JPFS 9 (2) 2026 315-328

Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains (JPFS)

Journal homepage: http:// journal.unucirebon.ac.id/index.php/jpfs

Analisis Temporal Seismisitas Dan B-Value Gempa Bumi Di Banten Selatan Periode 2016-2025

Ana Nurjanah[1], Ridanati Nurbayah[2*], Dinda Ayu A. Putri[3], Dian Herdianingsih[4], Akhmad Fadholi[5], Yuvita Oktarisa[6], Hayatining Suci Abdilah[7], Rudi Haryadi[8]

[1,2,6,7,8]Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

[3]Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Geofisika Kelas 1 Serang

[4,5]Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Meteorologi Maritim Kelas 1 Merak

*Email: **iduttt72@gmail.com**

DOI: https://doi.org/10.52188/jpfs.v9i2.2550

Accepted: 17 Oktober 2026 Approved: 12 November 2026 Published: 23 November 2026

ABSTRAK

Wilayah Banten Selatan merupakan salah satu wilayah yang berada pada zona subduksi lempeng sehingga rawan terjadi gempa bumi, tetapi kajian seismisitas yang ada memakai katalog sebelum gempa Pandeglang 2022 dan belum menguji persepsi masyarakat bahwa gempa lebih sering terjadi pada akhir tahun. Tujuan penelitian ini menguji pola musiman kejadian gempa bumi dan menganalisis variasi temporal nilai b dengan memperhitungkan magnitudo kelengkapan. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif terhadap 3.548 kejadian gempa bumi selama 2016-2025 dari katalog Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika tanpa proses declustering. Magnitudo dikonversi ke magnitudo momen, nilai b diestimasi dengan metode kemungkinan maksimum berdasarkan relasi Gutenberg Ritcher, dan sebaran bulanan diuji dengan uji chi-kuadrat. Hasil menunjukkan magnitudo kelengkapan 2,5 dengan 1.908 kejadian memenuhi kriteria dan nilai b total $0{,}678 \pm 0{,}016$. Nilai b tahunan berkisar $0{,}55 - 0{,}92$ pada Mc tetap dan $0{,}60 - 0{,}97$ pada Mc dinamis, dengan galat baku $0{,}03 - 0{,}09$. Jumlah kejadian bulanan 252-396, tertinggi pada Januari dan terendah pada November. Sebaran antar bulan tidak seragam ($p < 0{,}001$) terutama akibat Januari, tetapi proporsi kejadian Oktober-Desember tidak lebih tinggi daripada yang diharapkan ($p = 0{,}216$) sehingga tidak ada peningkatan pada akhir tahun. Variasi temporal nilai b bersifat deskriptif dan belum dapat dikaitkan secara sebab-akibat dengan kejadian gempa besar, penggunaan katalog tanpa declustering menjadi keterbatasan penelitian.

Kata kunci: Seismisitas, Nilai B, Magnitudo Kelengkapan, Variasi Temporal, Banten Selatan

ABSTRACT

South Banten is located in a plate subduction zone and is therefore prone to earthquakes, but existing seismicity studies use catalogs that predate the 2022 Pandeglang earthquake and have not tested the public perception that earthquakes occur more often at the end of the year. This study aims to test the seasonal pattern of earthquake occurrence and to analyze the temporal variation of the b-value while accounting for the magnitude of completeness. The study used a quantitative descriptive approach on 3,548 earthquakes recorded during 2016-2025 in the catalog of the Indonesian Agency for Meteorology, Climatology, and Geophysics, without declustering. Magnitudes were converted to moment magnitude, the b-value was estimated using the maximum likelihood method based on the Gutenberg–Richter relation, and the monthly distribution was tested with a chi-square test. The results show a magnitude of completeness of 2.5, with 1,908 events meeting the criterion, and an overall b-value of 0.678 ± 0.016. The annual b-value ranged from 0.55 to 0.92 with a fixed Mc and from 0.60 to 0.97 with a dynamic

Mc, with standard errors of 0.03-0.09. Monthly earthquake counts ranged from 252 to 396, with the highest in January and the lowest in November. The monthly distribution was not uniform ($p < 0.001$), mainly because of January, but the share of events in October–December was not higher than expected ($p = 0.216$) indicating no increase at the end of the year. The temporal variation of the b-value is descriptive and cannot yet be causally linked to large earthquakes, the use of a catalog without declustering is a limitation of this study.

Keyword: seismicity, b-value, magnitude of completeness, temporal variation, South Banten

@2026 Pendidikan Fisika FKIP Universitas Nahdlatul Ulama Cirebon

PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah getaran bumi yang terjadi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi. Menurut teori yang dikemukakan oleh seismolog Reid menyatakan bahwa gempa bumi merupakan gejala alam yang disebabkan oleh pelepasan energi regangan batuan yang disebabkan adanya deformasi batuan yang terjadi di litosfer (Fulki, 2011). Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat aktivitas seismik tertinggi di dunia karena terletak di pertemuan empat lempeng utama (Sunardi et al, 2017). Kondisi ini dipengaruhi oleh aktivitas konvergensi subduksi Lempeng Indo-Australia yang menunjam di bawah Lempeng Eurasia sepanjang zona sunda *Megathrust*. Dinamika konvergensi lempeng yang terus menerus menyebabkan akumulasi energi akibat tekanan tektonik pada bantuan penyusun kerak bumi. Ketika tegangan melebihi batas elastisitas batuan, energi akan dilepaskan dan memicu terjadinya gempa bumi tektonik. Hutchings dan Mooney (2021) mengkaji kondisi seismisitas serta implikasi tektonik di Indonesia, yang menunjukkan pentingnya memahami struktur tektonik serta karakteristik sumber gempa dalam menganalisis aktivitas kegempaan di daerah tersebut.

Salah satu kawasan dengan tingkat kegempaan yang tinggi akibat struktur tektoniknya ialah wilayah Banten Selatan. Kondisi tektonik ini sangat dipengaruhi oleh subduksi Lempeng Indo-Australia yang menunjam di bawah Lempeng Eurasia sepanjang Sunda *Megathrust*, serta adanya sesar aktif (PusGen, 2017). Dampak nyata dari konvergensi terlihat dalam sejumlah kejadian gempa bumi yang merusak, menurut rekam jejak BMKG menyatakan terjadinya gempa tektonik dangkal berkekuatan M 6,6 pada 14 Januari 2022 di sebelah Barat Daya Pandeglang, yang disebabkan oleh mekanisme sesar naik (*thrust fault*) di zona subduksi yang menimbulkan kerusakan bangunan di Kabupaten Pandeglang (KompasTV, 2022).

Seismisitas merupakan ukuran kuantitatif untuk menggambarkan aktivitas kegempaan suatu wilayah. Kajian periode 1958-2018 di selatan Jawa Barat dan Banten, indeks seismisitas untuk gempa $M \geq 4$ tercatat sebesar 0,632, dengan periode ulang 1 – 4 tahun untuk gempa M 5 (Hilmi et al, 2019). Namun, tingkat keaktifan seismik bersifat dinamis sehingga perlu ditinjau dari waktu ke waktu, salah satunya melalui parameter b-value yang menggambarkan komposisi ukuran gempa. Gutenberg dan Ritcher (1994) menjelaskan hubungan antara frekuensi dan magnitudo gempa bumi, yang menunjukkan bahwa jumlah kejadian gempa bisanya berkurang seiring dengan meningkatnya magnitudo. Hubungan itu menjadi landasan dalam mendeskripsikan sebaran magnitudo dan sifat aktivitas seismik di suatu daerah. Selanjtnya, Aki (1965) membahas estimasi nilai b melalui metode kemungkinan maksimum sebagai pendekatan kuantitatif dalam menganalisis hubungan frekuensi-magnitudo gempa bumi.

