

Analisis Variasi b -value dan a -value Menggunakan Perangkat Lunak ZMAP Sebagai Indikator Potensi Gempabumi di Wilayah Jawa Timur

Analysis of b -value and a -value Variations Using ZMap Software as an Indicator of Earthquake Potential in the East Java Region

Mufti Saefurohmah^{1*}, Dwi Budi Susanti², Sugito¹, Ika Maulita¹

¹Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Dr. Soeparno Utara, Purwokerto, 53123

²Stasiun Geofisika Kelas I Sleman, Jl. Wates Km. 8 Jintangan, Balecatur, Gamping, Sleman, Yogyakarta, 55294

INFO ARTIKEL

Naskah masuk : 11 Juli 2025
Naskah diperbaiki : 11 Agustus 2025
Naskah diterima : 21 Agustus 2025

Kata kunci:
gempa bumi
seismisitas
 a – value
 b – value

Keywords:
earthquake
seismicity
 a – value
 b – value

*Email Korespondensi :
muftisei@gmail.com

ABSTRAK

Jawa Timur merupakan salah satu wilayah di Indonesia dengan tingkat seismisitas tinggi akibat kedekatannya dengan zona penunjaman serta keberadaan sesar-sesar aktif lokal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis parameter seismotektonik berupa nilai a -value dan b -value sebagai indikator tingkat seismisitas dan karakteristik distribusi magnitudo gempabumi. Analisis dilakukan menggunakan metode Maximum Likelihood yang diimplementasikan melalui perangkat lunak ZMAP. Data gempabumi yang digunakan berasal dari BMKG dan IRIS dengan rentang waktu Januari 2004 hingga Agustus 2024. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah Jawa Timur memiliki tingkat seismisitas yang tinggi dengan nilai a -value sebesar 6,17 dan b -value sebesar 0,757. Daerah dengan potensi aktivitas gempabumi relatif tinggi teridentifikasi di Kabupaten Blitar, Tulungagung, dan Trenggalek. Rata-rata indeks seismisitas Jawa Timur sebesar 6,002 dengan periode ulang kejadian gempabumi yang relatif cepat. Hasil ini mengindikasikan tingginya potensi kejadian gempabumi di wilayah Jawa Timur dan dapat digunakan sebagai dasar awal dalam perencanaan mitigasi bencana gempabumi secara berkelanjutan.

ABSTRACT

East Java is one of Indonesia's regions with a high level of seismicity due to its proximity to the subduction zone and the presence of active local faults. This study aims to analyze seismotectonic parameters, including a -value and b -value, as indicators of seismicity level and earthquake magnitude-frequency distribution characteristics. The analysis was conducted using the Maximum Likelihood method implemented in ZMAP. The earthquake data were obtained from BMKG and IRIS, covering the period from January 2004 to August 2024. The results indicate that East Java exhibits a high level of seismicity, with an a value of 6.17 and a b -value of 0.757. Areas with relatively high earthquake activity potential were identified in Blitar, Tulungagung, and Trenggalek Regencies. The average seismicity index of East Java is 6.002, with a relatively short earthquake recurrence interval. These findings indicate a high potential for earthquake occurrence in East Java and may serve as a preliminary basis for sustainable earthquake disaster mitigation planning.

© 2025 Jurnal Stasiun Geofisika Sleman

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu wilayah dengan tingkat seismisitas tertinggi di dunia akibat posisinya yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik, serta interaksinya dengan beberapa lempeng mikro di sekitarnya. Konvergensi lempeng-lempeng tersebut membentuk sistem subduksi dan sesar aktif yang kompleks, sehingga menjadikan Indonesia sangat rentan terhadap kejadian gempabumi tektonik dan tsunami [1].

Pulau Jawa, khususnya wilayah Jawa Timur, termasuk daerah dengan aktivitas kegempaan yang signifikan akibat pengaruh zona subduksi di selatan Pulau Jawa

serta keberadaan struktur sesar aktif di daratan maupun lepas pantai. Sejumlah peristiwa gempabumi merusak telah tercatat di wilayah ini, seperti gempabumi Banyuwangi tahun 1994 yang memicu tsunami serta beberapa gempabumi bermagnitudo menengah hingga besar dalam beberapa dekade terakhir. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa Jawa Timur memiliki potensi bahaya gempabumi yang perlu dikaji secara berkelanjutan guna mendukung upaya mitigasi bencana.

