

Kajian Nilai B-Value untuk Menganalisis Aktivitas Seismik di Wilayah Pulau Jawa, Bali dan Nusa Tenggara Barat

¹Rahmiati Munir ¹Laila Nurahmah, ¹Vindhiah Friesky, ²Muh. Imran T, ³Arif Haryono

¹Program Studi Geofisika, Universitas Mulawarman

²Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah IV Makassar

³Program Studi Fisika, Universitas Mulawarman

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

Manuscript received: 29 Juli 2024; Received in revised form: 25 Agustus; Accepted: 30 Agustus 2024

ABSTRACT

This study aims to analyze seismic activity in East Java, Bali, and West Nusa Tenggara (NTB) using the b-value parameter. Earthquake data from the USGS catalog (2000–2023) were analyzed using Zmap software. To facilitate the analysis of the spatial distribution of b-values and seismic activity patterns in the study area, the region was divided into three areas: Region 1 covers most of West Java and Central Java, Region 2 includes the southern part of Central Java and part of East Java, while Region 3 covers East Java, Bali, and West Nusa Tenggara (NTB). The analysis steps include separating the main earthquake data, determining the b-value, and spatial mapping. The results show that b-values range from 0.4 to 1.9, where lower values (0.4–1.13) reflect high stress accumulation that may lead to large earthquakes, such as in Lombok, NTB. Conversely, higher values (1.13–1.9) indicate low stress, as seen in Sumbawa and the Indian Ocean. This study concludes that the study area exhibits different seismic activity patterns, with NTB as a high-risk area compared to East Java and Bali, in line with the distribution of b-values.

Keywords: seismic activity, b-value, earthquake mitigation, East Java, Bali, NTB, USGS catalog, Zmap.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aktivitas seismik di Jawa Timur, Bali, dan Nusa Tenggara Barat (NTB) menggunakan parameter nilai *b-value*. Data gempa bumi dari katalog USGS (2000–2023) dianalisis menggunakan perangkat lunak Zmap. Untuk mempermudah analisis distribusi spasial nilai *b-value* dan pola aktivitas seismik di daerah penelitian, maka daerah penelitian dibagi menjadi 3 wilayah yaitu wilayah 1 mencakup sebagian besar Jawa Barat dan Jawa Tengah, Wilayah 2 meliputi bagian selatan Jawa Tengah dan sebagian Jawa Timur, sedangkan Wilayah 3 mencakup Jawa Timur, Bali, dan Nusa Tenggara Barat (NTB). Langkah analisis meliputi pemisahan data gempa utama, penentuan nilai *b-value*, dan pemetaan spasial. Hasil penelitian menunjukkan nilai *b-value* berkisar antara 0,4–1,9, dimana nilai rendah (0,4–1,13) mencerminkan akumulasi stres tinggi yang berpotensi menghasilkan gempa besar, seperti di Lombok, NTB. Sebaliknya, nilai tinggi (1,13–1,9) menunjukkan stres rendah, seperti di Sumbawa dan Samudra Hindia. Penelitian ini menyimpulkan bahwa wilayah

penelitian memiliki pola aktivitas seismik yang berbeda, dengan NTB sebagai area risiko tinggi dibandingkan Jawa Timur dan Bali, sesuai dengan distribusi nilai *b-value*.

Kata Kunci : aktivitas seismik, nilai *b-value*, mitigasi gempa, Jawa Timur, Bali, NTB, katalog USGS, Zmap.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan aktivitas seismik tertinggi di dunia, karena terletak di pertemuan empat lempeng utama: Eurasia, Indo-Australia, Laut Filipina, dan Pasifik [1]. Posisi ini menjadikan Indonesia sebagai wilayah dengan tingkat kegempaan yang tinggi, sehingga sering mengalami gempa bumi yang signifikan. Sebagai wilayah yang berada di jalur Cincin Api Pasifik, aktivitas seismik di Indonesia berpotensi besar memicu bencana alam seperti gempa bumi, tsunami, dan tanah longsor [2]. Hal ini menegaskan pentingnya penelitian mendalam terkait aktivitas seismik untuk meningkatkan pemahaman terhadap pola gempa bumi dan mendukung upaya mitigasi risiko bencana.