Nilai *b-value* menggambarkan distribusi frekuensi gempa berdasarkan magnitudo. Secara fisis, *b-value* mencerminkan rasio frekuensi gempa bumi berkekuatan rendah terhadap frekuensi gempa bumi berkekuatan tinggi di suatu zona seismik (Ernandi & Madlazim, 2020). *b-value* yang rendah menunjukkan bahwa medium batuan memiliki tingkat ketahanan tinggi sehingga menyimpan akumulasi *stress* tektonik yang besar sebelum akhirnya mengalami kegagalan (Wiemer & Wyss, 2000). Penentuan nilai *b-value* dilakukan dengan metode *maximum likelihood* dan memerlukan nilai *magnitude of completeness* (Mc), yaitu magnitudo minimum ketika katalog gempa dianggap telah lengkap. Dengan demikian, hanya kejadian gempa dengan magnitudo $\geq$ Mc yang dapat digunakan sebagai parameter Gutenberg-Ritcher.

Nilai b-value tidak bersifat konstan terhadap waktu, sehingga analisis temporal diperlukan untuk mengamati perubahan kondisi tegangan selama periode pengamatan. Tren penurunan temporal

disebabkan oleh batuan di zona sesar yang mengalami beban tegangan yang sangat tinggi, sehingga menahan retakan mikroseismik hingga mencapai batas saturasi fisiknya (Ernandi & Madlazim, 2020). Pada skala urutan gempa, nilai b-value dan Mc dapat berfluktuasi seiring bertambahnya jumlah dan sebaran sensor seismik (Bunaga et al, 2025). Oleh karena itu, perubahan b-value dari waktu ke waktu perlu dipisahkan dari efek keterbatasan katalog sebelum dimaknai sebagai perubahan kondisi tegangan. Estimasi *b-value* bisa mengalami bias ketika jumlah sampel dan rentang magnitudo dalam katalog terbatas, terutama jumlah sampel dan rentang magnitudo dalam katalog terbatas, terutama jika model distribusi yang diterapkan tidak cocok dengan karakteristik data. Oleh karena itu, pemahaman variasi *b-value* haru memperhitungkan jumlah peristiwa yang memenuhi syarat analisis dan ketidakpastian estimasi, serta tetap memperhatikan perubahan nilai dari tahun ke tahun (Geffers et al, 2022).

Variasi temporal dan spasial dari b-value dan z-value pada kejadian gempa di Jawa Timur selama periode 2002-2022. Studi tersebut mengidentifiskasi terjadinya penuruanan b-value pada beberapa gempa penting yang telah dianalisis. Walaupun begitu, pola itu adalah hasil dari wilayah dan katalog penelitian mereka (Hisyam et al., 2024). Selain variasi b-value, di kalangan masyarakat setempat berkembang persepsi bahwa frekuensi gempa meningkat pada akhir tahun. Persepsi ini perlu diuji secara ilmiah karena pola yang tampak belum tentu merupakan pola musiman yang nyata dan dapat muncul secara kebetulan. Studi di Himalaya Nepal memperlihatkan bahwa seismisitas dapat termodulasi secara musiman, yakni jumlah gempa musim panas sekitar 37% lebih sedikit daripada musim dingin. Pola tersebut diuji terhadap kemungkinan terjadi secara acak menggunakan katalog sintetis (Bollinger et al, 2007). Namun, penyebab modulasi di Nepal dikaitkan dengan beban hidrologi monsun setempat sehingga temuan tersebut belum dapat dinyatakan berlaku di Banten Selatan dan memerlukan pengujian pada katalog wilayah ini.

Pembaruan penelitian ini terletak pada periode analisis 2016–2025, yaitu sepuluh tahun terbaru yang mencakup gempa Pandeglang M 6,6 tahun 2022 beserta rangkaian gempa susulan dan fase pasca kejadiannya. Kajian seismisitas dan b-value di Jawa Barat dan Banten yang tersedia menggunakan katalog jangka panjang yang berakhir sebelum gempa tersebut, yaitu periode 1958–2018 serta ber-skala Jawa Barat dan Banten sehingga tidak secara khusus memperlihatkan dinamika tingkat Banten Selatan dan kondisi pasca gempa 2022 (Prananda et al, 2022). Studi di wilayah Bali dan Nusa Tenggara juga menunjukkan bahwa nilai Mc dan b-value berubah dari tahun ke tahun seiring perkembangan jaringan sensor (Bunaga et al, 2007), sehingga variasi temporal b-value dapat dinyatakan sebagai perubahan kondisi tegangan setelah Mc diperhitungkan. Kajian yang secara khusus menelusuri variasi temporal seismisitas dan b-value di Banten Selatan hingga tahun 2025 dengan mempertimbangkan Mc masih terbatas. Hal ini mendesak untuk dijawab karena wilayah ini baru mengalami gempa merusak pada tahun 2022, sedangkan persepsi masyarakat yang belum diuji dan interpretasi tegangan yang mengabaikan keterbatasan katalog dapat menyebabkan kekeliruan serta melemahkan dasar upaya mitigasi.

Berdasarkan latar belakang, penelitian ini bertujuan untuk menguji secara ilmiah persepsi lokal mengenai musiman frekuensi gempa pada akhir tahun. Selain itu, penelitian juga menganalisis fluktuasi temporal *b-value* dengan mempertimbangkan nilai Mc guna mengidentifikasi periode kondisi tegangan tinggi. Dan menyediakan data dasar untuk mendukung mitigasi bencana dan pemetaan wilayah rawan gempa bumi di Banten Selatan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan menghasilkan kejelasan apakah pola akhir tahun benar-benar ada, gambaran waktu ketika kondisi tegangan batuan meningkat, serta dasar data yang lebih akurat bagi upaya mitigasi di Banten Selatan.

METODE

Penelitian seismotektonik ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif eksploratif. Desain penelitian yang digunakan adalah *Ex Post Facto*, hal ini didasarkan pada karakteristik data yang merupakan peristiwa alam di masa lalu. Penelitian difokuskan untuk menganalisis secara empiris hubungan frekuensi magnitudo serta variasi temporal parameter b-value menggunakan relasi Gutenberg-Richter dan metode estimasi Kemungkinan Maksimum (*Maximum Likelihood Estimation* / MLE).

Penelitian dilakukan di Stasiun Meteorologi Maritim Kelas I Merak, dengan data yang digunakan berupa data katalog gempa bumi sekunder selama periode 1 Januari 2016 sampai 31 Desember 2025. Penelitian ini menganalisis aktivitas seismisitas di wilayah Banten Selatan dan sekitarnya dengan batas koordinat $6,0°\ LS - 9,0°\ LS$ dan $104,5°\ BT - 107,0°\ BT$. Analisis dilakukan

terhadap seluruh kejadian yang tercatat dalam batas spasial dan temporal tersebut serta memiliki parameter lengkap (waktu kejadian, koordinat, kedalaman, dan magnitudo) yang dilakukan tanpa proses *declustering*.

