

ANALISIS GEMPA CIANJUR 2022 DENGAN PENDEKATAN SPASIAL TEMPORAL *a*-VALUE DAN *b*-VALUE

ANALYSIS OF THE 2022 CIANJUR EARTHQUAKE USING SPATIAL-TEMPORAL A-VALUE AND B-VALUE APPROACH

Vera Meysya Zakhra¹, Yudha Styawan^{2*}, Erlangga Ibrahim Fattah³, Alhada Farduwin⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Geofisika, Jurusan Teknologi Produksi dan Industri, Institut Teknologi Sumatera; Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Jati Agung, Lampung Selatan, Lampung

Received: 2023, September 22nd

Accepted: 2023, November 08th

Keywords:

Cianjur earthquake;

Cugenang Fault;

Seismotectonic parameters;

Spatial-temporal.

Correspondent Email:

yudha.styawan@tg.itera.ac.id

How to cite this article:

Zakhra, V.M., Styawan, Y., Fattah, E.I., & Farduwin, A. (2023).

Analisis Gempa Cianjur 2022 Dengan Pendekatan Spasial Temporal a-Value dan b-Value. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 09(03), 217-230.

Abstrak. Gempa dengan kekuatan 5,6 Mw terjadi di Cianjur, Jawa Barat pada 21 November 2022 memiliki dampak signifikan dengan korban sebanyak 334 jiwa, 54 ribu bangunan rumah rusak sehingga 114.683 jiwa harus mengungsi. Hiposenter gempa berada pada kedalaman 10 km dengan sumber gempa berasal dari sesar aktif yang baru teridentifikasi yaitu Sesar Cugenang. Dari dampak yang terjadi, perlu ada penilaian seismisitas dan potensi bahaya seismik di wilayah itu dengan menentukan parameter *a-value* dan *b-value*. Parameter seismotektonik tersebut menggunakan relasi Gutenberg-Richter dengan variasi spasial dan temporal, sehingga tinjauan ini memiliki kemampuan untuk memberikan informasi yang signifikan mengenai mitigasi gempa bumi. Pada penelitian ini data yang digunakan berasal dari *International Seismological Center* (ISC) pada periode 1964-2020 dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) menggunakan periode tahun 2021-2023. Dari analisis diperoleh variasi spasial *a-value* berkisar antara 2,6 hingga 3,2, dan variasi spasial *b-value* berkisar antara 0,32 hingga 0,4. Analisis variasi temporal selama 4 tahun sebelum gempa utama menunjukkan tren *b-value* yang terus menurun. Namun sesaat sebelum gempa utama *b-value* mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Hal ini menunjukkan batuan mulai rapuh dan rentan terhadap gempa bumi. Oleh karena itu, ketika terjadi utama menyebabkan kerusakan dan dampak yang cukup signifikan dikarenakan kondisi batuan yang rapuh. Namun, perlu diingat bahwa hubungan antara *b-value* dengan kerapuhan dan ketahanan batuan tidak bersifat absolut. Terdapat faktor-faktor lain seperti sifat fisik dan geologi batuan, kondisi tektonik, dan lingkungan sekitar yang juga berpengaruh terhadap kerapuhan dan ketahanan batuan terhadap gempa bumi. Oleh karena itu, analisis lebih lanjut dan pemodelan yang komprehensif diperlukan

untuk memahami secara lebih mendalam hubungan antara *b-value* dengan kerapuhan dan ketahanan batuan.

Abstract. *An impactful earthquake with a magnitude of 5.6 Mw happened in Cianjur, West Java, on November 21, 2022, resulting in 334 casualties, and 54,000 homes being damaged, obliging 114,683 people to evacuate. This hypocenter was located at a depth of 10 km, based on a newly identified active fault known as the Cugenang fault. Given those impacts, it is essential to conduct a seismic analysis and assess seismic hazard potential in the region by estimating the *a-value* and *b-value* parameters. These seismotectonic parameters are determined using the Gutenberg-Richter relationship with spatial and temporal variations, providing important perspectives for earthquake disaster mitigation efforts. In this study, we utilized data from the International Seismological Center (ISC) covering from 1964 to 2020 and the Indonesian Agency for Meteorology, Climatology, and Geophysics (BMKG) from 2021 to 2023. The spatial analysis revealed a variation in *a-values* ranging from 2.6 to 3.2 and *b-values* from 0.32 through 0.4. Analysis of temporal variations during the 4 years before the main earthquake shows a continuously decreasing trend in *b-value*. However, shortly before the main earthquake, the *b-value* increased quite significantly. This shows that the rocks are starting to become brittle and vulnerable to earthquakes. Therefore, when it occurs, it causes significant damage and impacts due to the fragile condition of the rock. However, it should be remembered that the relationship between *b-value* and rock brittleness and durability is not absolute. There are other factors such as the physical and geological properties of rocks, tectonic conditions, and the surrounding environment which also influence the brittleness and resistance of rocks to earthquakes. Therefore, further analysis and comprehensive modeling are needed to understand in more depth the relationship between *b-value* and rock brittleness and durability.*

© 2023 JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi).
This article is an open-access article
distributed under the terms and
conditions of the Creative Commons
Attribution (CC BY NC)

1. PENDAHULUAN

Pada hari Senin 21 November 2022, Cianjur mengalami gempa bumi dengan gempa utama berkekuatan 5,6 magnitudo di sebelah utara patahan Cimandiri segmen Rajamandala. Mekanisme gempa memperlihatkan sesar dengan tipe geser mengiri (*sinistral strike-slip fault*) (Supendi dkk., 2022). Menurut Mogi (1963) gempa Cianjur termasuk ke dalam tipe *mainshock-aftershock*, yang merupakan gempa-gempa susulan (*aftershock*) yang didahului oleh gempa utama (*mainshock*). Menurut data BMKG tercatat 140 gempa susulan sampai tanggal 22 November 2022 berada pada kategori jenis gempa tektonik pada kerak dangkal (*shallow crustal earthquake*).