Salah satu pendekatan yang umum digunakan dalam analisis kegempaan regional adalah pemetaan seismisitas berdasarkan parameter seismotektonik, khususnya a -value dan b -value yang diturunkan dari hubungan

Gutenberg–Richter [2]. Parameter a-value merepresentasikan tingkat aktivitas seismik suatu wilayah, sedangkan b-value berkaitan dengan karakteristik distribusi magnitudo gempabumi dan kondisi tegangan batuan. Variasi spasial dan temporal kedua parameter tersebut dapat memberikan informasi penting mengenai kondisi stress tektonik dan potensi kejadian gempabumi di suatu wilayah [3].

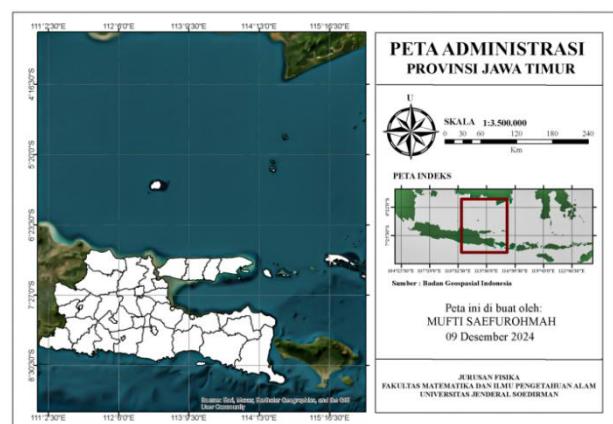
Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan analisis a-value dan b-value di wilayah Jawa Timur maupun wilayah tektonik aktif lainnya di Indonesia. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa Jawa Timur memiliki tingkat seismisitas yang relatif tinggi, dengan variasi nilai b-value yang mengindikasikan potensi terjadinya gempabumi bermagnitudo kecil hingga besar [4–6]. Namun demikian, sebagian besar studi terdahulu masih menggunakan data katalog kegempaan internasional dengan keterbatasan resolusi temporal dan spasial, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi aktivitas seismik terkini.

Dalam perkembangannya, data katalog kegempaan internasional memiliki keterbatasan, antara lain dominasi kejadian gempabumi bermagnitudo menengah hingga besar serta keterlambatan pembaruan data. Keterbatasan ini berpotensi mengurangi resolusi analisis seismisitas, khususnya untuk mengidentifikasi variasi aktivitas gempabumi skala regional hingga lokal [7]. Oleh karena itu, pemanfaatan data kegempaan dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), yang mencakup kejadian gempabumi kecil hingga besar serta diperbarui secara lebih rutin, menjadi alternatif penting untuk menghasilkan pemetaan seismisitas yang lebih representatif.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan memetakan distribusi seismisitas di wilayah Jawa Timur menggunakan parameter a-value dan b-value berdasarkan data kegempaan BMKG. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran terbaru mengenai karakteristik kegempaan regional serta menjadi dasar ilmiah dalam mendukung upaya mitigasi dan pengurangan risiko bencana gempabumi di Jawa Timur.

2. Metode Penelitian

Data gempabumi yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder untuk wilayah Jawa Timur dan sekitarnya dengan rentang waktu Januari 2004 hingga Agustus 2024. Data diperoleh dari katalog gempabumi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) serta IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology). Wilayah studi dibatasi pada koordinat $6,451^\circ$ LS – $11,173^\circ$ LS dan $111,491^\circ$ BT – $114,448^\circ$ BT, yang mencakup wilayah daratan dan perairan sekitar Provinsi Jawa Timur. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta wilayah penelitian

Katalog gempabumi BMKG dan IRIS mencatat berbagai jenis magnitudo, seperti magnitudo badan (Mb) dan magnitudo permukaan (Ms). Untuk menjaga konsistensi analisis, seluruh magnitudo dikonversi ke magnitudo momen (Mw) karena Mw tidak mengalami efek saturasi dan lebih merepresentasikan energi gempabumi secara fisik [9].