Pengolahan data gempa berupa konversi skala Magnitudo pada katalog (M) ke magnitudo momen (Mw) melalui dua tahap. Tahap pertama menghitung momen seismik (M_0) dengan hubungan empiris dari studi statistik Wells & Coppersmith 1994 untuk semua jenis sesar. Luas rupture (A, Km^2) dan slip rata-rata ($\underline{D}, m$) diestimasi dari M dengan Persamaan (2) dan (3), kemudian M_0 dihitung dengan Persamaan (1), dengan A dikonversi ke m^2 (dikalikan 10^6). Tahap kedua mengonversi M_0 ke Mw dengan Persamaan (4) (Gunawan dkk., 2020).

$$M_o = \mu.\underline{D}.A \quad (1)$$

$$logA = -3{,}42 + (0{,}90.M) \quad (2)$$

$$log\underline{D} = -4{,}80 + (0{,}57.M) \quad (3)$$

$$M_w = \left(\frac{2}{3}\right).log\ M_o - 6{,}0 \quad (4)$$

Keterangan:

A ; Luas bidang patahan (km^2)

$\underline{D}$; Rata-rata pergeseran bidang (m)

M_0; Momen Seismik ($N.m$)

Nilai Rigiditas Batuan (μ) adalah nilai lapisan litosfer sebesar $3 \times 10^{10}\ N/m^2$ (Wells dan Coppersmith, 1994 sebagaimana dikutip dalam Gunawan et al, 2020).

Nilai Mc ditentukan dengan metode MLE pada katalog Mw, karena penentuan Mc sangat berpengaruh terhadap nilai b (Prananda et al, 2022). Gempa dengan magnitudo di bawah Mc tidak diikutsertakan dalam analisis frekuensi-magnitudo. Hubungan jumlah kumulatif gempa dengan magnitudo dinyatakan oleh relasi Gutenberg-Richter:

$$Log10\ N(M) = a - b.M \quad (5)$$

dengan $N(M)$ jumlah kumulatif gempa bermagnitudo ≥ M, a tingkat seismisitas lokal, dan b kemiringan kurva frekuensi-magnitudo yang berkaitan dengan tingkat kerapuhan batuan dan tegangan (Hilmi dkk., 2019; Prananda dkk., 2022).

Nilai b diestimasi dengan metode *Maximum Likelihood* (MLE);

$$b = \frac{e}{\underline{M} - M_c} \approx \frac{0{,}4343}{\underline{M} - M_c} \quad (6)$$

dengan $\bar{M}$ rata-rata magnitudo gempa di atas Mc (Hilmi et al, 2019; Prananda et al., 2022).

Analisis variasi temporal dilakukan dengan dua cara. Pertama, distribusi frekuensi gempa bulanan diuji untuk mengetahui fenomena *seasonality* (persepsi gempa lebih sering pada akhir tahun) berdasarkan hipotesis sebaran seragam antarbulan. Pengujia utama menggunakan uji chi-kuadrat kesesuaian (*goodness-of-fit*) dengan hipotesis nol (H_0) bahwa gempa bumi tersebar seragam sepanjang tahun, sehingga frekuensi harapan berada di atas 5 hingga syarat pendekatan chi-kuadrat terpenuhi. Pengujian pelengkap berupa uji binomial terhadap proporsi kejadian pada Oktober-Desember dan September-Desember dibandingkan proporsi harapannya, serta uji Rayleigh terhadap sikulus tahunan. Kriteria keputusan menggunakan taraf signifikansi $\alpha = 0{,}05 :\ H_0$ ditolak apabila nilai $p < 0{,}05$ dan tidak ditolak apabila $p \geq 0{,}05$.

Kedua, fluktuasi *b-value* dianalisis menggunakan jendela waktu bergerak berukuran 100 kejadian dengan pergeseran 10 kejadian pada setiap perhitungan (Prananda et al., 2022). Ukuran 100 kejadian dipilih sebagai kompromi antara jumlah sampel yang memadai dan resolusi temporal, galat baku estimasi b mengikuti $\sigma \approx b/\sqrt{N}$ (Aki, 1965) sehingga N = 100 menghasilkan ketidakpastian relatif sekitar 10%, sedangkan sampel yang lebih kecil rentan menghasilkan estimasi yang bias (Geffers et al., 2022). Pergeseran 10 kejadian (tumpang tindih 90%) menjaga konsistensi kurva sehingga perubahan b-value dapat ditelusuri secara bertahap, konsekuensinya nilai pada jendela yang berdekatan

tidak saling bebas. Selain itu, nilai b dihitung per tahun pada dua skema Mc, yaitu Mc tetap (2,5) dan Mc dinamis yang ditentukan pada tiap tahun, dengan ketidakpastian dinyatakan sebagai galat baku $\sigma \approx b/\sqrt{N}$ (Aki, 1965), N adalah jumlah kejadian dengan magnitudo $\geq Mc$.

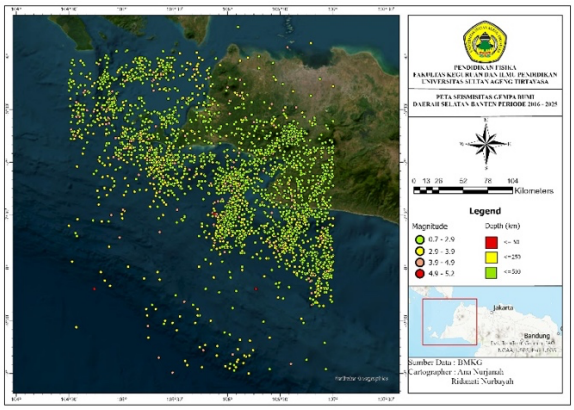
Perubahan nilai b-value dibandingkan secara deskriptif dengan waktu kejadian gempa besar, yaitu gempa dengan $Mw \geq 5{,}5$. Ambang ini mengacu pada batas gempa signifikan menurut BMKG (2019), yaitu gempa yang dirasakan masyarakat ialah gempa bermagnitudo $\geq 5{,}5$. Perbandingan tersebut hanya bersifat deskriptif dan tidak dimaksudkan untuk menguji hubungan sebab-akibat maupun kemampuan prediktif b-value.

Katalog dianalisis tanpa proses *declustering* karena penelitian ini bersifat deskriptif dan menguji persepsi masyarakat yang didasarkan pada seluruh kejadian yang tercatat, sehingga seluruh kejadian dipertahankan. Konsekuensi gempa susulan dan kejadian berkelompok ikut terhitung, termasuk rangkaian gempa susulan gempa Pandeglang Mw 6,6 pada 14 Januari 2022. Pengaruhnya dipertimbangkan dengan tiga cara; pertama, hasil uji statistik bulanan di interpretasikan dengan hati-hati karena asumsi independensi antar kejadian tidak terpenuhi sehingga nilai p cenderung lebih kecil daripada nilai sebenarnya. Kedua, variasi b-value pada 2022 dan tahun sesudahnya tidak ditafsirkan sebagai perubahan tegangan batuan tanpa konfirmasi lebih lanjut. Dan ketiga, pengaruh gempa susulan dibahas sebagai keterbatasan penelitian pada bab Pembahasan.

Analisis dan pemetaan data dilakukan menggunakan Microsoft Excel untuk penyaringan katalog dan rekapitulasi frekuensi bulanan, Python dengan pustaka ObsPy, Pandas, dan SciPy untuk homogenisasi magnitudo, uji statistik bulanan, penentuan Mc, estimasi *b-value*, dan pengolahan jendela waktu bergerak, serta ArcGIS untuk visualisasi spasial temporal.

