnitude conversion relations using an improved earthquake catalogue for Turkey and its near vicinity (1900–2012). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 25(4), 300–310. <https://doi.org/10.3906/yer-1511-7>
- Kayal, J. R. (2008). *Microearthquake Seismology and Seismotectonics of South Asia*. Springer Netherlands. <https://books.google.co.id/books?id=POLg0eGi3EAC>
- Linda, Ihsan, N., & Palloan, P. (2019). Analisis Distribusi Spasial Dan Temporal Seismotektonik Berdasarkan Nilai B-Value Dengan Analysis Of Spatial And Temporal Distribution Of Seismotectonics Based On B-Value Using The Likelihood Method On Java Pendahuluan Gempa bumi sering melanda Indonesia. *April*, 16–31.
- Madlazim, M. (2013). Kajian Awal Tentang b Value Gempa Bumi Di Sumatra. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya (JPFA)*, 3(1), 41. <https://doi.org/10.26740/jpfa.v3n1.p41-46>
- Mignan, A., & Woessner, J. (2012). *Theme IV – Understanding Seismicity Catalogs and their Problems Estimating the magnitude of completeness for earthquake catalogs*. *April*. <https://doi.org/10.5078/corssa-00180805>.
- Murtianto, H. (2016). Potensi Kerusakan Gempa Bumi Akibat Pergerakan Patahan Sumatera Di Sumatera Barat Dan Sekitarnya. *Jurnal Geografi*, 10(1). <https://doi.org/10.17509/gea.v10i1.1667>
- Mutiarani, A., Madlazim, & Prastowo, T. (2013). Studi b-Value untuk Pengamatan Seismisitas Wilayah Pulau Jawa Periode 1964-2012. *Jurnal Fisika*, 02(02), 1–5.
- Pasau, G., -, F., & Tamuntuan, G. H. (2017). Pengamatan Seismisitas Gempa Bumi Di

- Wilayah Pulau Sulawesi Menggunakan Perubahan Nilai a-b. *Jurnal MIPA*, 6(1), 31. <https://doi.org/10.35799/jm.6.1.2017.15988>
- Popandopoulos G. A., & Chatziioannou E. (2014). Gutenberg-Richter Law Parameters Analysis Using the Hellenic Unified Seismic Network Data Through FastBee Technique. *Earth Sciences*, 3(5), 122. <https://doi.org/10.11648/j.earth.20140305.12>
- Putri, yanuarsih T., Heryandoko, N., Wandono, Marrulak, R., Suwardi, Zulfikar, Yuniarto, B., Pary, L., & Kamaruddin, B. (2016). *Relokasi Dan Distribusi B-Value Gempabumi Swarm Jailolo , Halmahera Barat Earthquake Relocation And Distribution of b-Value Of The Jailolo*. 17(3), 199–206.
- Rahardiawan, R., & Purwanto, C. (2016). Struktur Geologi Laut Flores, Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Geologi Kelautan*, 12(3), 153. <https://doi.org/10.32693/jgk.12.3.2014.256>
- Risanti, H., & Prastowo, T. (2021). Estimasi Parameter a-value dan b-value Untuk Analisis Studi Seismisitas dan Potensi Bahaya Bencana Gempa Tektonik di Wilayah Maluku Utara. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 10(1), 1–10.
- Rohadi, S. (2015a). Distribusi Spasial Dan Temporal Parameter Seismotektonik Sebagai Indikasi Tingkat Aktivitas Kegempaan Di Wilayah Papua. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 16(3), 189–198. <https://doi.org/10.31172/jmg.v16i3.289>
- Sili, P. D., & Fauzi, A. (2013). *Penentuan Seismisitas dan Tingkat Risiko Gempa Bumi*. Universitas Brawijaya Press. <https://books.google.co.id/books?id=WrxjDwAAQBAJ>
- Sippl, C., Schurr, B., Yuan, X., Mechie, J., Schneider, F. M., Gadoev, M., Orunbaev, S., Oimahmadov, I., Haberland, C., Abdybachaev, U., Minaev, V., Negmatullaev, S., & Radjabov, N. (2013). Geometry of the Pamir-Hindu Kush intermediate-depth earthquake zone from local seismic data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118(4), 1438–1457. <https://doi.org/10.1002/jgrb.50128>
- Sokolov, V., Zahran, H. M., Youssef, S. E. H., El-Hadidy, M., & Alraddadi, W. W. (2017). Probabilistic seismic hazard assessment for Saudi Arabia using spatially smoothed seismicity and analysis of hazard uncertainty. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15(7), 2695–2735. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0075-5>
- Srivastava, K., Rani, V., & Srinagesh, D. (2014). A review of b-value imaging and fractal dimension studies in the Andaman Sumatra subduction. *Natural Hazards*, 77. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1143-2>
- Suharna, A., Palloan, P., & Arsyad, M. (2018). *Analisa Fraktal Dan Rasio Slip Pulau Sumatera Berdasarkan Variasi Parameter Tektonik*. 1–4.
- Tang, B. Y. (2016). Pemetaan Nilai Koefisien Seismik Di Daerah Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Fisika*, 1(2), 78–83.
- Thene, J. (2016). *Mitigasi Bencana Gempa Bumi Berbasis Kearifan Lokal Masyarakat Rote Kabupaten Rote Ndao Provinsi Nusa Tenggara Timur*. 1(2), 102–106.
- Tinker, M. A., Beck, S. L., Jiao, W., & Wallace, T. C. (1998). Mainshock and aftershock
-

analysis of the June 17, 1996, deep Flores Sea earthquake sequence: Implications for the mechanism of deep earthquakes and the tectonics of the Banda Sea. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 103(B5), 9987-10001. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/97JB03533>

Utomo, D. P., & Purba, B. (2019). Penerapan Datamining pada Data Gempa Bumi Terhadap Potensi Tsunami di Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Riset Information Science (SENARIS)*, 1(September), 846. <https://doi.org/10.30645/senaris.v1i0.91>

Wekke, I. S. (2021). *Mitigasi Bencana*. Penerbit Adab. <https://books.google.co.id/books?id=l3Y-EAAAQBAJ>

Widada, S. (2016). Analisis Dimensi Fraktal Kejadian Gempa Di Laut Banda Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 19(2), 108. <https://doi.org/10.14710/jkt.v19i2.837>