

Analisis Pola Seismisitas Berdasarkan Nilai *B-Value* di Wilayah Laut Flores Menggunakan Zmap dan Matlab

¹Dwi Azisylarina, ¹Fachrul Rosidi, ¹Lia Nurfitriana Wati, ¹Rahmiati Munir, ²Arif Haryono, ³Muh. Imran T

¹Mahasiswa Program Studi Geofisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

²Program Studi Fisika, Universitas Mulawarman

³Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah IV Makassar

*Email : rahmiati@fmipa.unmul.ac.id

ABSTRACT

The Flores Sea, located within Indonesia's territorial waters, is an area with high volcanic and seismic activity due to its position within the Pacific Ring of Fire. The complex movement of tectonic plates frequently triggers earthquakes in this region. This study was conducted to analyze earthquake potential in three segments of the Flores Sea area based on b-value and to examine earthquake events with magnitudes ≥ 7.4 within the period from 2000 to 2023 using Matlab and Zmap applications. From the analysis, it was found that Segment 1 has a higher potential for major earthquakes due to its low b-value. Meanwhile, Segment 2 shows a b-value below 1.19, indicating a significant potential for major earthquakes. In contrast, Segment 3 exhibits a b-value above 1.11, suggesting a lower likelihood of large-scale earthquakes. However, significant earthquakes can still occur, such as the one in Lospalos in December 2021 with a magnitude of 7.6. This demonstrates that, despite lower risk based on b-value, major earthquakes remain possible. Overall, from 2000 to 2023 in the Flores Sea region, only two events were recorded with magnitudes exceeding ≥ 7.4 : one in Segment 2 with a magnitude of 7.5 in 2005, and another in Segment 3 with a magnitude of 7.6 in 2021.

Keywords: *Flores Sea, B-value, Large Earthquake Potential, Seismic Zone of Indonesia, Earthquake Risk Mitigation.*

ABSTRAK

Laut Flores, yang terletak di wilayah perairan Indonesia, merupakan area dengan aktivitas vulkanik dan seismik yang tinggi karena berada di kawasan Cincin Api Pasifik. Pergerakan kompleks lempeng tektonik menyebabkan seringnya terjadinya gempa bumi di wilayah ini. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis potensi gempa di tiga segmen wilayah Laut Flores berdasarkan nilai b-value dan menganalisis kejadian gempa dengan magnitudo ≥ 7.4 dari rentang waktu tahun 2000-2023, di mana menggunakan aplikasi Matlab dan Zmap. Dari analisis didapatkan bahwa, Segmen 1 memiliki potensi terjadinya gempa besar karena b-value yang rendah. Adapun untuk Segmen 2 menunjukkan b-value di bawah 1.19 mengindikasikan potensi terjadinya gempa besar. Terakhir Segmen 3 menunjukkan b-value di atas 1.11 mengindikasikan potensi terjadinya gempa besar yang lebih kecil. Namun, gempa besar tetap terjadi seperti di Lospalos pada Desember 2021 dengan magnitudo 7.6. Ini menunjukkan bahwa meskipun potensi berdasarkan b-value rendah, gempa besar tetap dapat terjadi. Secara keseluruhan dari tahun 2000-2023 di Laut Flores gempa dengan magnitudo ≥ 7.4 hanya

terdapat dua kejadian yaitu tepatnya di Segmen 2 dengan magnitudo 7.5 pada tahun 2005 dan Segmen 3 dengan magnitudo 7.6 pada tahun 2021.

Kata Kunci: Laut Flores, B-Value, Potensi Gempa Besar, Zona Seismik Indonesia, Mitigasi Risiko Gempa

1. PENDAHULUAN

Indonesia terletak di pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Eurasia, Australia, dan Pasifik, yang secara signifikan mempengaruhi kondisi tektonik di wilayah ini. Bencana alam yang disebabkan oleh aktivitas seismik, seperti gempa bumi, dapat memicu perubahan lingkungan yang signifikan dalam waktu yang sangat singkat. Bencana ini berpotensi merusak topografi wilayah, mengganggu produksi pertanian, menghancurkan permukiman, infrastruktur, dan kawasan industri. Selain itu, bencana tersebut juga dapat mengakibatkan korban jiwa. Di antara berbagai jenis bencana besar, gempa bumi termasuk salah satu yang paling membahayakan kehidupan manusia. Berdasarkan *Laporan Kerugian Ekonomi, Kemiskinan, dan Bencana* tahun 1998–2007, gempa bumi tercatat sebagai bencana alam dengan rasio kematian per kejadian tertinggi di dunia [1].

