

ANALISIS TINGKAT SEISMISITAS DAN RESIKO KEGEMPAAN TEKTONIK BERDASARKAN NILAI VARIASI SPASIO-TEMPORAL WILAYAH BALI DAN NUSA TENGGARA

ANALYSIS LEVEL OF SEISMICITY AND TECTONIC EARTHQUAKE RISK BASED ON THE VALUE OF SPATIO- TEMPORAL VARIATION IN BALI AND NUSA TENGGARA

Nida Nur Faiza^{1,*} dan Puji Ariyanto²

^{1,2)} Program Studi Geofisika, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jalan Perhubungan I No.5, Pondok Betung, Pondok Aren, Tangerang Selatan, 15221

*Email: nidafaiza@stmkg.ac.id

ABSTRAK

Bali dan Nusa Tenggara merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang rawan terjadi gempa bumi. Hal ini dikarenakan wilayah Bali dan Nusa Tenggara diapit oleh Lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia serta adanya zona Patahan Naik Busur Belakang Flores. Beberapa gempa bumi yang pernah terjadi di wilayah ini yaitu gempa bumi 2004 berkekuatan 7.5 Mw dan 2021 berkekuatan 7.4 Mw. Penelitian ini dibuat dengan tujuan untuk mengetahui tingkat seismisitas serta nilai risiko dan periode ulang gempa di wilayah Bali dan Nusa Tenggara. Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari USGS IRIS Earthquake Browser dengan wilayah -7° LS sampai -11° LU dan 114° BT sampai 126° BT. Parameter data gempa bumi ($M_w > 5$) yang digunakan dalam penelitian ini mulai tahun 1973 – 2022 dengan kedalaman 0 – 900 km. Berdasarkan hasil analisis menggunakan software ZMAP, didapatkan variasi nilai a sebesar 4 - 16 dan variasi nilai b sebesar 0.5 – 2.5. Adapun untuk variasi nilai b dan nilai a terendah berada di wilayah sekitar Lombok Utara, Kota Bima, Sumbawa, Pulau Sumba bagian Utara, dan daerah Nusa Tenggara Timur bagian Utara dimana berpotensi untuk terjadi gempa bumi dengan skala besar.

Kata kunci: Gempabumi, a -value, b -value, Bali, Nusa Tenggara

ABSTRACT

Bali and Nusa Tenggara are areas in Indonesia that are prone to earthquakes. This is because the Indo-Australian and Eurasian plates flank the Bali and Nusa Tenggara regions, and there is a back-arc fault zone. Several earthquakes have occurred in this region, namely the 2004 earthquake measuring 7.5 Mw and the 2021 earthquake measuring 7.4 Mw. This study was made to know the level of seismicity and the value of the risk and return period for earthquakes in the Bali and Nusa Tenggara regions. The data used in this study came from the USGS IRIS Earthquake Browser with an area of -7° South Latitude to -11° North Latitude and 114° E to 126° East. Earthquake data parameters ($M_w > 5$) were used in this study from 1973 – 2022 with a depth of 0 – 900 km. Based on the analysis results using the ZMAP software, a variation of a value of 4 - 16 was obtained and b value of 0.5 – 2.5. The area with low b -value and a -value around North Lombok, Bima City, Sumbawa, Northern Sumba Island, and the northern East Nusa Tenggara where there is potential for large-scale earthquakes to occur.

Keywords: Earthquake, a -value, b -value, Bali, Nusa Tenggara

1. Pendahuluan

Bali dan Nusa Tenggara merupakan salah wilayah di Indonesia yang berada pada zona aktif kegempaan. Hal ini disebabkan karena di wilayah Bali dan Nusa Tenggara berada pada zona pertemuan lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Berdasarkan latar belakang keadaan tektonik tersebut, aktivitas kegempaan di wilayah Bali dan Nusa Tenggara dipengaruhi oleh aktivitas subduksi lempeng dan aktivitas sesar naik di wilayah busur belakang (*back arc thrust*). Zona patahan busur belakang terbentuk karena adanya tunjaman dari Lempeng Eurasia terhadap Lempeng Indo-Australia di selatan Pulau Lombok [1]. *Zone back arc thrust* beberapa kali menjadi sumber dari gempa yang mematikan di daerah tersebut. Hal ini disebabkan lokasinya yang relatif dangkal dan magnitudo gempa yang rilis cukup besar [2]. *Flores back-arc thrust* merupakan salah satu sesar aktif yang berada di Pulau Lombok. Sesar ini terbentang dari wilayah utara Pulau Bali sampai ke utara Kepulauan Sunda Kecil.