Untuk memperoleh data gempabumi yang independen secara statistik, dilakukan proses declustering guna menghilangkan kejadian foreshock dan aftershock, sehingga hanya tersisa kejadian mainshock. Proses declustering dilakukan menggunakan metode Reasenberg yang tersedia dalam perangkat lunak ZMAP [10].

Dari total 4.541 kejadian gempabumi, proses declustering menghasilkan 3.814 kejadian gempabumi utama, yang menunjukkan bahwa sekitar 16% data merupakan kejadian tidak independen. Rentang magnitudo gempabumi setelah declustering berada pada Mw 2,27–6,29. Parameter yang digunakan dalam metode Reasenberg ditampilkan pada Tabel 1.

Analisis seismisitas wilayah Jawa Timur dilakukan dengan menghitung parameter a-value dan b-value berdasarkan hubungan Gutenberg–Richter menggunakan metode Maximum Likelihood Estimation (MLE). Metode ini banyak digunakan dalam analisis kegempaan karena mampu memberikan estimasi parameter yang stabil serta meminimalkan bias akibat binning magnitudo [11]. Nilai b-value dihitung menggunakan persamaan:

$$b = \frac{\log_{10} e}{\bar{M} - M_0} \quad (1)$$

dan

$$a = \log_{10} N + \log_{10}(b \ln 10) + M_0 \quad (2)$$

dimana $\log e = 0,434$, \bar{M} merupakan magnitudo rata-rata dan M_0 adalah magnitudo minimum kejadian gempabumi yang pernah terjadi. Ketidakpastian nilai b-value dihitung menggunakan standar deviasi sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$\delta_b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_0 - \bar{M})^2}{N(N-1)}} \quad (3)$$

Tabel 1 Tetapan Nilai Reasenberg

Parameter	Nilai
Waktu minimum (hari)	1
Waktu maksimum (hari)	10
Probabilitas minimum	0,95
Jarak spasial minimum(km)	0,5
Jarak spasial maksimum(km)	1,5
Faktor reduksi	10
Ketidakpastian episenter	1,5
Ketidakpastian kedalaman	2

Magnitudo kelengkapan (Mc) ditentukan berdasarkan analisis Frequency–Magnitude Distribution (FMD). Nilai Mc merepresentasikan magnitudo minimum di mana katalog gempabumi dianggap lengkap. Penentuan Mc sangat penting untuk memastikan bahwa perhitungan a-value dan b-value hanya menggunakan data yang reliabel secara statistik [12].

Analisis temporal dilakukan untuk mengamati variasi parameter seismotektonik terhadap waktu. Parameter yang dianalisis meliputi perubahan nilai b-value dan Mc dalam rentang tahunan. Analisis ini menggunakan pendekatan jendela geser (*sliding window*) dengan parameter yang ditampilkan pada Tabel 2, termasuk ukuran jendela sampel, overlap, dan jumlah minimum kejadian gempa bumi [13].

Tabel 2 Parameter perhitungan secara temporal

Parameter	Nilai
Ukuran jendela sampel	80
Overlap	8
Bootstraps	200
Ketidakpastian Mc	0
Binning	0,1
Tingkat kehalusan	5
Jumlah minimal gempabumi	50

Analisis spasial dilakukan untuk memetakan distribusi seismisitas di wilayah Jawa Timur dalam bentuk peta a-value dan b-value. Pemetaan dilakukan menggunakan grid berukuran $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ dengan jarak pencarian konstan 110 km. Setiap grid dianalisis hanya jika memenuhi jumlah minimum kejadian gempabumi dan nilai Mc yang telah ditentukan (Tabel 3). Pendekatan grid spasial ini banyak digunakan untuk mengidentifikasi variasi seismisitas regional hingga lokal [14]. Hasil analisis divisualisasikan dalam bentuk peta kontur untuk menunjukkan variasi spasial tingkat seismisitas di wilayah studi.