Salah satu wilayah di Indonesia dengan aktivitas seismik yang sangat tinggi adalah Laut Flores dan Pulau Flores, yang terletak di Nusa Tenggara Timur. Kawasan ini juga dipengaruhi oleh keberadaan *back-arc thrust fault*, yang menjadi salah satu sumber deformasi geologi utama. Struktur geologi tersebut menciptakan lipatan pada batuan yang mengakibatkan tingginya tingkat kerentanan terhadap gempa bumi. Berdasarkan catatan sejarah, Pulau Flores telah mengalami gempa bumi besar dengan magnitudo lebih dari 7 pada tahun 1992, 1996, 2015, dan 2021. Salah satu gempa yang paling merusak terjadi pada tahun 1992 dengan magnitudo 7,9 yang memicu tsunami. Tsunami ini mengakibatkan kerusakan yang sangat besar, bahkan melebihi dampak gempa di Nikaragua, dengan korban jiwa mencapai

lebih dari 2.000 orang serta kerusakan masif pada infrastruktur. Kerusakan yang begitu besar menunjukkan betapa pentingnya perencanaan mitigasi bencana yang terstruktur dan efektif [2].

Untuk itu salah satu parameter penting untuk menganalisis seismisitas gempa yaitu dengan analisis nilai *b-value*, dimana menggambarkan hubungan antara frekuensi dan magnitudo gempa bumi. Parameter nilai B-value menjadi sangat penting dalam memahami pola distribusi seismik di suatu daerah, mengidentifikasi zona dengan risiko tinggi, serta mendukung pengambilan keputusan dalam upaya mitigasi bencana [3].

Untuk itu penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis potensi gempa di tiga segmen wilayah laut Flores berdasarkan nilai *b-value* dan menganalisis kejadian gempa dengan magnitudo ≥ 7.4 dari rentang waktu 23 tahun yaitu mulai dari tahun 2000-2023.

2. MATERI DAN METODE

2.1 Wilayah Seismisitas di Indonesia

Indonesia berada di wilayah teritorial yang rentan terhadap bencana seismik. Sepanjang batas wilayah teritorial konvergensi tektonik terjadi di mana Lempeng Indo-Australia bergerak ke utara menunjam lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik bergerak ke arah barat menekan wilayah timur Indonesia, pertemuan tersebut menghasilkan jalur zona subduksi yang dapat memicu terjadinya proses geologi seperti gempa bumi dan gelombang tsunami, salah satu kawasan teritorial Indonesia yang memiliki aktivitas seismik yang tinggi yaitu Nusa Tenggara Barat seperti Laut Flores dan Nusa Tenggara Timur [4].

2.2 Nilai *B-value* dalam Hubungan Frekuensi dan Magnitudo

Pola seismisitas dan tektonik suatu wilayah dapat diketahui melalui parameter nilai *b-value* yang menggambarkan hubungan frekuensi dan magnitudo atau *magnitude- frequency relation* (MFR) yang dapat dijabarkan oleh Gutenberg dan Richter pada tahun 1944 melalui persamaan:

$$\log N = a - bM$$

Keterangan:

- *N* adalah jumlah gempa bumi dengan magnitudo lebih besar dari atau sama dengan *M*
- *a* adalah konstanta yang berkaitan dengan tingkat aktivitas seismik.
- *b* adalah nilai *b-value* yang menunjukkan kemiringan dari distribusi magnitudo.

Nilai *b-value* dapat bervariasi tergantung pada kondisi tektonik dan geologi suatu wilayah. Semakin rendah *b-value*, semakin besar kemungkinan terjadinya gempa besar di wilayah tersebut. Nilai *b-value* sering digunakan dalam studi seismik untuk menilai potensi risiko gempa bumi [5].

2.3 Nilai *B-value*

Untuk mengetahui potensi terjadinya gempa bumi di suatu wilayah dapat dideteksi dengan mengetahui parameter seismotektonik yang ditunjukkan dengan nilai-*b* atau *b-value*. *B-value* adalah parameter tektonik yang dapat mencerminkan akumulasi *stress* dan tingkat kerapuhan batuan pada suatu wilayah [6].