Berdasarkan data historis kegempaan di Indonesia, beberapa gempa besar pernah terjadi di daerah Bali dan Nusa Tenggara. Pada tanggal 11 November 2004, pernah terjadi gempa bermagnitudo 7.5 di Kepulauan Alor dengan kedalaman 10 km. Selain itu, pada tanggal 14 Desember 2021 juga terjadi gempa besar magnitudo 7.4 di Laut Flores dengan kedalaman 10 km. Gempa Laut Flores pada 14 Desember 2021 tersebut bersumber dari adanya aktivitas sesar mendatar barat-barat laut hingga timur-tenggara dengan diikuti adanya peringatan dini tsunami dan tercatat kenaikan muka air laut setinggi 0,07 m [3].

Aktivitas gempa bumi tektonik seperti yang terjadi di Laut Flores pada 14

Desember 2021 menunjukkan bahwa gempa bumi merupakan suatu kejadian anomali di alam yang tidak dapat diprediksi secara pasti. Oleh karenanya, perlu dilakukan analisis mengenai kondisi seismisitas untuk mengetahui potensi terjadinya suatu gempa bumi di wilayah Bali dan Nusa Tenggara. Hal ini dapat dilakukan dengan mengetahui parameter seismotektonik yang dapat dilihat dari nilai *a-value* dan *b-value*. *A-value* merupakan parameter yang mendeskripsikan aktivitas seismik dari wilayah yang diteliti [4]. Nilai *a-value* rendah menunjukkan adanya aktivitas kegempaan yang relatif rendah. Hal tersebut menunjukkan adanya akumulasi energi di wilayah tersebut, begitu pula sebaliknya. Nilai *b-value* menunjukkan tingkat stress batuan. Semakin rendah nilai *b-value* maka menunjukkan tingkat akumulasi stress batuan yang tinggi, begitu sebaliknya [5]. Penelitian juga memanfaatkan nilai *Mc* (*Magnitudo of Completeness*). Nilai *Mc* dapat diartikan sebagai nilai magnitudo yang terendah atau batas bawah dimana 100% gempa bumi terjadi di suatu daerah telah terdeteksi atau terekam [6]. Nilai *Mc* sangat berpengaruh terhadap penentuan *b-value* dan *a-value*.

Penelitian ini dilakukan pada wilayah Bali dan Nusa Tenggara yang merupakan wilayah dengan tingkat kegempaan yang tinggi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui adanya potensi terjadinya suatu gempa bumi di wilayah penelitian.

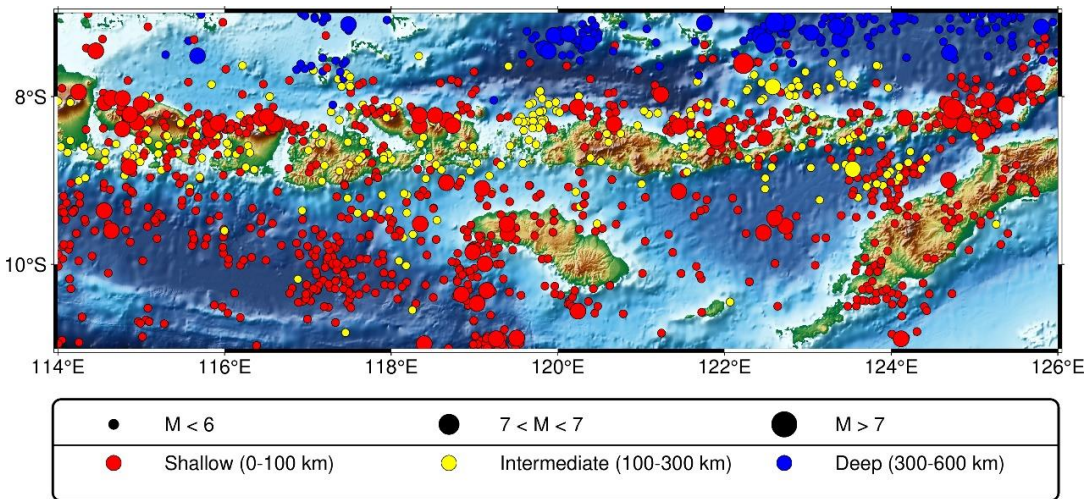
2. Data dan Metode Penelitian

2.1. Data Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data yang berasal dari katalog USGS (*United States Geological Survey*) yang diakses melalui IRIS Earthquake Browser pada laman <https://ds.iris.edu/ieb/>.