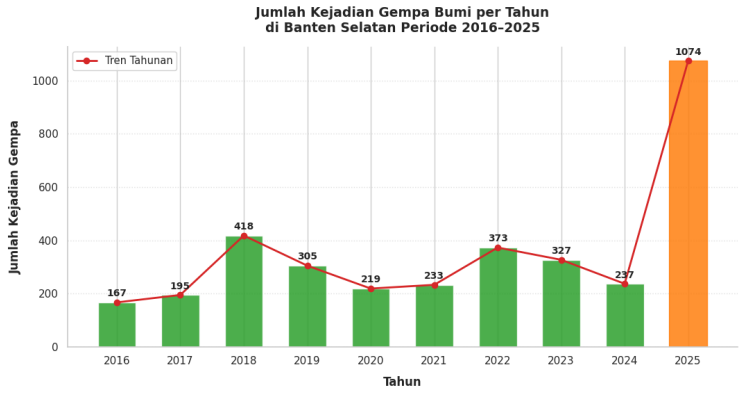
HASIL

Banyaknya data gempa bumi yang diperoleh dari katalog BMKG pada penelitian ini adalah 3.548 data dengan kisaran magnitudo $0{,}7 - 5{,}2\ Mw$ untuk periode 2016−2025. Peta persebaran seismisitas ditunjukkan pada Gambar 1, yang memperlihatkan bahwa kejadian gempa bumi tersebar pada batas koordinat $6{,}0°\ LS - 9{,}0°\ LS$ dan $104{,}5°\ BT - 107{,}0°\ BT$, baik di daratan maupun di perairan Banten Selatan. Kedalaman hiposenter tergolong dalam rentang kedalaman $h \leq 60\ km$ (gempa dangkal hingga menengah) yang terpusat di sepanjang jalur subduksi dan jaringan patahan aktif lokal maupun regional. Distribusi magnitudo gempa bumi didominasi oleh kejadian bermagnitido kecil, yaitu kelas magnitudo $0{,}7 - 2{,}9$ (hijau) sebanyak 2.583 kejadian dan kelas magnitudo $2{,}9 - 3{,}9$ (kuning) sebanyak 796 kejadian. Sementara itu, gempa bumi kelas menengah dengan magnitudo $3{,}9 - 4{,}9$ (oranye) tercatat sebanyak 160 kejadian, dan gempa bumi bermagnitudo $4{,}9 - 5{,}2$ (merah) tercatat sebanyak 9 kejadian yang tampak pada tititk-titik terpisah di perairan selatan. Secara keseluruhan, sebaran gempa bumi terakumulasi pada lintang $6{,}0°\ LS - 8{,}0°\ LS$. Kawasan dengan kepadatan seismisitas tinggi terkonsentrasi di empat area utama, yaitu sekitar Selat Sunda, daerah pesisir tengah Banten, bagian timur Banten Selatan, serta wilayah perairan barat laut. Semakin ke arah selatan melewati koordinat $8{,}0°\ LS$, frekuensi terjadinya gempa bumi menunjukkan penurunan yang signifikan dengan penyebaran titik gempa yang semakin renggang di perairan hingga batas wilayah penelitian di $107{,}0°\ BT$. Garis grid pada Gambar 1 menunjukkan koordinat lintang dan bujur dengan interval 30 menit busur.



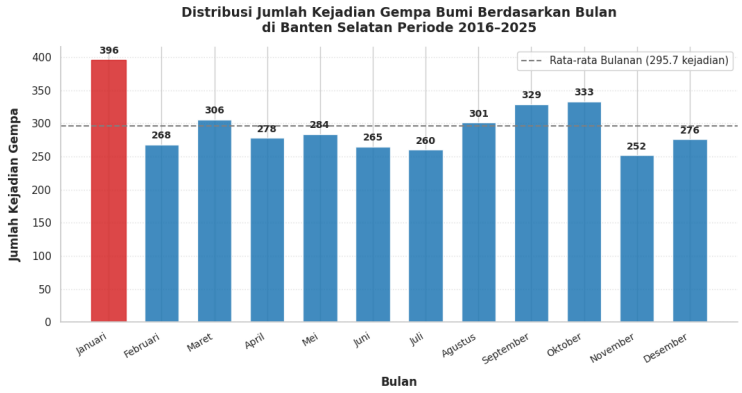
Gambar 1. Peta Seismisitas Daerah Selatan Banten Periode 2016-2025

Hasil pengolahan data tahunan selama periode 2016-2025 menunjukkan 3.548 kejadian gempa bumi yang terjadi di Banten Selatan. Aktivitas kejadian terendah tercatat 167 kejadian pada tahun 2016, yang kemudian meningkat menjadi 195 kejadian di tahun 2017 dan 418 kejadian pada 2018. Pada tahun 2019-2021, frekuensi gempa bumi relatif stabil di kisaran 200-300 kejadian, dan kembali tercatat naik kembali menjadi 373 kejadian pada 2022 saat terjadinya gempa Pandeglang Mw 6,6. Kemudian berangsur turun pada tahun 2023 menjadi 327 kejadian, dan 237 kejadian pada tahun 2024. Aktivitas kejadian tertinggi tercatat di tahun 2025 dengan 1.074 kejadian atau 30,3 % dari kejadian selama 10 tahun pengamatan. Perubahan jumlah kejadian gempa bumi tahunan tersaji pada gambar 2.



Gambar 2. Jumlah Kejadian Gempa Bumi per-Tahun di Banten Selatan Periode 2016-2025

Berdasarkan hasil pengolahan distribusi bulanan, jumlah kejadian gempa perbulan antara 252-396 dengan rata-rata seismisitas sebesar 295,7 kejadian. Jumlah kejadian tertinggi tercatat pada bulan Januari dengan 396 kejadian. Dan jumlah kejadian terendah tercatat pada bulan november dengan 252 kejadian. Bulan oktober, september, Maret, dan agustus tercatat sebagai 4 bulan yang kejadiannya berada diatas rata-rata. Dan 6 bulan lainnya berada di bawah rata-rata kejadian. Sebaran frekuensi kejadian gempa secara bulanan tersaji pada gambar 3.



Gambar 3. Distribusi Kejadian Gempa Bumi Berdasarkan Bulan di Banten Selatan Periode 2016-2025

Pola musiman diuji dengan uji chi-kuadrat kesesuaian terhadap hipotesis nol (H_0) bahwa kejadian gempa bumi tersebar seragam sepanjang tahun, dengan frekuensi harapan tiap bulan proporsional terhadap jumlah harinya (3.653 hari selama 2016–2025). Pengujian pelengkap meliputi uji binomial terhadap proporsi kejadian Oktober-Desember dan September-Desember sebagai pembanding anggapan peningkatan di akhir tahun, serta uji Rayleigh terhadap siklus tahunan. Taraf

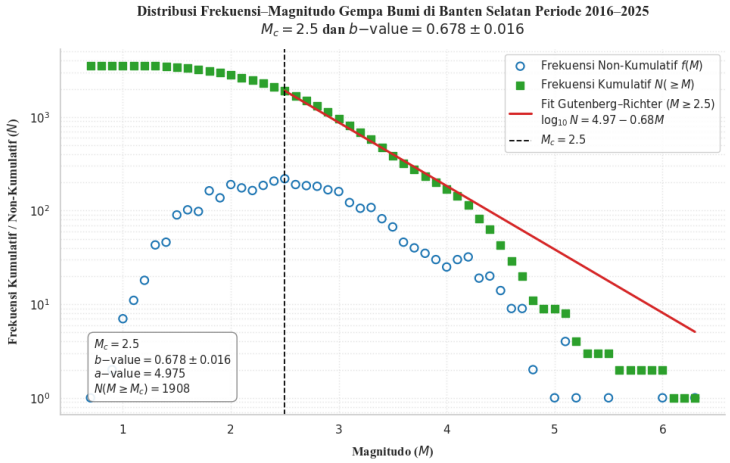
signifikansi yang digunakan $\alpha = 0{,}05$ dengan kriteria H_0 ditolak apabila $p < \alpha$. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Statistik Distribusi Bulanan Kejadian Gempa Bumi di Banten Selatan Periode 2016-2025