Variasi Spasial pada *b-value* dapat menunjukkan lokasi daerah penelitian yang berpotensi terjadi gempa yang signifikan, *b-value* yang tinggi mencerminkan tingkat *shear stress* di wilayah tersebut rendah, dan jika *b-value* rendah berkorelasi dengan tingkat *shear*

stress yang tinggi. Ini dikarenakan wilayah yang memiliki *b-value* yang tinggi menyimpan kerapuhan batuan yang rendah sehingga *stress* yang disimpan akan lebih mudah dilepaskan dalam bentuk gelombang seismik. Sehingga dengan Nilai *b-value* yang rendah berpotensi menghasilkan gempa besar, sedangkan nilai yang tinggi berpotensi dominasi gempa kecil [6].

2.4 Studi Terdahulu

Beberapa studi sebelumnya yang relevan meliputi:

- Hidayat *et al.* mempelajari karakteristik gempa bumi di wilayah ini dan menemukan bahwa Laut Flores merupakan salah satu daerah dengan frekuensi gempa yang tinggi di Indonesia. Penelitian ini menekankan pentingnya pemantauan seismik berkelanjutan di wilayah tersebut [7].
- Muksin *et al.* melakukan analisis spasial dan temporal dari gempa bumi di wilayah ini untuk memahami pola distribusi gempa dan mekanisme tektonik yang mendasari. Mereka menemukan bahwa aktivitas seismik di Laut Flores terkait erat dengan dinamika subduksi lempeng [8]
- Peterson *et al.* menggunakan data seismik untuk memodelkan potensi gempa besar di zona subduksi ini dan implikasinya terhadap mitigasi bencana. Hasil penelitian ini memberikan panduan penting untuk perencanaan mitigasi bencana di wilayah Laut Flores [9].

2.5 Penggunaan *Software Zmap* untuk Memetakan Wilayah Seismisitas Penelitian

Data seismisitas wilayah penelitian meliputi data statistik yang terdiri dari *Latitude*, *Longitude*, Waktu, *Magnitude*, serta kedalaman yang diolah menggunakan *software Zmap* untuk

mendapatkan nilai *b-value* yang dapat mengidentifikasi dapat mencerminkan akumulasi *stress* lokal sehingga dapat menjadi parameter kegempaan yang didapat dari frekuensi relatif dari jumlah kejadian gempa besar dan gempa kecil di suatu wilayah [10].

2.6 Metode Penelitian

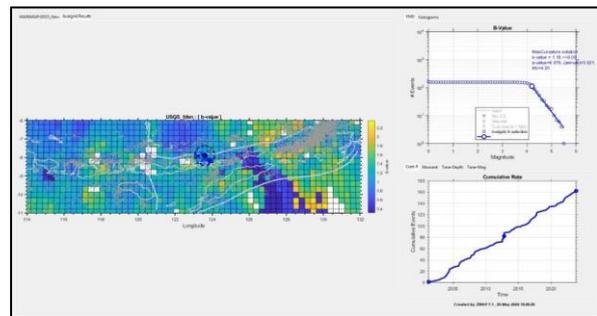
Data pada penelitian ini diambil dari katalog *United States Geological Survey* (USGS) dengan rentang waktu dari tahun 2000 sampai 2023. Data tersebut mencakup informasi magnitudo, kedalaman, dan koordinat gempa. *Software* Matlab dan Zmap Laut Flores digunakan untuk memisahkan data gempa, perhitungan parameter *b-value*, dan pemetaan spasial.

Laut Flores menjadi subjek dari penelitian ini, yang mana untuk koordinatnya 6° LS hingga 11° LS dan 114° BT hingga 132° BT. Laut Flores merupakan bagian dari zona subduksi aktif yang mana Lempeng Indo-Australia menunjat ke bawah Lempeng Eurasia. Wilayah ini memiliki potensi gempa bumi dari magnitudo skala kecil hingga besar.