Data yang digunakan berupa data gempa bumi wilayah Bali dan Nusa Tenggara dalam periode 50 tahun pada 1 Januari 1973 - 1 Januari 2023. Data tersebut terdiri atas latitude, longitude, *depth*, magnitudo, lokasi, dan *origin time* kejadian gempa.

Cakupan lokasi yang digunakan dalam penelitian ini pada batas wilayah -7° LS sampai -11° LU dan 114° BT sampai 126° BT. Peta Seismisitas dibuat dengan menggunakan *software* Global Mapping Tools.



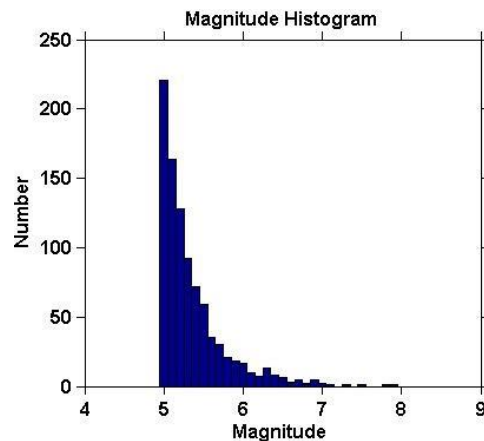
Gambar 1. Peta Seismisitas Wilayah Bali dan Nusa Tenggara.

Data yang digunakan berdasarkan katalog USGS dengan magnitudo 5,0 - 7,9 serta kedalaman gempa berkisar 7 - 663 km. Data gempa bumi kemudian diolah dengan *software* ZMAP *versi* 6.0 dan dilakukan dekluster sehingga data *foreshock* dan *aftershock* dibuang serta tersisa data *mainshock*. Setelah itu, data akan diplot sesuai distribusi frekuensi magnitudonya untuk diketahui nilai nilai M_c (*Magnitudo of Completeness*) [7].

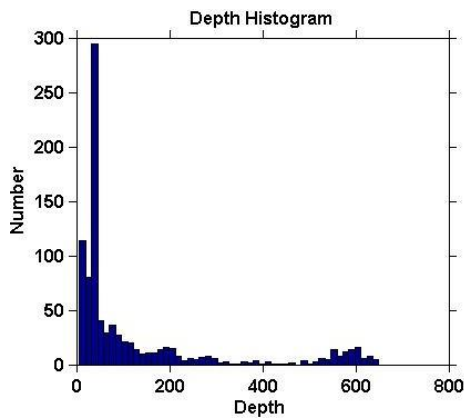
Berikut merupakan grafik histogram persebaran magnitudo dan kedalaman gempa berdasarkan jumlah kejadian gempa di wilayah Bali dan Nusa Tenggara pada periode 1973-2023

Tabel 1. Tabel Gempabumi Wilayah Bali dan Nusa Tenggara Magnitudo > 7 Periode 1973-2023.

Tanggal	Depth	Mag
24/05/1990	588.9	7.1
12/12/1992	27.7	7.8
17/06/1996	587.3	7.9
11/11/2004	10	7.5
14/12/2021	15.1	7.3



Gambar 2. Gambar Grafik Histogram Magnitudo dengan Frekuensi Gempa Periode 1973 – 2023.



Gambar 3. Gambar Grafik Histogram Kedalaman dengan Frekuensi Gempa Periode 1973-2023.

2.2. Perhitungan a-Value dan b-Value

Perhitungan suatu *a-value* dan *b-value* dalam suatu wilayah untuk mengetahui parameter seismik dan tektoniknya dapat digambarkan dalam hubungan Gutenberg-Richter yang dijabarkan dalam rumus:

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

Nilai $N(M)$ yaitu banyaknya jumlah gempa bumi dengan magnitudo (M). *A-value* yaitu nilai parameter seismik, dimana nilainya bergantung dengan frekuensi jumlah gempa yang terjadi. *B-value* yaitu nilai parameter tektonik dimana nilai *b-value* biasanya mendekati angka 1 sehingga dapat menunjukkan jumlah relatif getaran kecil dan getaran besar [8]. Nilai *b-value* dapat dinyatakan sebagai:

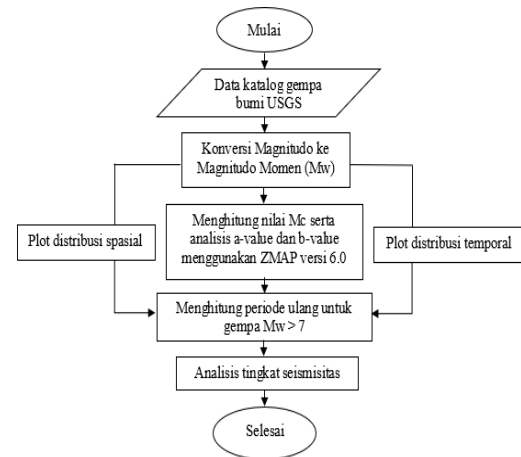
$$b = \frac{\log e}{\bar{M} - M_0} = \frac{0.434}{\bar{M} - M_0} \quad (2)$$

Nilai \bar{M} merupakan magnitudo rata-rata seluruh gempa dengan $\bar{M} \geq M_c$ dan nilai M_0 merupakan nilai magnitudo minimum

2.3. Tahap Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software ZMAP versi 6.0*. Adanya *software* tersebut dapat

digunakan untuk menghitung nilai variasi spasio temporal *a-value* dan *b-value* serta metode *Maksimum Likelihood* untuk menghitung nilai M_c (*Magnitude of Completeness*). Tahap pengolahan data dimulai dengan membagi wilayah penelitian ke dalam grid $0,1^\circ \times 0,1^\circ$. Selain itu, parameter jumlah gempa bumi yang digunakan sebanyak $N = 100$ dengan nilai Nilai $N_{\text{minimal}} = 10$ gempa.

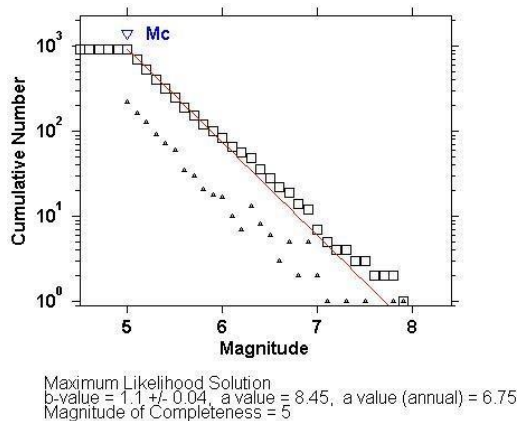


Gambar 4. Gambar Diagram Alir Pengolahan dan Analisis Data.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Distribusi Frekuensi dan Magnitudo

Dari proses pengolahan data yang telah dilakukan, diperoleh nilai M_c (*Magnitude of Completeness*) sebesar 5. Nilai M_c diperlukan untuk mengetahui variasi nilai *a-value* dan *b-value* di wilayah Bali dan Nusa Tenggara. Nilai M_c menunjukkan adanya hubungan antara frekuensi dengan magnitudo. Wilayah Bali dan Nusa Tenggara menghasilkan banyak gempa bermagnitudo kecil dibandingkan gempa bermagnitudo besar. Hal ini dapat dilihat dari grafik hubungan antara magnitudo dengan frekuensi. Semakin besar magnitudo gempa, maka frekuensi jumlah gempa yang terjadi semakin kecil dan sebaliknya.

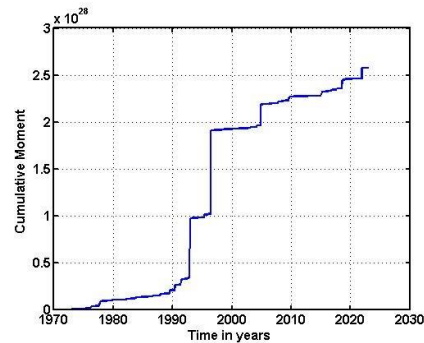


Gambar 5. Gambar Grafik Hubungan Magnitudo dengan Jumlah Frekuensi Gempa.