Penelitian ini berfokus pada wilayah Jawa Timur, Bali, dan Nusa Tenggara Barat (NTB), yang termasuk zona subduksi aktif. Wilayah ini menunjukkan variasi aktivitas tektonik yang kompleks, dengan subduksi Lempeng Indo-Australia di selatan dan sesar aktif di darat. NTB, khususnya, dikenal sebagai area dengan risiko seismik tinggi akibat tingginya akumulasi stres pada batuan di wilayah ini [3]. Sebaliknya, Bali dan sebagian Jawa Timur menunjukkan karakteristik seismik yang lebih stabil dengan dominasi gempa-gempa kecil [4].

Salah satu parameter kunci dalam menganalisis aktivitas seismik adalah nilai *b-value*, yang menggambarkan hubungan antara frekuensi dan magnitudo gempa bumi [5]. Nilai *b-value* yang rendah mengindikasikan akumulasi stres tinggi pada batuan, berpotensi menghasilkan gempa besar, sedangkan nilai yang tinggi menunjukkan stres rendah dengan dominasi gempa kecil [6]. Studi nilai *b-value* sangat penting untuk memahami distribusi seismik di suatu wilayah, mengidentifikasi

zona berisiko tinggi, dan mendukung pengambilan keputusan dalam mitigasi bencana.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aktivitas seismik di Jawa Timur, Bali, dan NTB berdasarkan nilai *b-value* serta membandingkan pola aktivitas seismik di wilayah penelitian dengan wilayah lain di Pulau Jawa. Data yang digunakan mulai merupakan data katalog USGS tahun 2000-2023 dan diolah menggunakan perangkat lunak Zmap. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan mendalam mengenai distribusi spasial nilai *b-value* dan implikasinya terhadap potensi bencana di wilayah tersebut.

2. MATERI DAN METODE

2.1 Seismotektonik di Indonesia

Indonesia merupakan salah satu negara dengan aktivitas seismik tertinggi di dunia karena letaknya yang berada di pertemuan empat lempeng besar, yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia, Laut Filipina, dan Pasifik. Kondisi ini menjadikan Indonesia rawan terhadap berbagai bencana geologi seperti gempa bumi, tsunami, dan letusan gunung berapi [1]. Aktivitas subduksi Lempeng Indo-Australia di selatan Pulau Jawa dan NTB menjadi salah satu sumber utama gempa bumi di wilayah ini, ditambah dengan sesar aktif yang tersebar di darat [4].

2.2 Konsep Nilai *b-value*

Dalam seismologi, nilai *b-value* merupakan parameter penting yang menggambarkan hubungan antara magnitudo gempa dan frekuensi kejadiannya. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Utsu (1965), yang menunjukkan bahwa nilai *b-value* lebih rendah mengindikasikan akumulasi stres tinggi pada batuan yang dapat

menyebabkan gempa besar. Sebaliknya, nilai b-value yang lebih tinggi mencerminkan stres rendah dan dominasi gempa kecil [7]. Analisis b-value juga dapat digunakan untuk memetakan distribusi spasial stres di wilayah tertentu, memberikan wawasan tentang area dengan potensi risiko seismik yang lebih tinggi [8].

2.3 Studi Terkait di Wilayah Penelitian

Studi sebelumnya telah mengungkapkan karakteristik seismotektonik yang unik di masing-masing wilayah penelitian. Sunardi et al. (2017) menunjukkan bahwa subduksi Lempeng Indo-Australia di NTB menghasilkan aktivitas seismik tinggi yang berdampak pada risiko gempa besar [1]. Di Jawa Timur, pola sesar naik dominan berarah barat-timur menjadi salah satu sumber utama aktivitas seismik [4]. Sementara itu, Darsono et al. (2016) melaporkan bahwa Bali memiliki tingkat risiko gempa bumi yang tinggi karena diapit oleh zona subduksi di selatan dan sesar naik di utara [3].