Wilayah yang telah ditentukan tersebut dibagi menjadi 3 segmen untuk mempermudah analisis aktivitas seismik dengan fokus memperhatikan magnitudo gempa ≥ 7.4 . Lalu *b-value* digunakan sebagai parameter untuk menginterpretasikan hubungan antara magnitudo dengan frekuensi gempa. Ini akan memberikan indikasi akumulasi *stress* pada batuan di wilayah tersebut. Akumulasi *stress* yang tinggi ditunjukkan dengan *b-value* yang rendah, sedangkan *stress* yang lebih rendah ditunjukkan dengan *b-value* yang lebih tinggi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

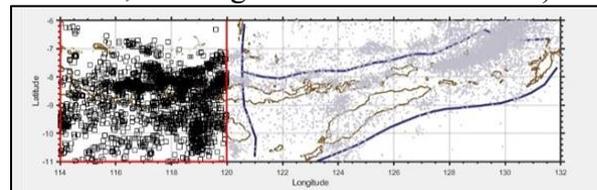
3.1 Hasil



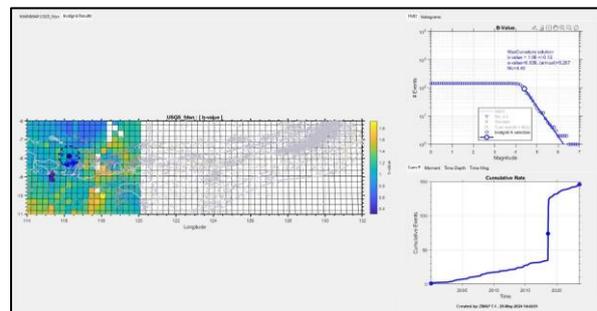
Gambar 3.1 Wilayah Laut Flores dan Nilai *b-value* Keseluruhan

Dari segmen wilayah menunjukkan Laut Flores pada koordinat 6° LS hingga 11° LS dan 114° BT hingga 132° BT memiliki variasi spasial *b-value* sebesar 0.4 – 2.3. Pada kasus ini wilayah Laut Flores dibagi menjadi 3 segmen wilayah dan kemudian melakukan analisis nilai *b-value* dan *event* gempa dengan magnitudo ≥ 7.4 dari tahun 2000-2023.

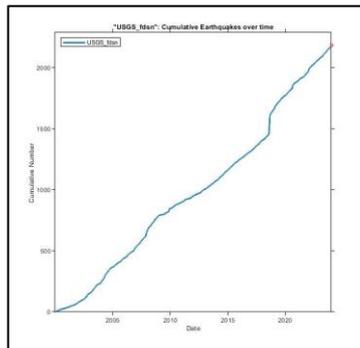
1. Segmen 1 (Pulau Bali, Nusa Tenggara Barat, dan Bagian Barat Pulau Sumba)



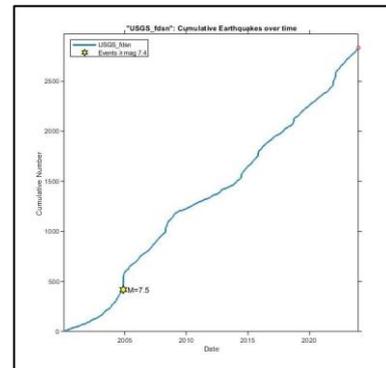
Gambar 3.2 Segmen 1



Gambar 3.3 Nilai *b-value* Segmen 1



Gambar 3.4 Plot Time Series Event Gempa Segmen 1 Magnitudo ≥ 7.4

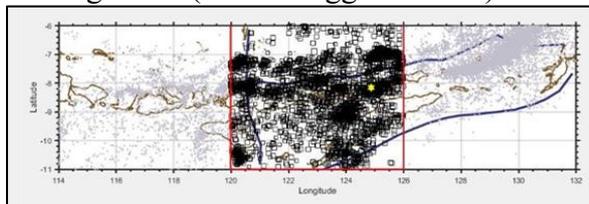


Gambar 3.7 Plot Time Series Event Gempa Segmen 2 Magnitudo ≥ 7.4

Segmen 1 memiliki nilai spasial *b-value* 0.4 – 1.8 dengan nilai tertinggi antara 0.03 – 1.13 dan nilai terendah antara 0.12 – 1.06, nilai *b-value* rendah mengindikasikan berpotensi terjadinya gempa besar. Untuk Segmen 1 tidak terdapat magnitudo gempa ≥ 7.4 .