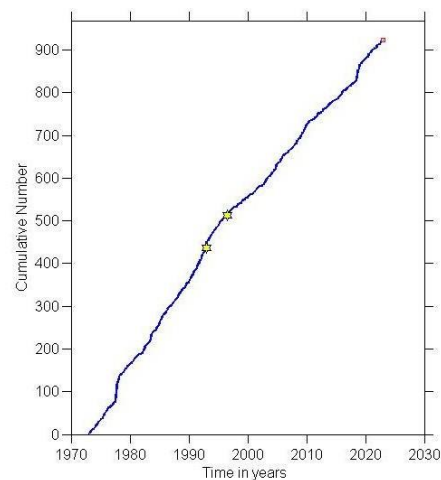
Dari grafik tersebut, dapat diketahui nilai *b-value* berdasarkan perhitungan menggunakan metode *Maximum Likelihood* yaitu sebesar 1.1 dengan nilai *standard error* 0.04. Hal ini sesuai dengan teori sebelumnya bahwa nilai dari *b-value* biasanya akan mendekati angka 1. Itu menunjukkan jumlah relatif dari getaran yang kecil dan besar [9]. Selain itu, didapatkan nilai *a-value* sebesar 8.45 dengan nilai *a-value annual* sebesar 6.75. Nilai *Mc* (*Magnitude of Completeness*) dari data tersebut sebesar 5. Nilai *Mc* tersebut menunjukkan magnitudo terkecil yang masih memenuhi linearitas terhadap FMD (*Frequency-Magnitude Distribution*) [10].

3.2. Kumulatif Gempa dan *Moment Release*

Kumulatif *moment relase* menunjukkan pelonjakan energi yang rilis secara signifikan setelah adanya gempa bumi. Berikut merupakan plot grafik kumulatif *momen relate* wilayah Bali dan Nusa Tenggara. Dapat dilihat bahwa terjadi pelonjakan energi yang rilis setelah terjadi gempa pada 1992, 1996, 2004, dan 2021.



Gambar 6. Gambar Grafik Kumulatif



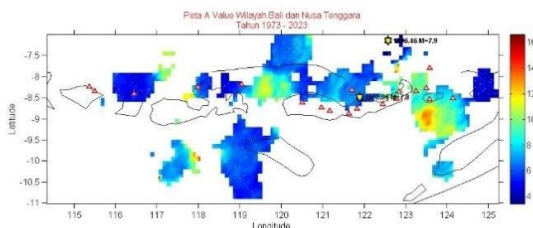
Moment Release.

Gambar 7. Gambar Grafik Kumulatif Gempabumi.

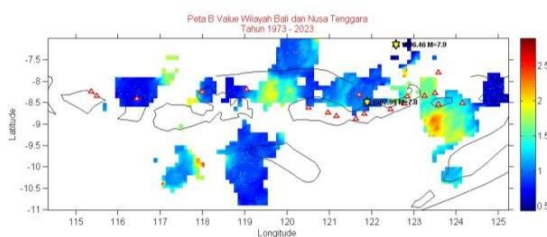
3.3. Variasi Spasial *a-value* dan *b-value*

Variasi spasial *a-value* berdasarkan hasil pemetaan spasial berada pada rentang 4 - 16 (Gambar 8a) sedangkan variasi *b-value* berada pada rentang 0,5 - 2,5 (Gambar 8b). Wilayah yang berwarna biru tua menunjukkan akumulasi energi seismik yang disimpan oleh batuan relatif cukup tinggi. Berdasarkan hal tersebut, dapat diartikan bahwa pada wilayah tersebut punya potensi terjadinya gempa bumi besar yang relatif tinggi [11]. Nilai *b-value* terendah diantaranya di dapatkan di daerah Lombok Utara, Kota Bima, Sumbawa, Pulau Sumba bagian Utara, dan daerah Nusa Tenggara Timur bagian Utara. Selain itu, dari

variasi nilai b -value dapat dilihat bahwa daerah di Laut Flores memiliki nilai yang relatif cukup kecil. Hal ini menunjukkan daerah tersebut punya jumlah akumulasi suatu stress yang cukup tinggi serta kerapuhan batuan yang tinggi. Sama halnya dengan persebaran variasi nilai b -value di wilayah Bali dan Nusa Tenggara, nilai a -value terendah diantaranya didapatkan di daerah Lombok Utara, Kota Bima, Sumbawa, Pulau Sumba bagian Utara, dan daerah Nusa Tenggara Timur bagian Utara.



Gambar 8. Gambar Plot Variasi Spasial a -value Wilayah Bali dan Nusa Tenggara.



Gambar 9. Gambar Plot Variasi Spasial b -value Wilayah Bali dan Nusa Tenggara.