Tabel 3 Parameter perhitungan secara spasial

Parameter	Nilai
Jarak konstan (km)	110
Ukuran Grid ($^\circ$)	$0,1 \times 0,1$
Jumlah minimal gempabumi	50
Mc	3,8
Ketidakpastian Mc	0,1

Perhitungan indeks seismisitas dilakukan untuk 38 kabupaten dan kota di Provinsi Jawa Timur menggunakan nilai a-value dan b-value hasil analisis MLE. Probabilitas terjadinya gempabumi dihitung menggunakan fungsi probabilitas Poisson, yang secara luas digunakan dalam analisis bahaya seismik untuk mengasumsikan kejadian gempabumi bersifat acak dan independen dalam rentang waktu tertentu [15].

Probabilitas terjadinya gempabumi dihitung untuk berbagai rentang waktu, baik jangka pendek (3–5 tahun) maupun jangka panjang (10–100 tahun), menggunakan fungsi probabilitas Poisson sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (6).

$$N_i = 10^{(a - \log(b \ln 10) - \log \Delta t - b M_w)} \quad (4)$$

$$\theta_i = \frac{1}{N_i} \quad (5)$$

$$P_i = 1 - e^{-\theta_i T} \quad (6)$$

Visualisasi hasil analisis dilakukan menggunakan ZMAP, Microsoft Excel, dan Origin. Hasil ditampilkan dalam bentuk peta seismisitas, histogram, serta grafik temporal untuk memudahkan interpretasi dan komparasi antarwilayah. Tahap analisis akhir difokuskan pada identifikasi wilayah dengan tingkat seismisitas tinggi sebagai dasar rekomendasi mitigasi bencana gempa bumi.

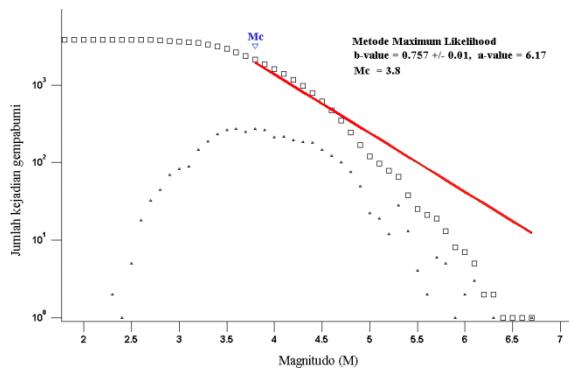
3. Hasil dan Pembahasan

Parameter seismotektonik b-value dan a-value digunakan untuk menggambarkan karakteristik aktivitas kegempaan di wilayah Jawa Timur. Analisis dilakukan melalui evaluasi Frequency–Magnitude Distribution (FMD), variasi b-value secara temporal dan spasial, serta pemetaan a-value secara spasial, kemudian dibandingkan dengan temuan penelitian sebelumnya. Pendekatan ini umum digunakan untuk menilai tingkat seismisitas dan kondisi mekanik batuan di suatu wilayah tektonik aktif [2], [3].

Frequency and Magnitude Distribution (FMD)

Frequency and Magnitude Distribution (FMD) merepresentasikan hubungan antara jumlah kejadian gempabumi dan magnitudo yang mengikutinya, sebagaimana dirumuskan dalam hukum Gutenberg–

Richter. Secara umum, frekuensi kejadian gempabumi menurun secara eksponensial dengan meningkatnya magnitudo. Distribusi FMD untuk wilayah Jawa Timur ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Frequency and Magnitude Disribution (FMD)

Berdasarkan analisis menggunakan metode Maximum Likelihood, diperoleh nilai b-value sebesar 0,757 dengan standar error 0,01, serta a-value sebesar 6,17. Nilai standar error yang rendah ($<0,05$) menunjukkan bahwa estimasi parameter seismotektonik yang dihasilkan memiliki tingkat keandalan yang baik. Nilai b-value sebesar 0,757 tergolong relatif tinggi dan mengindikasikan bahwa wilayah Jawa Timur didominasi oleh kejadian gempabumi bermagnitudo kecil hingga menengah. Kondisi ini umumnya berkaitan dengan batuan yang relatif rapuh dan pelepasan stress yang berlangsung lebih sering dalam skala kecil [3], [14].