2.4 Penggunaan perangkat lunak Zmap dalam Penelitian Seismologi

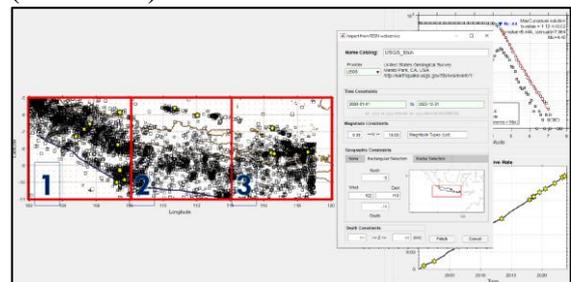
Penggunaan perangkat lunak Zmap dalam penelitian seismologi memberikan keunggulan dalam pemetaan spasial dan analisis nilai b-value. Wiemer dan Benoit (1996) menunjukkan bahwa Zmap memungkinkan identifikasi zona akumulasi stres tinggi berdasarkan distribusi frekuensi-magnitudo gempa. Dengan pendekatan ini, daerah yang memiliki risiko gempa besar dapat diidentifikasi secara lebih efektif [8].

2.5 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah Jawa Timur, Bali, dan Nusa Tenggara Barat (NTB), yang berada di koordinat 5° LS hingga 11° LS dan 102° BT hingga 119° BT. Wilayah ini merupakan bagian dari zona subduksi aktif, di mana Lempeng Indo-Australia menunjam ke bawah Lempeng Eurasia. Aktivitas

tektonik di wilayah ini sangat kompleks, dengan potensi gempa bumi yang signifikan, terutama di NTB, yang dikenal sebagai area dengan risiko seismik tinggi.

Untuk mempermudah analisis distribusi spasial nilai b-value dan pola aktivitas seismik di daerah penelitian, maka dilakukan Pembagian wilayah penelitian menjadi Wilayah 1, 2, dan 3. Wilayah 1 mencakup sebagian besar Jawa Barat dan Jawa Tengah, Wilayah 2 meliputi bagian selatan Jawa Tengah dan sebagian Jawa Timur, sedangkan Wilayah 3 mencakup Jawa Timur, Bali, dan Nusa Tenggara Barat (NTB). (Gambar.1)



Gambar 1. Pembagian wilayah Lokasi penelitian

Data gempa bumi yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari katalog United States Geological Survey (USGS) dengan periode waktu 2000 hingga 2023. Data meliputi informasi magnitudo, kedalaman, dan koordinat gempa. Untuk analisis, perangkat lunak Matlab dengan modul Zmap digunakan untuk pemisahan data gempa, perhitungan parameter b-value, dan pemetaan spasial.

Langkah-langkah penelitian dilakukan secara sistematis sebagai berikut:

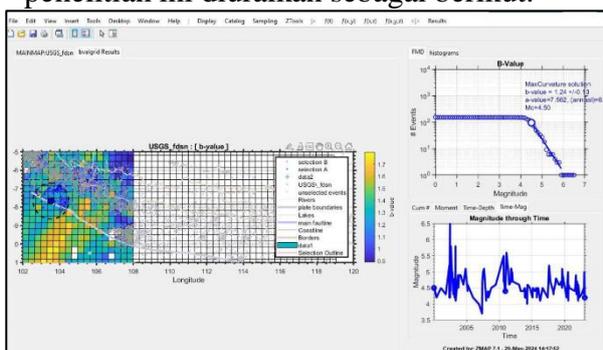
- Pengolahan Data: Data gempa utama dipisahkan berdasarkan wilayah penelitian (Jawa Timur, Bali, dan NTB). Segmentasi data dilakukan untuk memastikan keakuratan analisis spasial.
- Perhitungan b-Value: Parameter b-value dihitung menggunakan hubungan distribusi frekuensi-magnitudo gempa bumi.