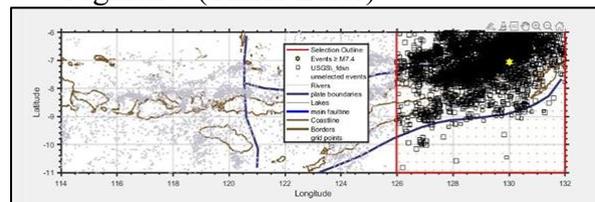
Segmen 2 memiliki nilai spasial *b-value* 0.5 – 1.8 dengan nilai tertinggi antara 0.03 – 1.19 dan nilai terendah antara 0.10 – 0.90, *b-value* di bawah 1.19 berarti *b-value* rendah mengindikasikan berpotensi terjadinya gempa besar. Segmen 2 terdapat event gempa dengan magnitudo ≥ 7.4 tepatnya magnitudo 7.5 yang terjadi pada tahun 2005.

2. Segmen 2 (Nusa Tenggara Timur)

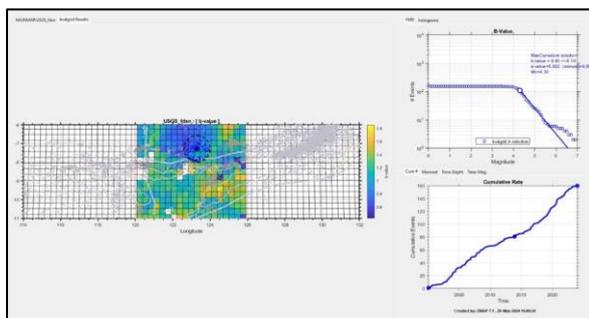


Gambar 3.5 Segmen 2

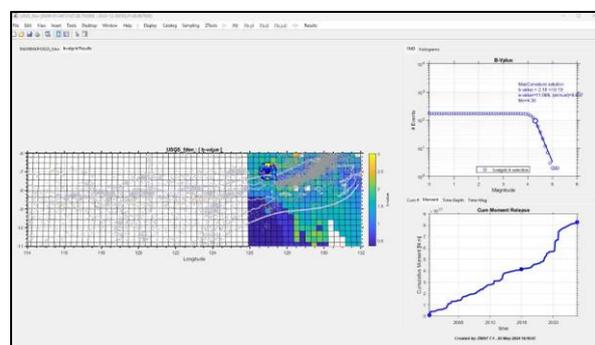
3. Segmen 3 (Timor Leste)



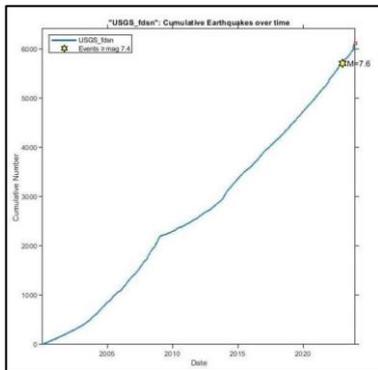
Gambar 3.8 Segmen 3



Gambar 3.6 Nilai *b-value* Segmen 2



Gambar 3.9 Nilai *b-value* Segmen 3



Gambar 3.10 Plot Time Series Event Gempa Segmen 3 Magnitudo ≥ 7.4

Segmen 3 memiliki nilai spasial b -value 0.5 – 3 dengan nilai tertinggi 0.19 – 2.10 dan nilai terendah antara 0.01 – 1.11, nilai b -value di atas 1.11 berarti b -value tinggi mengindikasikan potensi gempanya kecil. Adapun gempa besar yang pernah terjadi yaitu, terjadinya gempa besar seperti di Lospalos, Timor Leste pada tahun 2021 di bulan Desember dengan magnitudo 7.6 dengan titik koordinat 7.548°S 127.577°E yang berada pada kedalaman 165.5 km.

3.2 Pembahasan

Berdasarkan analisis b -value di tiga segmen wilayah Laut Flores, menunjukkan bahwa Segmen 1 (Pulau Bali, Nusa Tenggara Barat, dan Bagian Barat Pulau Sumba) memiliki potensi terjadinya gempa besar karena nilai b -value yang rendah. Namun, dalam periode yang diamati, tidak terdapat gempa dengan magnitudo di atas 7.4 di wilayah ini. Ini menunjukkan bahwa meskipun ada potensi, gempa besar belum terjadi dalam periode tersebut. Adapun untuk Segmen 2 (Nusa Tenggara Timur) menunjukkan nilai b -value di bawah 1.19 mengindikasikan potensi terjadinya gempa besar. Lalu Segmen 3 (Timor Leste) menunjukkan nilai b -value di atas 1.11 mengindikasikan potensi terjadinya gempa besar yang lebih kecil. Namun, gempa besar tetap terjadi seperti di Lospalos pada Desember 2021 dengan magnitudo 7.6. Ini menunjukkan bahwa meskipun potensi

berdasarkan nilai b -value rendah, gempa besar tetap dapat terjadi.