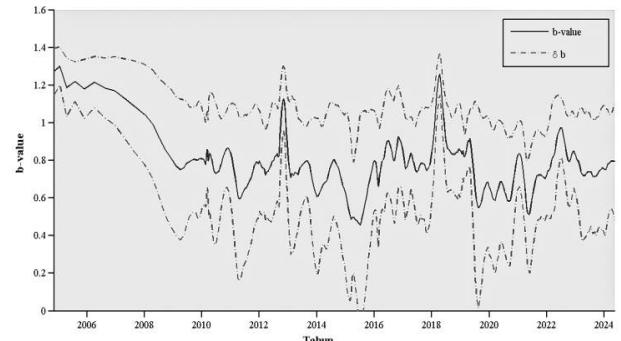
Nilai a-value sebesar 6,17 menunjukkan tingkat seismisitas yang tinggi, yang berarti wilayah Jawa Timur mengalami kejadian gempabumi dengan frekuensi yang relatif sering. Kombinasi nilai a-value tinggi dan b-value sedang–tinggi mengindikasikan bahwa energi tektonik di wilayah ini lebih sering dilepaskan melalui gempabumi kecil hingga menengah, meskipun potensi terjadinya gempabumi besar tetap ada apabila terjadi akumulasi stress dalam jangka waktu tertentu.

Berdasarkan Gambar 2, nilai magnitudo kelengkapan (Mc) ditentukan sebesar 3,8, yang menunjukkan bahwa katalog gempabumi dianggap lengkap untuk kejadian dengan magnitudo $\geq 3,8$. Kejadian dengan magnitudo di bawah Mc tidak digunakan dalam analisis utama karena berpotensi terpengaruh oleh keterbatasan deteksi jaringan seismik. Simbol Δ merepresentasikan frekuensi kumulatif, sedangkan simbol \circ menunjukkan frekuensi kejadian tiap kelas magnitudo. Garis miring merah menunjukkan gradien hubungan Gutenberg-Richter yang merepresentasikan nilai b-value [2], [7].

Variasi Nilai b-value Secara Temporal

Analisis temporal dilakukan untuk mengamati perubahan nilai b-value terhadap waktu, yang dapat mencerminkan dinamika stress dan kondisi mekanik batuan di kerak bumi. Hasil analisis temporal ditunjukkan pada Gambar

3, dengan garis hitam tebal merepresentasikan nilai b-value dan garis putus-putus menunjukkan batas deviasi standar.



Gambar 3. Pemetaan b-value secara temporal

Secara temporal, nilai b-value di wilayah Jawa Timur berfluktuasi dalam rentang 0,5–1,3. Variasi ini menunjukkan bahwa kondisi stress dan kerapuhan batuan di wilayah studi tidak bersifat statis, melainkan mengalami perubahan dari waktu ke waktu. Peningkatan nilai b-value yang relatif signifikan teramati pada tahun 2013, 2018, dan 2023, yang diinterpretasikan sebagai periode dominasi kejadian gempabumi bermagnitudo kecil. Kondisi ini umumnya dikaitkan dengan pelepasan stress secara bertahap tanpa akumulasi energi yang signifikan [3].

Sebaliknya, penurunan nilai b-value yang cukup jelas teramati pada tahun 2009, 2011, 2015, dan 2019. Penurunan b-value sering diasosiasikan dengan meningkatnya stress efektif di dalam batuan dan berkurangnya jumlah kejadian gempabumi kecil, yang berpotensi mendahului terjadinya gempabumi bermagnitudo lebih besar [16], [14]. Variasi nilai b-value juga dapat dipengaruhi oleh perubahan tingkat rekanan batuan, tekanan fluida pori, serta heterogenitas struktur geologi di kerak bumi.