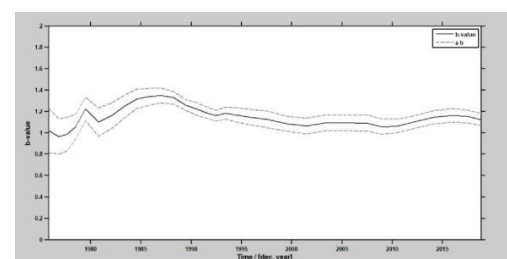
Hasil b -value dan a -value dari plot variasi spasial keduanya menunjukkan nilai yang hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa hasil b -value dan a -value saling mempengaruhi dalam hasil perhitungannya. Dapat dilihat bahwa daerah yang memiliki a -value yang rendah menunjukkan bahwa daerah tersebut memiliki nilai kegempaan yang rendah. Hal tersebut selaras bahwa b -value yang rendah menunjukkan bahwa terdapat batuan yang menyimpan akumulasi stress tinggi dalam waktu yang lama sehingga nantinya akan dikeluarkan sebagai gempa bumi dengan skala

yang besar.

Dari plot variasi spasial b -value dan a -value, terdapat beberapa wilayah berwarna putih yang tidak teridentifikasi baik b -value maupun a -valuenya. Hal ini disebabkan kurangnya data gempa yang ada di wilayah penelitian sehingga tidak dapat muncul persebaran nilainya pada daerah tersebut.

3.4. Variasi Temporal b -value

Nilai variasi temporal b -value menunjukkan penurunan sebelum terjadinya gempa bumi besar. Penurunan nilai b -value ini dapat dilihat pada gambar 9. Nilai b -value terlihat cenderung menurun pada tahun 1992, 1996, dan 2004. Hal ini menunjukkan bahwa dengan terjadinya gempa bumi bermagnitudo besar, biasanya akan ada penurunan b -value. Penurunan grafik b -value dapat mengindikasikan bahwa pada saat nilai b -value turun, maka akan terjadi penurunan aktivitas kegempaan. Hal itu juga bersamaan dengan terjadinya penyimpanan stress yang nantinya akan dikeluarkan dalam bentuk gelombang gempa bumi.

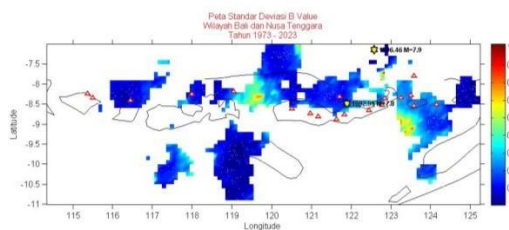


Gambar 10. Gambar Plot Variasi b -value Terhadap Waktu.

3.5. Standar Deviasi Perhitungan b -value

Perhitungan nilai standar deviasi dari b -value pada daerah Bali dan Nusa Tenggara berkisar pada angka 0,2 – 1. Besarnya nilai standar deviasi pada

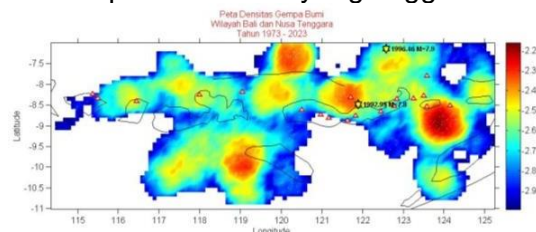
dasarnya disebabkan karena jumlah data observasi yang sedikit. Jumlah data yang digunakan untuk memperoleh *b-value* dengan menggunakan perhitungan metode *Maximum Likelihood* yaitu 50 gempa [12]. Dalam penelitian di Wilayah Bali dan Nusa Tenggara ini, peneliti menggunakan 100 data gempa dalam setiap gridnya.



Gambar 11. Gambar Standar Deviasi *b-value* Wilayah Bali dan Nusa Tenggara.

3.6. Densitas Gempa Bumi

Peta Densitas gempa diperlukan sebagai upaya untuk peta rawan bencana. Dari peta densitas ini, dapat dilihat terkait dengan *seismic gap* secara spasial. Selain itu, dari peta densitas gempa bumi, dapat dilihat terkait dengan tingkat densitas gempa di wilayah Bali dan Nusa Tenggara berada pada rentang $-2,9 EQ/km^2$ hingga $-2,2 EQ/km^2$. Wilayah dengan densitas yang tinggi ditunjukkan dengan warna coklat, diantaranya yaitu wilayah Laut Flores, laut utara wilayah Pulau Timor, dan laut barat Pulau Sumba. Nilai densitas yang tinggi secara langsung berkaitan dengan tingkat seismisitas yang tinggi pula. Hal ini menandakan adanya kaitan terhadap nilai *a-value* yang tinggi.