Uji	Statistik uji	db	Nilai p	Keputusan ($\alpha = 0{,}05$)
Chi-kuadrat, frekuensi harapan sama tiap bulan	$\chi^2 = 62{,}32$	11	$3{,}4 \times 10^{-9}$	H_0 *ditolak*
Chi-kuadrat, frekuensi harapan proporsional jumlah hari	$\chi^2 = 55{,}40$	11	$6{,}5 \times 10^{-8}$	H_0 *ditolak*
Chi-kuadrat tanpa Januari	$\chi^2 = 23{,}39$	10	0,009	H_0 *ditolak*
Binomial, proporsi Oktober-Desember (861 kejadian, teramati 24,3%, harapan 25,2%)	–	–	0,216	H_0 *tidak ditolak*
Binomial, proporsi September-Desember (1.190 kejadian, teramati 33,5%, harapan 33,4%)	–	–	0,859	H_0 *tidak ditolak*
Rayleigh, siklus tahunan	$R = 0{,}033;\ z = 3{,}94$	–	$\approx 0{,}02$	H_0 *ditolak*

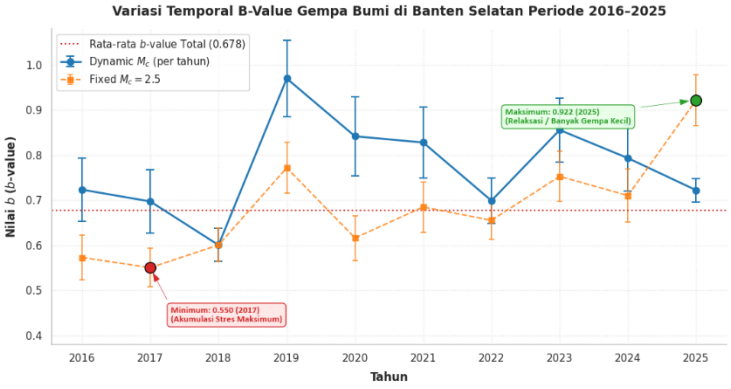
Hasil uji chi-kuadrat menunjukkan bahwa sebaran kejadian antarbulan tidak seragam ($\chi^2 = 55{,}40, db = 11, p < 0{,}001$) dengan nilai χ^2 jauh melampaui nilai kritis 19,68 pada $\alpha = 0{,}05$. Penyimpangan terbesar berada di Januari (396 kejadian, residu terstandar +5,47, rasio terhadap frekuensi harapan 1,32), diikuti bulan September ($+2{,}20$) yang berada di atas frekuensi harapan serta Juli ($-2{,}37$) dan bulan November ($-2{,}31$) yang berada di bawahnya bulan Oktober ($+1{,}84$) tidak melampaui batas ± 2. Apabila nilai bulan Januari dikeluarkan, sebaran antarbulan tetap tidak seragam tetapi dengan statistik yang jauh lebih kecil ($\chi^2 = 23{,}39, db = 10, p = 0{,}009$). Proporsi kejadian pada Oktober-Desember sebesar 24,3% tidak lebih tinggi daripada proporsi harapan 25,2% ($p = 0{,}216$), dan hasil serupa diperoleh untuk September-Desember ($p = 0{,}859$). Uji Rayleigh menunjukkan amplitudo siklus tahunan yang sangat kecil ($R = 0{,}033, p \approx 0{,}02$). Asumsi dasar dari uji ini adalah independensi kejadian. Karena data katalog tidak melewati tahap *declustering,* nilai p yang dihasilkan berpotensi lebih rendah dari yang seharusnya.

Hasil distribusi frekuensi magnitudo menunjukkan magnitudo kejadian berkisar $0{,}7 - 6{,}3$. Analisis hubungan frekuensi magnitudo kumulatif dan non-kumulatif menghasilkan batas magnitudo kelengkapan (Mc) sebesar 2,5. Dari 3.548 kejadian gempa, sebanyak 1.908 kejadian berada diatas batas magnitudo kelengkapan. Hasil model Gutenberg Ritcher pada data menghasilkan nilai b-value total sebesar $0{,}678 \pm 0{,}016$. Pengolahan estimasi kemiringan b-value berbasis kemungkinan maksimum (*Maximum Likelihood Estimation*) mengacu pada pendekatan Utsu (1965), dan formulasi konversi magnitudo momen (Mw) oleh Gunawan et al. (2020). Berdasarkan hasil pengolahan data sebesar 53,78% dari total gempa memenuhi kriteria kelengkapan data. Hubungan frekuensi magnitudo dan garis regresi Gutenberg Ritcher tersaji pada gambar 4.



Gambar 4. Distribusi Frekuensi Magnitudo Gempa Bumi di Banten Selatan Periode 2016-2025

Variasi temporal nilai b-value tahunan menunjukkan dua skema ambang kelengkapan, magnitudo kelengkapan (Mc) dan *dynamic* Mc. Pada skema $Mc = 2{,}5$, nilai b minimum berada pada tahun 2017 sebesar 0,55 dan nilai maksimum pada tahun 2025 sebesar 0,92. Selain itu, pada skema Mc dinamis, nilai b minimum berada pada tahun 2018 sebesar 0,6 dan nilai maksimum pada tahun 2019 sebesar 0,97. Pola perubahan temporal nilai b tersaji pada Gambar 5. Nilai b tahunan beserta ketidakpastian estimasinya ($\pm\sigma$) pada kedua skema Mc tersaji pada Tabel 2.



Gambar 5. Variasi Temporal B-Value Gempa Bumi di Banten Selatan Periode 2016-2025

Tabel 2 Nilai b Tahunan beserta Galat Baku ($\pm\sigma$) pada Skema Mc Tetap dan Mc Dinamis di Banten Selatan Periode 2016-2025

Tahun	$b \pm \sigma$ (Mc tetap = 2,5)	$b \pm \sigma$ (Mc dinamis)
2016	0,57 ± 0,05	0,72 ± 0,07
2017	0,55 ± 0,04	0,70 ± 0,07
2018	0,60 ± 0,04	0,60 ± 0,04
2019	0,77 ± 0,06	0,97 ± 0,09

Tahun	$b \pm \sigma$ (Mc tetap = 2,5)	$b \pm \sigma$ (Mc dinamis)
2020	$0{,}62 \pm 0{,}05$	$0{,}84 \pm 0{,}09$
2021	$0{,}69 \pm 0{,}06$	$0{,}83 \pm 0{,}08$
2022	$0{,}66 \pm 0{,}04$	$0{,}70 \pm 0{,}05$
2023	$0{,}75 \pm 0{,}06$	$0{,}86 \pm 0{,}07$
2024	$0{,}71 \pm 0{,}06$	$0{,}79 \pm 0{,}07$
2025	$0{,}92 \pm 0{,}06$	$0{,}72 \pm 0{,}03$

Keterangan : $\sigma = b/\sqrt{N}$ (Aki 1965), N adalah jumlah kejadian gempa dengan magnitudo $\geq Mc$ pada tiap tahun.