- Pemetaan Spasial: Nilai *b*-value diplot secara spasial untuk mengidentifikasi distribusi stres di wilayah penelitian.
- Analisis Aktivitas Seismik: Distribusi magnitudo, kedalaman, serta tren waktu dianalisis untuk mengidentifikasi pola dan potensi aktivitas seismik.
- Visualisasi: Data yang telah dianalisis divisualisasikan dalam bentuk histogram, grafik tren kumulatif, dan peta spasial untuk mempermudah interpretasi.

Nilai *b*-value menjadi fokus utama dalam penelitian ini, yang digunakan untuk menginterpretasikan hubungan antara magnitudo dan frekuensi gempa bumi. Nilai ini memberikan indikasi akumulasi stres pada batuan di wilayah tertentu. Nilai *b*-value yang lebih rendah menunjukkan akumulasi stres tinggi, sementara nilai yang lebih tinggi mengindikasikan stres yang rendah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aktivitas seismik di wilayah Jawa Timur, Bali, dan Nusa Tenggara Barat (NTB) berdasarkan nilai *b*-value, serta membandingkan pola aktivitas seismik di wilayah penelitian dengan wilayah lain di Pulau Jawa. Data gempa bumi dari katalog USGS selama periode 2000–2023 dianalisis menggunakan perangkat lunak Zmap untuk menghasilkan parameter nilai *b*-value dan peta distribusi spasialnya. Hasil dari penelitian ini diuraikan sebagai berikut.



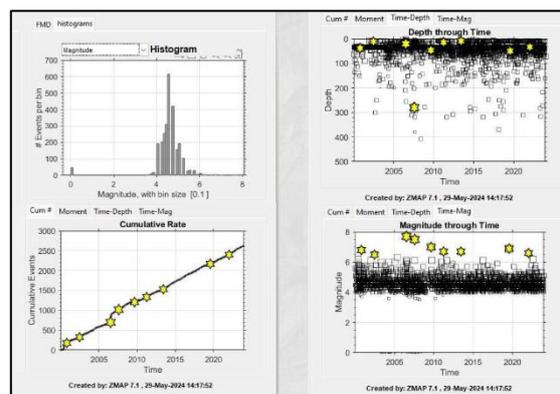
Gambar 2. Nilai spasial *b*-value wilayah 1

Wilayah 1 memiliki nilai spasial *b*-value 0,9 - 1,8. Nilai terendah antara 0,9 - 1,16 dan nilai tertinggi antara 1,16 - 1,8. Nilai *b*-value

di wilayah 1 menunjukkan bahwa wilayah ini memiliki dominasi gempa kecil. Energi tektonik yang dilepaskan secara rutin melalui gempa kecil dapat mengurangi risiko akumulasi stres yang memicu terjadinya gempa besar. Kondisi ini terlihat dengan dominasi gempa pada wilayah ini berada pada magnitudo 4-5 (Gambar 3).

Pada gambar 3. Grafik kumulatif rate di Wilayah 1 menunjukkan peningkatan jumlah gempa secara konsisten selama periode penelitian dari tahun 2000 hingga 2023. Garis kumulatif

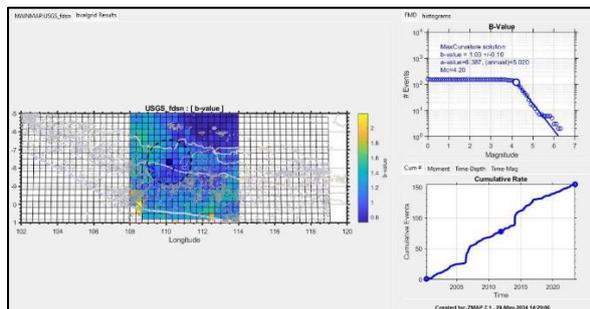
yang hampir linier mengindikasikan bahwa gempa bumi terjadi pada laju yang relatif stabil tanpa adanya peningkatan signifikan dalam frekuensi kejadian. Beberapa peristiwa gempa besar dengan magnitudo $\geq 6,5$ ditandai dengan simbol khusus (tanda bintang) pada grafik, mencerminkan aktivitas seismik signifikan di wilayah ini. Sebagian besar gempa kecil mendominasi Wilayah 1, yang tercermin dari tren kumulatif yang bertahap dan tidak mengalami lonjakan tajam. Pola kumulatif ini mengindikasikan bahwa Wilayah 1 berada dalam zona tektonik yang melepaskan energi secara teratur melalui gempa kecil, mengurangi risiko akumulasi stres tektonik yang dapat memicu gempa besar. Dengan demikian, meskipun aktivitas seismik di wilayah ini terbilang aktif, potensi kerusakan besar cenderung lebih rendah dibandingkan wilayah dengan pola kumulatif yang tidak stabil.