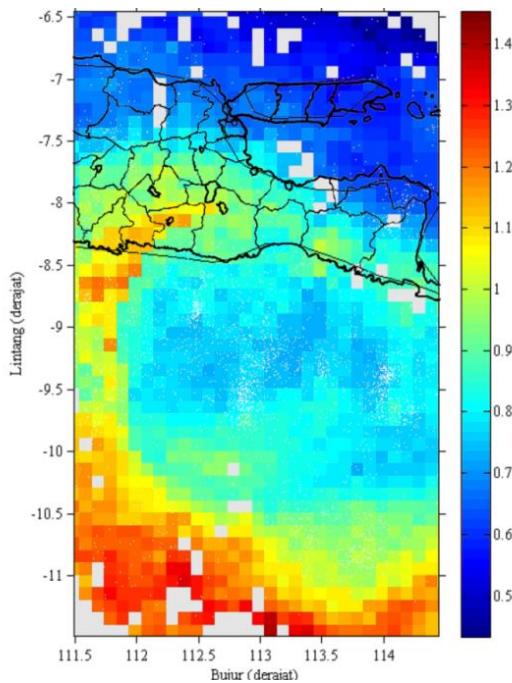
Meskipun beberapa penelitian menyebutkan bahwa penurunan b-value dapat berperan sebagai indikator perubahan kondisi tektonik sebelum kejadian gempabumi besar, interpretasi ini perlu dilakukan dengan hati-hati dan tidak bersifat deterministik. Dalam konteks wilayah Jawa Timur, variasi b-value menunjukkan adanya dinamika stress tektonik yang kompleks dan berhubungan dengan aktivitas subduksi di selatan Pulau Jawa.

Distribusi Nilai b-value Secara Spasial

Pemetaan b-value secara spasial bertujuan untuk mengidentifikasi variasi kerapuhan batuan dan kondisi tegangan di wilayah Jawa Timur. Hasil pemetaan menunjukkan bahwa nilai b-value secara spasial berkisar antara 0,6–1,2, dengan variasi yang cukup kontras antara bagian selatan dan utara wilayah studi (Gambar 4).

Wilayah Jawa Timur bagian selatan, seperti Kabupaten Blitar, Tulungagung, dan Trenggalek, didominasi oleh nilai b-value yang relatif tinggi. Wilayah ini termasuk dalam jalur Pegunungan Selatan Jawa Timur yang secara

geologi tersusun oleh batuan sedimen dan karbonat yang relatif lebih rapuh, sehingga cenderung menghasilkan gempabumi bermagnitudo kecil hingga menengah dengan frekuensi yang lebih tinggi [17], [1].



Gambar 4. Pemetaan spasial b-value

Sebaliknya, wilayah dengan nilai b-value rendah (sekitar 0,6–0,7) umumnya teramati di bagian utara dan timur Jawa Timur, seperti Kabupaten Bangkalan, Sampang, Pamekasan, Sumenep, dan Kota Surabaya. Nilai b-value yang rendah mengindikasikan dominasi stress yang lebih tinggi dan potensi akumulasi energi yang lebih besar, sehingga wilayah ini berpotensi mengalami gempabumi dengan magnitudo relatif lebih besar meskipun frekuensinya lebih jarang.

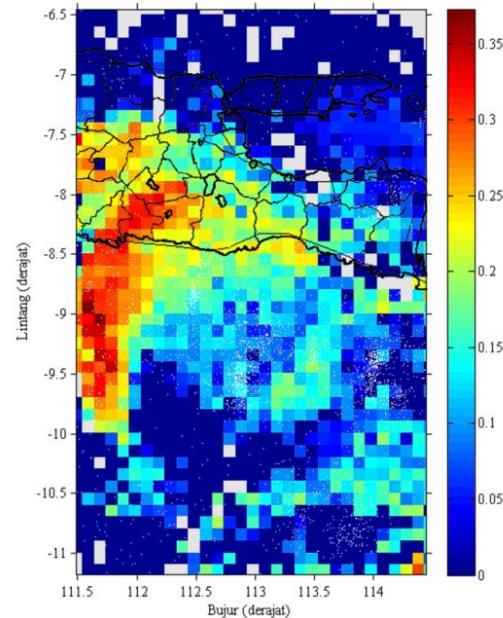
Standar error nilai b-value berkisar antara 0–0,3 (Gambar 5). Nilai standar error yang relatif tinggi terutama dijumpai di wilayah dengan jumlah kejadian gempabumi yang terbatas, khususnya di Jawa Timur bagian utara, yang mencerminkan keterbatasan resolusi data katalog di wilayah tersebut.