Pada skema *Fixed* ($Mc = 2{,}5$), nilai b-value minimum ditunjukkan pada tahun 2017 sebesar $0{,}55 \pm 0{,}04$ dan nilai maksimum pada tahun 2025 sebesar $0{,}92 \pm 0{,}06$ dengan galat baku $0{,}04 - 0{,}06$. Sementara itu, pada skema *Dynamic* Mc, nilai b-value berkisar antara $0{,}60 \pm 0{,}04$ pada tahun 2018 dan $0{,}97 \pm 0{,}09$ pada tahun 2019 dengan galat baku $0{,}03 - 0{,}09$. Nilai b pada skema *Dynamic* Mc lebih tinggi daripada skema Mc tetap pada 8 dari 10 tahun (selisih $0{,}04 - 0{,}22$), sama pada tahun 2018 dan lebih rendah pada tahun 2025 ($0{,}72 \pm 0{,}03$ berbanding $0{,}92 \pm 0{,}06$)

PEMBAHASAN

Aktivitas seismik di Banten Selatan pada periode 2016-2025 pada Gambar 1, didominasi oleh gempa bumi bermagnitudo kecil yang terkonsentrasi di bagian utara hingga tengah wilayah penelitian. Gempa bermagnitudo 0,7−2,9 dan 2,9−3,9 menyusun sekitar 95,2% dari total kejadian, sedangkan gempa bermagnitudo 4,9−5,2 hanya berjumlah 9 kejadian.

Dominasi gempa dengan magnitudo kecil hingga sedang ini sangat sesuai dengan karakterisitik seismisitas regional Jawa Barat dan Banten yang telah diungkapkan dalam studi-studi sebelumnya. Penelitian Prananda et al (2022) yang menganalisis katalog USGS (1971-2021) dengan magnitudo $M \geq$ 4,0 mencatat bahwa sebarahn gempa bumi didominasi oleh kelas magnitudo sedang (M 4,4−5,5 Mw) sebesar 95% dari total kejadian. Penggunaan data BMKG (2016-2025) dalam penelitian ini dapat merekam kejadian gempa mikro ($M < 3{,}0$) secara presisi, sehingga memberikan resolusi spasial yang lebih detail terkait rekahan mikrosesimik lokal di Banten Selatan.

Kerapatan seismisitas tertinggi di Selat Sunda dan pesisir Banten Selatan sangat berkaitan erat dengan tatanan tektonik regional. Penujaman Lempeng Indo-Australia yang menujam ke bawah Lempeng Eurasia membentuk zona subduksi aktif di sepanjang selatan Pulau Jawa. Sebaran kedalaman hiposenter di wilayah Jawa Barat dan Banten menunjukkan bahwa semakin ke arah selatan (mendekati palung/*trench*), kejadian gempa mengindikasikan kedalaman yang semakin dangkal. Sebagaimana dijelaskan oleh Prananda et al (2022), gempa dangkal ($h < 65\ km\ atau\ h < 70\ km$) mendominasi wilayah selatan Jawa Barat hingga Banten barat, khususnya kawasan Selat Sunda. Karakterisitik gempa dangkal ini memiliki sifat dan potensi dampak yang lebih merusak terhadap bangunan dan infrastruktur permukaan jika dibandingkan dengan gempa dangkal di daratan dan pesisir Bnaten dioengaruhi oleh keaktifan struktur patahan lokal maupun regional, seperti Sesar Cimandiri, Sesar Pelabuhanratu/Citarik, dan Sesar Baribis. Keaktifan struktur sesar dangkal di Banten Selatan ini sesuai dengan temuan analisis seismotektonik yang dilakukan Supendi et al. (2022).

Sebaran frekuensi kejadian gempa bumi di Banten Selatan dengan periode 2016-2025 menunjukkan dinamika aktivitas tektonik yang terus aktif. Aktivitas seismisitas berfluktuasi secara dinamis tanpa pola kenaikan yang tetap. Jumlah kejadian minimum terdapat pada tahun 2016 dengan 167 kejadian, dan melonjak di tahun 2025 dengan 1.074 kejadian atau mencakup 30% dari seluruh kejadian dalam 10 tahun penelitian. Uji statistik distribusi bulanan (Tabel 1) menolak hipotesis sebaran

seragam antarbulan ($\chi^2 = 55{,}40, db = 11, p < 0{,}001$), tetapi penyimpangan tersebut tidak berbentuk peningkatan pada akhir tahun. Penyimpangan terbesar terdapat pada Januari, sedangkan proporsi kejadian Oktober-Desember (24,3%) tidak lebih tinggi daripada proporsi harapan ($25{,}2\%, p = 0{,}216$) dan November merupakan bulan dengan jumlah kejadian terendah. Dengan demikian, data 2016–2025 tidak mendukung anggapan bahwa frekuensi gempa bumi meningkat pada akhir tahun, meskipun frekuensi antarbulan tidak sepenuhnya seragam. Uji Rayleigh menunjukkan modulasi tahunan yang sangat lemah ($R = 0{,}033, p \approx 0{,}02$) sehingga belum cukup untuk menyatakan adanya pola musiman yang tegas. Hasil ini perlu ditafsirkan dengan hati-hati karena uji chi-kuadrat dan uji Rayleigh mengasumsikan kejadian saling bebas, sedangkan katalog tanpa *declustering* memuat gempa susulan dan kejadian berkelompok yang cenderung membuat nilai p terlalu kecil. Tingginya jumlah kejadian pada Januari kemungkinan berkaitan dengan rangkaian gempa susulan gempa Pandeglang 14 Januari 2022, tetapi dugaan ini belum diperiksa pada data dan perlu dikonfirmasi dengan katalog yang telah di-*decluster*.

Gempa bumi tektonik di Banten Selatan terjadi karena akumulasi regangan lempeng tektonik yang berlangsung dalam skala waktu geologi yang lambat dan kontinu. Variasi iklim permukaan atau siklus pergantian bulan di atmosfer tidak mempengaruhi peningkatan tekanan batuan pada kedalaman hiposenter tektonik di zona subduksi. Oleh sebab itu, fluktuasi kejadian gempa bumi merupakan karakteristik stokastik pelepasan energi sesar batuan, sehingga persepsi peningkatan kegempaan akhir tahun hanyalah persepsi selektif masyarakat yang ditimbulkan dari kumpulan memori bencana historis.

Parameter a-value menggambarkan tingkat aktivitas seismik yang diidentifikasi oleh kerapatan data dan luas cakupan wilayah. Sedangkan b-value merupakan parameter yang merefleksikan sifat fisik dan tingkat akumulasi tegangan batuan. Sebagai pembanding, studi sebelumnya yang dilakukan oleh Hilmi,dkk (2019) memperoleh variasi spasial b-value berkisar $0{,}95-1{,}45$ dan nilai a-value berkisar $6{,}5-9$. Perbedaan nilai disebabkan oleh perbedaan rentang waktu pengamatan dan batas ambang magnitudo.

Berdasarkan konsep seismotektonik, nilai b-value rendah menunjukkan bahwa batuan daerah tersebut tergolong kuat dan tidak mudah retak. Kondisi ini mampu menahan akumulasi tekanan (*differential stress*) tektonik yang sangat tinggi sebelum nantinya patah. Nilai b-value yang berada di bawah ambang normal membuktikan teori batuan yang dikemukakan Scholz (2015) dan Mogi (1962), menyatakan bahwa penurunan b-value berbanding terbalik secara linier terhadap akumulasi tegangan differensial pada zona penguncian sesar. Sebaliknya, nilai b-value yang tinggi menunjukkan kerapuhan batuan yang tinggi, daya tahan batu kecil, dan tingkat stress batuan yang tersimpan rendah.