Gambar 3. Frequency magnitude distribution dan cumulative rate wilayah 1

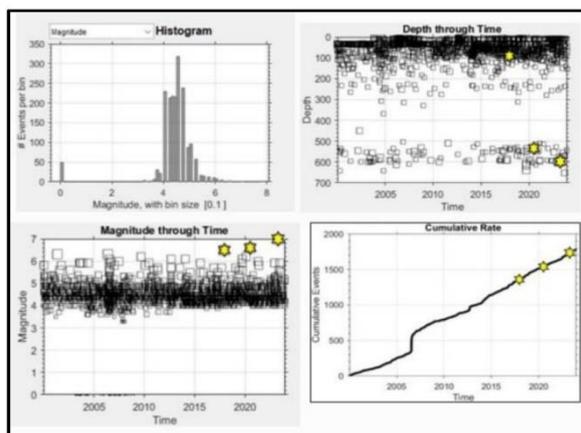
Distribusi kedalaman gempa di Wilayah 1 menunjukkan bahwa sebagian besar gempa terjadi pada kedalaman dangkal, yaitu kurang dari 100 km. Selain itu, sejumlah kecil gempa bumi ditemukan terjadi pada kedalaman menengah hingga dalam.

Pada wilayah 2, distribusi nilai spasial *b-value* berada pada nilai 0,8-2,2 dengan dengan nilai terendah antara 0,8 - 1,03 dan nilai tertinggi antara 1,03 - 2,2 yang menunjukkan bahwa distribusi magnitudo gempa di Wilayah 2 cenderung normal, dengan dominasi gempa kecil. Nilai *b-value* pada rentang ini mengindikasikan bahwa Wilayah 2 memiliki stres sedang, dengan lebih banyak gempa kecil daripada gempa besar.



Gambar 4. Nilai spasial *b-value* wilayah 2

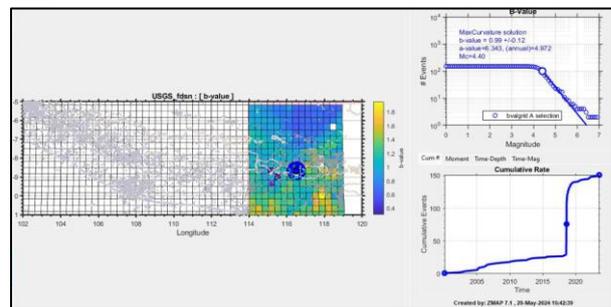
Grafik kumulatif rate pada Wilayah 2 menunjukkan jumlah gempa yang tercatat dari tahun 2000 hingga 2023, dengan fokus pada gempa-gempa yang memiliki magnitudo $\geq 6,5$. Grafik ini menggambarkan tren jumlah gempa yang meningkat secara konsisten sepanjang periode waktu tersebut. Garis kumulatif yang ditampilkan pada grafik menunjukkan peningkatan jumlah gempa seiring berjalannya waktu. Hal ini



mengindikasikan bahwa frekuensi gempa dengan magnitudo besar di Wilayah 2 relatif stabil, meskipun terdapat fluktuasi kecil pada beberapa titik waktu. Magnitudo maksimum yang tercatat di Wilayah 2 mencapai 7,0, menunjukkan bahwa meskipun dominasi gempa kecil lebih besar, ada kemungkinan terjadinya gempa besar.