Secara keseluruhan, analisis nilai b -value menunjukkan bahwa wilayah dengan nilai b -value yang lebih rendah cenderung memiliki potensi yang lebih besar untuk terjadinya gempa besar. Namun, kejadian gempa besar juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang perlu diperhatikan. Dari tahun 2000-2023 di Laut Flores kejadian gempa dengan magnitudo ≥ 7.4 hanya terdapat dua event yaitu tepatnya di Segmen 2 dengan magnitudo 7.5 pada tahun 2005 dan Segmen 3 dengan magnitudo 7.6 pada tahun 2021. Ini berarti dari tahun 2000-2023 rata-rata event gempa di wilayah Laut Flores berada di bawah magnitudo < 7.4

4. KESIMPULAN

1. Dari analisis didapatkan bahwa, segmen 1 memiliki potensi terjadinya gempa besar karena nilai b -value yang rendah. Adapun untuk Segmen 2 menunjukkan Nilai b -value di bawah 1.19 mengindikasikan potensi terjadinya gempa besar. Adapun Segmen 3 menunjukkan nilai b -value di atas 1.11 mengindikasikan potensi terjadinya gempa besar yang lebih kecil. Namun, gempa besar tetap terjadi seperti di Lospalos pada Desember 2021 dengan magnitudo 7.6. Ini menunjukkan bahwa meskipun potensi berdasarkan nilai b -value rendah, gempa besar tetap dapat terjadi.
2. Secara keseluruhan dari tahun 2000-2023 di Laut Flores kejadian gempa dengan magnitudo ≥ 7.4 hanya terdapat dua event yaitu tepatnya di Segmen 2 dengan magnitudo 7.5 pada tahun 2005 dan Segmen 3 dengan magnitudo 7.6 pada tahun 2021.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami tujukan kepada Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah IV Makassar dan

kepada teman-teman yang sudah membantu membuat dan menyelesaikan penelitian ini.

6. REFERENSI

- [1] Jannah, D. M., Khoirunnisa, S., Rosyida, H., & Christalianingsih, F. E. (2024). Analisis Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Nilai V_{S30} Pada Zona Terdampak Gempa Bumi (Studi Kasus: Gempa Cianjur 21 November 2022). *9*(2), 107–116.
- [2] husnani, A., Jufriansah, A., Wae, K. W., Sulistyaningsih, D., & Margiono, M. (2024). Aktivitas Seismik Gempa Bumi Laut Flores: Periode 30 Tahun. *Diffraction*, *6*(1), 46–57.
- [3] Munir, R., Nurahmah, L., Friesky, V., & Haryono, A. (2024). Kajian Nilai B-Value untuk Menganalisis Aktivitas Seismik di Wilayah Pulau Jawa, Bali dan Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, *7*(2).
- [4] Al-Fakhiroh. A. Z., Prastowo. T., (2023). Analisis Potensi Bahaya Bencana Seismik dan Kerentanan wilayah NTB dan NTT. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*. *12* (1). 75-87.
- [5] Gutenberg, B., & Richter, C.F. (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*.
- [6] Ernandi. F. N., Madhazim., (2020). Analisis Variasi a -Value dan b -Value dengan menggunakan *Software ZMAP V.6* sebagai Indikator Potensi Gempabumi di Wilayah Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*. *9* (3). 24-30.
- [7] Hidayat, D., et al. (2010). Seismicity of the Flores Sea and its implications for the tectonic setting. *Journal of Geophysical Research*.
- [8] Muksin, A., et al. (2012). Spatial and temporal analysis of earthquakes in the Flores Sea region. *Seismological Research Letters*.
- [9] Peterson, E., et al. (2015). Modeling the potential for large earthquakes in the Flores Sea subduction zone. *Geophysical Journal International*.
- [10] Siregar. U. K., Sirait. R., Lubis. L. H., (2023). Identifikasi Tingkat Kerapuhan Batuan (B -value) dengan menggunakan Metode *Likelihood* di Wilayah Sumatera Utara Periode 1990-2021. *Jurnal Kumparan Fisika*. *6* (1). 37-46.