Distribusi Nilai a-value Secara Spasial

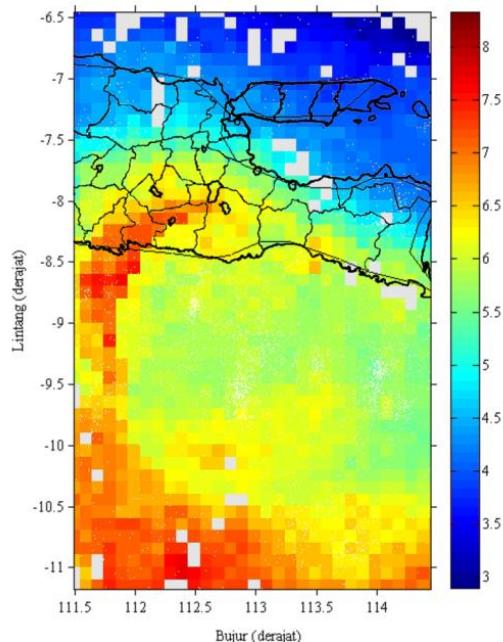
Nilai a-value merepresentasikan tingkat aktivitas seismik atau frekuensi kejadian gempabumi di suatu wilayah. Pemetaan a-value secara spasial (Gambar 6) menunjukkan bahwa nilai a-value di Jawa Timur bervariasi dalam rentang 3–8, dengan pola yang konsisten terhadap kondisi tektonik regional.

Wilayah Jawa Timur bagian selatan menunjukkan nilai a-value yang relatif tinggi, terutama di Kabupaten Tulungagung dan sekitarnya, yang mengindikasikan tingkat kejadian gempabumi yang lebih sering. Pola ini berkorelasi dengan kedekatan wilayah tersebut terhadap zona subduksi selatan Jawa, di mana Lempeng Indo-

Australia menunjam ke bawah Lempeng Eurasia dan menghasilkan aktivitas seismik yang intens [18], [1].



Gambar 5. Pemetaan standar error b-value



Gambar 6. Pemetaan spasial a-value

Sebaliknya, wilayah dengan nilai a-value lebih rendah menunjukkan frekuensi kejadian gempabumi yang lebih sedikit, meskipun tidak secara langsung mengindikasikan tingkat bahaya yang lebih rendah. Kombinasi antara nilai a-value dan b-value diperlukan untuk memahami karakteristik seismisitas secara komprehensif.

Selain menggambarkan tingkat aktivitas seismik regional, hasil pemetaan parameter b-value dan a-value dalam

penelitian ini berpotensi untuk diintegrasikan dengan analisis bahaya seismik probabilistik (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis / PSHA*) maupun studi mikrozonasi seismik. Integrasi tersebut dapat meningkatkan resolusi penilaian bahaya gempabumi, khususnya dalam mengakomodasi variasi kondisi seismotektonik lokal di wilayah Jawa Timur, sehingga lebih aplikatif untuk perencanaan tata ruang dan mitigasi bencana berbasis risiko.

4. Kesimpulan

Hasil analisis FMD dan pemetaan parameter a-value dan b-value menunjukkan bahwa wilayah Jawa Timur memiliki tingkat seismisitas yang relatif tinggi dengan dominasi gempabumi bermagnitudo kecil hingga menengah. Nilai b-value sebesar 0,757 mengindikasikan kondisi batuan yang relatif rapuh dan dinamika stress tektonik yang aktif, sedangkan nilai a-value sebesar 6,17 mencerminkan frekuensi kejadian gempabumi yang cukup tinggi. Variasi spasial menunjukkan bahwa wilayah selatan Jawa Timur memiliki kombinasi a-value dan b-value yang lebih tinggi akibat pengaruh zona subduksi selatan Jawa. Pemetaan parameter seismotektonik ini efektif untuk menggambarkan karakteristik kegempaan regional dan berpotensi mendukung perencanaan mitigasi bencana gempabumi secara berkelanjutan.