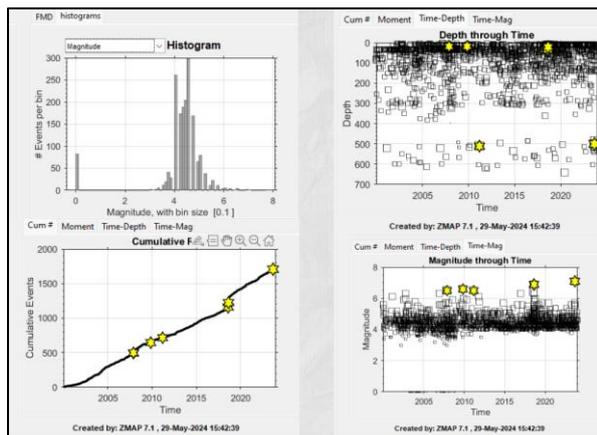
Gambar 5. Frequency magnitude distribution dan cumulative rate wilayah 2

Distribusi kedalaman gempa di Wilayah 2 menunjukkan dominasi gempa dangkal yakni kurang dari 100 km. Meskipun demikian terdapat sejumlah gempa yang tercatat pada kedalaman menengah hingga dalam. Bahkan beberapa gempa dalam ini terjadi pada kedalaman hampir mencapai 700 km.



Gambar 6. Nilai spasial *b-value* wilayah 3

Nilai *b-value* di wilayah ini berkisar antara 0,4 hingga 1,9 dengan nilai terendah antara 0,4 - 1,13 dan nilai tertinggi antara 1,13 - 1,9. Nilai spasial *b-value* di Wilayah ini menunjukkan bahwa daerah tersebut memiliki pola seismik yang variatif. Wilayah dengan nilai *b-value* rendah, seperti Lombok di NTB, menunjukkan potensi gempa besar dengan akumulasi stres tinggi, sementara wilayah dengan nilai *b-value* tinggi, seperti Sumbawa, menunjukkan dominasi gempa kecil.



Gambar 7. Frequency magnitude distribution dan cumulative rate wilayah 3

Grafik Kumulatif Rate menggambarkan jumlah total gempa bumi yang terjadi dari tahun 2000 hingga 2023. Dalam grafik ini, kita bisa melihat apakah frekuensi gempa meningkat atau menurun seiring waktu. grafik menunjukkan garis yang hampir linier atau meningkat secara konsisten, itu menandakan aktivitas seismik stabil. Ada kemungkinan bahwa wilayah ini mengalami pelepasan energi secara terus-menerus melalui gempa-gempa kecil. Lonjakan yang terlihat pada grafik dapat menunjukkan periode di mana gempa-gempa besar (magnitudo $\geq 6,5$) terjadi dalam waktu yang relatif singkat, meningkatkan jumlah total gempa yang tercatat dalam grafik kumulatif.

Sebagian besar gempa di Wilayah 3 memiliki magnitudo kecil yaitu antara 4 dan 5. Namun, meskipun gempa kecil sering terjadi, gempa dengan magnitudo besar dengan magnitudo $\geq 6,5$ dapat tercatat secara sporadis, yang mengindikasikan periode peningkatan stres tektonik dan akumulasi energi yang cukup besar seperti yang terlihat pada gempa tahun 2018 di Lombok (magnitudo 7.0).

Sebagian besar gempa di Wilayah 3 lebih sering terjadi pada kedalaman kurang dari 100 km dibandingkan Gempa dengan kedalaman lebih dari 300 km.

Gempa-gempa dangkal ini umumnya dihasilkan dari interaksi di zona subduksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia, serta aktivitas patahan aktif di

wilayah tersebut [1]. Distribusi ini sesuai dengan pola seismotektonik Pulau Jawa yang berada di sepanjang batas lempeng tektonik yang aktif. Gempa-gempa ini kemungkinan terkait dengan proses subduksi mendalam di mana lempeng menunjam jauh ke bawah zona transisi mantel [7]. Fenomena ini mencerminkan pelepasan energi dari deformasi batuan di kedalaman yang sangat besar.