Variasi temporal b-value pada Gambar 5 dan Tabel 2 dibaca secara deskriptif dengan memperhitungkan ketidakpastian estimasinya. Rata-rata regional $b = 0{,}678$ berada di bawah nilai global ($b \approx 1{,}0$), yang sejalan dengan hubungan kebalikan antara b-value dan tegangan diferensial (Scholz, 2015). Namun, nilai tersebut belum dapat dijadikan bukti langsung kondisi tegangan karena b-value juga dipengaruhi oleh pemilihan Mc, jumlah data, dan komposisi katalog (Geffers et al., 2022). Pada skema Mc tetap, nilai b terendah tercatat pada 2017 ($0{,}55 \pm 0{,}04$), diikuti 2016 ($0{,}57 \pm 0{,}05$) dan 2018 ($0{,}60 \pm 0{,}04$) dengan selang ketidakpastian yang saling tumpang tindih, sedangkan nilai tertinggi tercatat pada 2025 ($0{,}92 \pm 0{,}06$). Pada skema Mc dinamis, nilai terendah tercatat pada 2018 ($0{,}60 \pm 0{,}04$) dan tertinggi pada 2019 ($0{,}97 \pm 0{,}09$). Selisih tahun minimum dan maksimum antar skema membuktikan peka-nya pola temporal b-value terhadap pemilihan data. Temuan ini sejalan dengan perubahan b-value tahunan akibat pengembangan jaringan stasiun seismik(Bunaga et al., 2025).

Penurunan b-value pada 2017 yang diikuti kenaikan jumlah kejadian pada 2018 (195 menjadi 418 kejadian) merupakan dua pengamatan yang berurutan dalam waktu, tetapi penelitian ini tidak menguji hubungan antara keduanya. Dengan hanya satu pasangan tahun, selang ketidakpastian yang tumpang tindih, dan tanpa uji statistik, hubungan sebab-akibat tidak dapat disimpulkan. Hal yang sama berlaku untuk gempa Pandeglang M 6,6 pada 14 Januari 2022, nilai b pada 2020–2022 ($0{,}62 \pm 0{,}05, 0{,}69 \pm 0{,}06$, dan $0{,}66 \pm 0{,}04$ pada skema Mc tetap) berada di sekitar rata-rata regional dengan selisih yang masih berada dalam rentang ketidakpastian, sehingga data ini tidak cukup untuk menyatakan adanya akumulasi tegangan sebelum gempa tersebut. Pengujian hubungan semacam itu memerlukan analisis statistik yang dirancang khusus serta bukti seismotektonik mengenai sumber gempa, misal melalui analisis rangkaian gempa Pandeglang 2022 oleh Supendi et al. (2022), yang berada di luar cakupan penelitian deskriptif ini.

Pengaruh gempa susulan terhadap variasi b-value juga belum dapat dipisahkan. Katalog yang digunakan tidak melalui proses *declustering*, sehingga gempa susulan dan kejadian berkelompok ikut terhitung dalam jumlah kejadian maupun estimasi b-value. Gempa susulan Pandeglang 2022 (Supendi et al., 2022) berpeluang memengaruhi frekuensi kejadian gempa dan nilai-b sejak 2022. Selain itu, lonjakan 1.074 kejadian pada 2025 disinyalir mengandung kejadian berkelompok (*clustered events*). Oleh sebab itu, fluktuasi nilai-b yang teramati tidak bisa langsung dianggap sebagai dinamika tegangan batuan sebelum diverifikasi menggunakan katalog yang telah melalui proses pemisahan gempa susulan (*declustering*). Pada 2025, nilai b tertinggi pada skema Mc tetap ($0{,}92 \pm 0{,}06$) tidak muncul pada skema Mc dinamis ($0{,}72 \pm 0{,}03$), sehingga kenaikan tersebut tidak dapat dinyatakan sebagai fase relaksasi kerak. Penyebabnya belum dapat dipastikan dan dapat berasal dari kejadian berkelompok, perubahan kelengkapan katalog, atau perbedaan pemilihan Mc.

Hasil dari parameter a-value, b-value, dan variasi temporal stress batuan dapat menjadi data dasar bagi mitigasi risiko bencana di Banten Selatan. Dalam studi seismotektonik Hilmi,dkk (2019) mengenai tingkat aktivitas seismik dan parameter batuan yang ditujukan untuk referensi ilmiah kepada pemerintah daerah dan pemangku kepentingan dalam perencanaan tata ruang serta pembuatan bangunan tahan gempa untuk mengurangi kerusakan infrastruktur dan korban jiwa. Rendahnya nilai rata-rata b-value $= 0{,}678$ menunjukkan bahwa batuan di Banten Selatan memiliki kapasitas energi regangan elastis yang tinggi, sehingga potensi gempa perlu diwaspadai. Hasil penelitian ini bersifat deskriptif sehingga nilai b-value dan variasi temporalnya dilihat sebagai gambaran karakteristik seismisitas Banten Selatan yang dapat menjadi data dasar mitigasi, bukan sebagai instrumen prediksi gempa atau pemantauan tegangan batuan secara langsung. Kemampuan prediktif b-value temporal belum diuji dalam penelitian ini dan memerlukan analisis lanjutan

KESIMPULAN

Penelitian terhadap 3.548 kejadian gempa bumi di Banten Selatan periode 2016-2025 menghasilkan magnitudo kelengkapan (Mc) sebesar 2,5 dengan 1.908 kejadian (53,78%) memenuhi kriteria, serta b-value regional $0{,}678 \pm 0{,}016$. Secara temporal, b-value tahunan pada skema Mc tetap berkisar antara $0{,}55 \pm 0{,}04$ (2017) dan $0{,}92 \pm 0{,}06$ (2025), sedangkan pada skema Mc dinamis berkisar antara $0{,}60 \pm 0{,}04$ (2018) dan $0{,}97 \pm 0{,}09$ (2019), sebagian selang ketidakpastian antar tahun saling tumpang tindih dan tahun minimum maupun maksimum berbeda antar skema. Uji statistik distribusi bulanan menunjukkan sebaran kejadian tidak seragam ($\chi^2 = 55{,}40, db = 11, p < 0{,}001$), terutama akibat tingginya jumlah kejadian pada Januari. Namun, proporsi kejadian Oktober-Desember tidak lebih tinggi daripada proporsi harapan (24,3% berbanding 25,2%, $p = 0{,}216$) dan siklus tahunan sangat lemah (uji Rayleigh, $R = 0{,}033$). Dengan demikian, data 2016-2025 tidak mendukung anggapan bahwa gempa meningkat pada akhir tahun, meskipun frekuensi antar bulan tidak sepenuhnya seragam. Nilai b regional yang lebih rendah daripada nilai global ($\approx 1{,}0$) sejalan dengan kemungkinan kondisi tegangan yang relatif tinggi, tetapi variasi temporal tidak dapat dikaitkan secara sebab akibat dengan peningkatan jumlah kejadian pada 2018 maupun gempa Pandeglang 2022 karena hubungan tersebut tidak diuji. Hasil penelitian ini bersifat deskriptif dan dapat menjadi data dasar karakteristik seismisitas Banten Selatan bagi pemutakhiran peta rawan bencana gempa bumi.