Saran

Penelitian ini dapat diterapkan di wilayah lain di Indonesia untuk identifikasi potensi gempabumi sebagai dasar mitigasi bencana. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan katalog kegempaan yang telah diklasifikasikan berdasarkan jenis sumber gempabumi agar analisis parameter seismik lebih representatif. Hasil penelitian ini juga dapat dimanfaatkan oleh Pemerintah Provinsi Jawa Timur dalam mendukung peningkatan kesiapsiagaan masyarakat, khususnya di Kabupaten Blitar, Tulungagung, dan Trenggalek.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, masukan, dan kontribusi dalam pelaksanaan serta penyusunan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Stasiun Geofisika Kelas I Sleman BMKG Yogyakarta atas penyediaan data, fasilitas, dan dukungan selama penelitian berlangsung.

Daftar Pustaka

- [1] R. Hall, "Late Jurassic–Cenozoic reconstructions of the Indonesian region," *Tectonophysics*, vol. 570–571, pp. 1–41, 2012.
- [2] B. Gutenberg and C. F. Richter, "Magnitude and energy of earthquakes," *Annali di Geofisica*, vol. 9, pp. 1–15, 1956.
- [3] C. H. Scholz, "On the stress dependence of the earthquake b value," *Geophysical Research Letters*, vol. 42, no. 5, pp. 1399–1402, 2015.
- [4] U. Chasanah and E. Handoyo, "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*, vol. 11, no. 2, pp. 210–219, 2021. <https://doi.org/10.13057/ijap.v11i2.45984>
- [5] Linda, N. Ihsan, and P. Palloan, "Analisis distribusi spasial dan temporal seismotektonik berdasarkan nilai b-value dengan menggunakan metode likelihood di Pulau Jawa," *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, vol. 15, no. 1, pp. 16–31, 2019. <https://doi.org/10.35580/jspf.v15i1.9403>
- [6] F. N. Ernandi and Madlazim, "Analisis variasi a-value dan b-value menggunakan software ZMAP sebagai indikator potensi gempabumi di wilayah Nusa Tenggara Barat," *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, vol. 9, no. 3, pp. 24–30, 2020. <https://doi.org/10.26740/ifi.v9n3.p24-30>
- [7] J. Woessner and S. Wiemer, "Assessing the quality of earthquake catalogs: Estimating the magnitude of completeness and its uncertainty," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 95, no. 2, pp. 684–698, 2005.
- [8] IRIS, Incorporated Research Institutions for Seismology: Data Services Products, 2023.
- [9] H. Kanamori, "The energy release in great earthquakes," *Journal of Geophysical Research*, vol. 82, no. 20, pp. 2981–2987, 1977.
- [10] P. Reasenberg, "Second-order moment of central California seismicity, 1969–1982," *Journal of Geophysical Research*, vol. 90, no. B7, pp. 5479–5495, 1985.
- [11] T. Utsu, "A statistical significance test of the difference in b-value between two earthquake groups," *Journal of Physics of the Earth*, vol. 14, pp. 37–40, 1966.
- [12] S. Wiemer and M. Wyss, "Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 90, no. 4, pp. 859–869, 2000.
- [13] S. Wiemer, "A software package to analyze seismicity: ZMAP," *Seismological Research Letters*, vol. 72, no. 3, pp. 373–382, 2001.
- [14] S. Wiemer and M. Wyss, "Mapping spatial variability of the b-value," *Advances in Geophysics*, vol. 45, pp. 259–302, 2002.
- [15] C. Lomnitz, "Fundamental concepts of earthquake hazard," *Seismological Research Letters*, vol. 65, no. 2, pp. 77–83, 1994.
- [16] M. Wyss, K. Shimazaki, and S. Wiemer, "Mapping active magma chambers by b values beneath the off-Ito volcano, Japan," *Journal of Geophysical Research*, vol. 102, no. B9, pp. 20413–20422, 1997.
- [17] R. W. van Bemmelen, *The Geology of Indonesia*, Vol. IA, The Hague: Government Printing Office, 1949.
- [18] W. Hamilton, *Tectonics of the Indonesian Region*, U.S. Geological Survey Professional Paper 1078, 1979.