Gempa-gempa dangkal berpotensi menyebabkan dampak kerusakan yang lebih besar dibandingkan gempa dalam karena jaraknya yang lebih dekat ke permukaan bumi [5]. Oleh karena itu, distribusi kedalaman ini penting untuk memahami risiko bencana di Wilayah 1, khususnya di daerah dengan infrastruktur padat penduduk.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aktivitas seismik di Jawa Timur, Bali, dan Nusa Tenggara Barat (NTB) menggunakan parameter nilai *b-value*. Berdasarkan hasil analisis, wilayah penelitian menunjukkan pola aktivitas seismik yang bervariasi, dengan perbedaan dalam dominasi gempa besar dan kecil.

Secara keseluruhan, wilayah dengan nilai *b-value* rendah (0,4 - 1,13) seperti yang ditemukan di NTB, menunjukkan adanya akumulasi stres tinggi pada batuan, yang berpotensi menghasilkan gempa besar dengan dampak signifikan. Sebaliknya, wilayah dengan nilai *b-value* tinggi (1,13 - 2,2) menunjukkan stres rendah, yang cenderung menghasilkan gempa kecil lebih sering, namun dengan dampak yang lebih rendah [7].

Distribusi nilai *b-value* yang berbeda di setiap wilayah memberikan wawasan tentang pola seismik yang ada, dengan dominasi gempa kecil di beberapa area dan potensi gempa besar di area lain. Meskipun gempa besar lebih jarang terjadi, wilayah dengan nilai *b-value* rendah tetap memerlukan perhatian lebih dalam perencanaan mitigasi bencana dan penguatan infrastruktur untuk menghadapi potensi gempa besar yang dapat

terjadi secara sporadic [6]. Penelitian ini memberikan gambaran penting untuk pengelolaan risiko seismik di wilayah Indonesia, khususnya di wilayah yang rawan mengalami gempa besar.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, selama pelaksanaan penelitian ini.

6. REFERENSI

- [1] Sunardi, B., Istikomah, M. U., & Sulastri. (2017). Analisis Sismotektonik dan Proyeksi Ulang Gempa Bumi Wilayah Nusa Tenggara Barat, Tahun 1975–2015. *Jurnal Riset Geofisika Indonesia*, 1(1), 23–28.
- [2] Madlazim, & Dewi, H. (2012). Korelasi Magnitudo Gempa Bumi Lokal dengan Periode Dominan Gelombang untuk Peringatan Dini Tsunami. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 1(1), 1–7.
- [3] Darsono, R., Sukarasa, I. K., & Setiawan, Y. (2016). Analisis Tingkat Risiko Bencana Gempa Bumi di Wilayah Bali. *Buletin Fisika*, 17(1), 57–62.
- [4] Praja, N., Supartoyo, & Omang, A. (2021). Gempa Bumi Merusak di Jawa Timur Selatan 10 April 2021. *Jurnal Minerba*, 6(2), 136–149.
- [5] Utsu, T. (1965). A Method for Determining the Value of b in a Formula $\log N = a - bM$ Showing the Magnitude-Frequency Relation for Earthquakes. *Geophysical Bulletin of Hokkaido University*.
- [6] Utsu, T. (1965). A Method for Determining the Value of b in a Formula $\log N = a - bM$ Showing the Magnitude-Frequency Relation for Earthquakes. *Geophysical Bulletin of Hokkaido University*.
- [7] Wiemer, S., & Wyss, M. (2002). Mapping Spatial Variability of the Frequency-Magnitude Distribution of Earthquakes. *Advances in Geophysics*, 45, 259–302.
- [8] Wiemer, S., & Benoit, J. P. (1996). Mapping the b-value Anomaly at 100 km Depth in the Alaska and New Zealand Subduction Zones. *Geophysical Research Letters*, 23(13), 1557–1560.
- [8] Wiemer, S., & Benoit, J. P. (1996). Mapping the b-value Anomaly at 100 km Depth in the Alaska and New Zealand Subduction Zones. *Geophysical Research Letters*, 23(13), 1557–1560.