Keterbatasan penelitian ini adalah penggunaan katalog tanpa proses *declustering*, sehingga gempa susulan dan kejadian berkelompok, termasuk rangkaian gempa susulan Pandeglang Mw 6,6 pada 14 Januari 2022 dan lonjakan 1.074 kejadian pada 2025 ikut terhitung. Kondisi ini melanggar asumsi kejadian saling bebas pada uji statistik bulanan sehingga nilai p kemungkinan lebih kecil daripada nilai sebenarnya, dan dapat memengaruhi b-value tahunan. Penelitian ini juga belum menguji kemampuan prediktif b-value. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan katalog hasil *declustering*, uji signifikansi perubahan b-value antar tahun, serta analisis seismotektonik sumber gempa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga jurnal ini dapat diselesaikan dengan baik. Penyusunan jurnal ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, dan bimbingan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ibu Yuvita Oktarisa, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika sekaligus Dosen Pembimbing Lapangan (DPL) atas dukungan, arahan, dan bimbingan selama penyusunan jurnal ini.
2. Ibu Hayatining Suci Abdilah, S.Pd., M.,Si.P., selaku Dosen Pembimbing Lapangan (DPL) atas waktu, bimbingan, arahan, serta saran yang telah diberikan selama proses penelitian dan penulisan jurnal ini.
3. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Geofisika Kelas 1 Serang atas dukungan dalam penyediaan data penelitian serta bimbingan dan arahan dalam proses pengolahan data dan penyusunan jurnal ini.
4. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Meteorologi Maritim Kelas 1 Merak atas kesempatan, fasilitas, dan dukungan yang diperoleh selama pelaksanaan magang serta bantuan dalam mendukung proses penelitian.

Penulis menyadari bahwa jurnal ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun diharapkan dapat menjadi bahan perbaikan untuk penyempurnaan karya selanjutnya. Semoga jurnal ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang geofisika dan pendidikan fisika.

REFERENSI

Aki, K. (1965). Maximum likelihood estimate of b in the formula log N = a − bM and its confidence limits. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 43*, 237–239.

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2019). *Katalog gempa bumi signifikan dan merusak Indonesia tahun 1821–2018*. Jakarta: BMKG.

Bollinger, L., Perrier, F., Avouac, J.-P., Sapkota, S., Gautam, U., & Tiwari, D. R. (2007). Seasonal modulation of seismicity in the Himalaya of Nepal. *Geophysical Research Letters*, *34*(8), L08304. https://doi.org/10.1029/2006GL029192

Bunaga, I. G. K. S., Laily, E. N., Anggoro, C. D. R., Nafi, K., Ariyani, I. M., & Nugroho, C. (2025). Analisis variasi temporal Magnitude of Completeness (Mc) dan b-value di wilayah Bali-Nusa Tenggara tahun 2017-2023. *GeoScienceEd Journal*, *6*(3), 1561–1567. Diambil dari https://jpfis.unram.ac.id/index.php/GeoScienceEdu/article/view/1215

Ernandi, F. N., & Madlazim. (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.

Fulki, A. (2011). *Analisis parameter gempa, b-value, PGA di daerah Papua* (Skripsi yang tidak diterbitkan). Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta.

Gardner, J. K., & Knopoff, L. (1974). Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian? *Bulletin of the Seismological Society of America, 64*(5), 1363–1367. https://doi.org/10.1785/bssa0640051363

Geffers, G.-M., Main, I. G., & Naylor, M. (2022). Biases in estimating b-values from small earthquake catalogues: How high are high b-values?. *Geophysical Journal International, 229(3)*, 1840–1855. https://doi.org/10.1093/gji/ggac028

Gulia, L., & Wiemer, S. (2019). Real-time discrimination of earthquake foreshocks and aftershocks. *Nature, 574*(7777), 193–199. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1606-4

Gunawan, I., Sunardi, B., & Rohadi, S. (2020). Pemutakhiran hubungan empiris konversi magnitudo momen (Mw) untuk pemetaan bahaya gempa bumi di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika, 21(2)*, 75–84.

Gutenberg, B., & Richter, C. F. (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America, 34(4)*, 185–188.

Hainzl, S. (2016). Apparent triggering function of aftershocks resulting from rate-dependent incompleteness of earthquake catalogs. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 121*, 6499–6509. https://doi.org/10.1002/2016JB013319

Hilmi, I. L., Sutrisno, S., & Sunarya, D. (2019). Analisis seismisitas berdasarkan data gempa bumi periode 1958-2018 menggunakan b-value pada daerah selatan Jawa Barat dan Banten. *Al-Fiziya: Journal of Materials Science, Geophysics, Instrumentation and Theoretical Physics*, *2*(1), 10–16. https://doi.org/10.15408/fiziya.v2i1.10482

Hisyam, F., Susilo, A., Anshori, M., & Hasan, M. F. R. (2024). *Spatio-temporal variation seismicity pattern in East Java between 2002 and 2022 based on the b-value and seismic quiescence z-value*. Trends in Sciences. https://doi.org/10.48048/tis.2024.7608

Hutchings, S. J., & Mooney, W. D. (2021). The seismicity of Indonesia and tectonic implications. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. https://doi.org/10.1029/2021GC009812

Johnson, C. W., Fu, Y., & Bürgmann, R. (2017). Seasonal water storage, stress modulation, and California seismicity.*Science, 356*(6343), 1161–1164. https://doi.org/10.1126/science.aak9547

Kompas TV. (2022, 14 Januari). *BMKG: Gempa di selatan Banten akibat aktivitas subduksi Lempeng Indo-Australia Eurasia*. Diambil dari https://www.kompas.tv/article/251616/bmkg-gempa-di-selatan-banten-akibat-aktivitas-subduksi-lempeng-indo-australia-eurasia

Madlazim. (2013). Kajian seismisitas dan estimasi b-value di zona subduksi Sumatra dan Jawa. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya, 9(2)*, 68–74.

Mogi, K. (1962). Magnitude-frequency relation for elastic shocks accompanying fractures of various materials and some related problems in earthquakes. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 40*, 831–853.

Munir, R., Nurahmah, L., Friesky, V., Imran, M., & Haryono, A. (2024). Kajian nilai b-value untuk menganalisis aktivitas seismik di wilayah Pulau Jawa, Bali dan Nusa Tenggara Barat. *Geosains Kutai Basin, 7*(2), 57–63. https://doi.org/10.30872/geofisunmul.v7i2.1436

Prananda, Y., Zera, T., & Sunarya, D. (2022). Analisis distribusi spasial dan temporal parameter seismotektonik wilayah Jawa Barat dan Banten berdasarkan a-value dan b-value periode 1971–2021. *Buletin Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika*, *2*(3), 24–34.

Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). *Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Scholz, C. H. (2015). *The Mechanics of Earthquakes and Faulting (2nd ed.)*. Cambridge University Press.

Schorlemmer, D., Wiemer, S., & Wyss, M. (2005). Variations in earthquake-size distribution across different stress regimes. *Nature, 437*(7058), 539–542. https://doi.org/10.1038/nature04094

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.

Supendi, P., Nugraha, A. D., Widiyantoro, S., & Daryono. (2022). Seismotectonic analysis of the 2022 Pandeglang earthquake sequence in South Banten, Indonesia. *Annals of Geophysics, 65(4)*, Vol. 432.

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, 13*, 99–103.

Wells, D. L., & Coppersmith, K. J. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America, 84(4)*, 974–1002.

Wiemer, S., & Wyss, M. (2000). Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the western United States, and Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, *90*(4), 859–869. https://doi.org/10.1785/0119990114

Woessner, J., & Wiemer, S. (2005). Assessing the quality of earthquake catalogues: Estimating the magnitude of completeness and its uncertainty. *Bulletin of the Seismological Society of America, 95*(2), 684–698. https://doi.org/10.1785/0120040007