Gambar 12. Peta Densitas Gempabumi Wilayah Bali dan Nusa Tenggara.

4. Kesimpulan

- Berdasarkan hasil analisis perhitungan hubungan kumulatif frekuensi-magnitudo dari gempa bumi di wilayah Bali dan Nusa Tenggara, didapatkan nilai *Magnitude of Completeness* sebesar 5 dengan *b-value* $1,1 \pm 0.04$, *a-value* sebesar 8.45, dan nilai *a-value annual* sebesar 6.75.
- Dari hasil analisis spasial, didapatkan nilai *b-value* berada pada rentang nilai 0,5 hingga 2,5 dan *a-value* beberapa pada rentang 4 sampai 16. Nilai *b-value* terendah diantaranya di dapatkan di daerah Lombok Utara, Kota Bima, Sumbawa, Pulau Sumba bagian Utara, Nusa Tenggara Timur bagian Utara, dan Laut Flores. Nilai *a-value* terendah diantaranya di dapatkan di daerah Lombok Utara, Kota Bima, Sumbawa, Pulau Sumba bagian Utara, dan daerah Nusa Tenggara Timur bagian Utara.
- Nilai *b-value* yang rendah menandakan adanya akumulasi energi seismik yang disimpan oleh batuan di bawah permukannya relatif cukup tinggi sehingga dapat diartikan bahwa wilayah tersebut memiliki potensi gempa besar yang relatif tinggi. Nilai *a-value* yang rendah menunjukkan bahwa daerah tersebut memiliki nilai kegempaan yang rendah.

Daftar Pustaka

- [1] 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. *Inovasi Fisika Indonesia*, 9(3), 24-30.
- [2] Hidayati, N., Trisnawati, Sativa,

- O., Wallansha, R., Sakti, A.P., Pramono, S., dan Permana, D. (2018). Ulasan Guncangan Tanah Akibat Gempa Lombok Timur 29 Juli 2018. Bidang Seismologi Teknik. BMKG.
- [3] BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika), "Ulasan Guncangan Tanah Akibat Gempa Bumi Di Laut Flores Nusa Tenggara Timur.
- [4] Chasanah, U., & Handoyo, E. (2021). Analisis Tingkat Kegempaan Wilayah Jawa Timur berbasis Distribusi Spasial dan Temporal Magnitude Of Completeness (Mc), A-Value Dan B-Value. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 11(2), 210-222.
- [5] Yuliatmoko, R. S., Perdana, Y. H., & Martha, A. A. (2021). Distribusi Frekuensi Gempabumi dan Dimensi Fraktal pada Seismik Gap di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 22 (2), 55- 56.
- [6] Hanafi, R. (2022). *Pemetaan Magnitude Of Completeness (Mc) untuk Gempa di Wilayah Bengkulu*. (Doctoral dissertation, Universitas Jambi).
- [7] Imani, R., & Melasari, J. (2017). Estimasi Seismisitas Sumatera Sebagai Upaya Mitigasi Resiko Gempa. In *Prosiding Seminar Nasional: Gempa Sumatera Utara: Resiko dan Antisipasinya*.
- [8] Wibowo, N. B., & Sembri, J. N. (2017). Analisis Seismisitas dan Energi Gempa Bumi di Kawasan Jalur Sesar Opak-Oyo Yogyakarta. *Jurnal Sains Dasar*, 6(2), 109-115.
- [9] Pangestika, S. W., Yudistira, T., & Fattah, E. I. Analisis Variasi Spasial B-Value Menggunakan Lokasi Gempa Presisi Tinggi Wilayah Selat Sunda Tahun 2009-2018.
- [10] H. E. Hafiez and M. Toni, "Magnitude of completeness for the northern stations of the Egyptian National Seismological Network", *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 13, no. 12, 2020.
- [11] 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. *Inovasi Fisika Indonesia*, 10(1), 1-10.
- [12] Rohadi, S. (2015). Distribusi Spasial dan Temporal Parameter Seismotektonik Sebagai Indikasi Tingkat Aktivitas Kegempaan di Wilayah Papua. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 16(3), 189-198.