Gempa tersebut menelan korban jiwa sebanyak 334 orang, 13 orang dinyatakan hilang, 593 orang luka berat. Selain itu, terdapat bangunan pemukiman dan fasilitas umum yang mengalami kerusakan cukup parah. Terdapat 53 ribu rumah rusak, terdiri dari rusak berat dengan jumlah 12.956 unit, rusak sedang berjumlah 15.196 unit, rusak ringan sebanyak 25.256 unit. Selain itu, terdapat banyak fasilitas umum yang rusak seperti, 540 unit sekolah, 272 unit tempat ibadah rusak, 18 unit fasilitas kesehatan. Selain itu, terdapat 114.683 pengungsi yang berasal dari 41.166 KK (Muhari, 2022).

Oleh sebab itu, perlu dilakukan pengurangan risiko bencana gempa bumi.

Pengurangan risiko tersebut dapat dilakukan dengan beberapa konsep dan metode, salah satunya adalah dengan membuat informasi kegempaan suatu wilayah seperti analisis seismisitas untuk menganalisis potensi bahaya gempa bumi (Risanti & Prastowo, 2021). Dalam analisis bahaya potensi seismik dan studi seismisitas biasanya dilakukan dengan menggunakan parameter *a-value* dan *b-value* (Popandopoulos & Chatziioannou, 2014). Parameter *a-value* merupakan parameter seismik yang digunakan untuk mengukur jumlah kejadian gempa bergantung pada wilayah dan periode tertentu. Sedangkan parameter *b-value* merupakan parameter tektonik yang menggambarkan jumlah kecil hingga besarnya getaran kekuatan gempa (Rohadi dkk., 2007). Nilai *b-value* biasanya akan mendekati 1, area yang memiliki *b-value* rendah diindikasikan sebagai area dengan pelepasan momen seismik tinggi dan akumulasi tegangan tinggi (Linda dkk., 2019; Scholz, 1968). Parameter *a-value* dan *b-value* dapat dimodelkan ke dalam dua variasi yaitu secara spasial dan temporal. Pemodelan secara spasial diterapkan dengan cara mendistribusikan *a-value* dan *b-value* dalam ruang berdasarkan pembagian wilayah dalam *grid*, sehingga dapat diperoleh *b-value* untuk setiap *grid* dengan menggunakan persamaan Maximum Likelihood (Rohadi dkk., 2007). Pemodelan temporal *b-value* dapat ditampilkan dalam bentuk kurva. Perhitungan variasi temporal *b-value* dilakukan dengan menggunakan metode *sliding time window* (Ngadmanto, 2010). Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persebaran *a-value* dan *b-value* secara spasial dan *b-value* secara temporal sebelum dan setelah gempa Cianjur 21 November 2022.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Hubungan frekuensi – magnitudo (*Frequency Magnitude Distribution*, FMD) pertama kali diperkenalkan di Jepang oleh

Ishimoto dan Lida (1939) serta di California oleh Gutenberg dan Richter (1944), dengan bentuk hukum pangkat (*power law*). Hubungan Gutenberg-Richter (GR) merepresentasikan parameter seismik dan tektonik pada suatu wilayah yang dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\log_{10} N = a - b M \quad (1)$$

Diketahui $\log N$ adalah jumlah frekuensi kumulatif dengan M adalah magnitudo gempa yang terjadi dan N adalah jumlah gempa bumi magnitudo $\geq M$ atau dapat ditulis dengan persamaan berikut (Žalohar, 2018):

$$N = \frac{10^a}{10^{bM}} \quad (2)$$

dengan *a-value* dan *b-value* adalah sebagai konstanta.

Parameter a (Persamaan 3) adalah parameter seismik yang menggambarkan jumlah gempa pada suatu wilayah tertentu yang bergantung pada penentuan volume dan *time window*. Parameter *a-value* dapat ditentukan dengan persamaan dari Weichert (1980) sebagai berikut:

$$a = \log N + \log b \ln 10 + M_0 b \quad (3)$$

Penentuan tingkat ketidakpastian (*error*) pada *a-value* (σ_a) dapat dilakukan dengan menghitung selisih nilai *a-value* antara *b-value* sebelum dan sesudah penambahan nilai ketidakpastian dari *b-value* (σ_b).

Parameter b (*b-value*) adalah parameter tektonik yang mencerminkan frekuensi gempa kecil hingga besar, umumnya dengan nilai mendekati 1, yang berarti penurunan aktivitas 10 kali lipat yang terkait dengan peningkatan setiap unit magnitudo (Rohadi, 2009). Perhitungan *b-value* menggunakan metode maksimum likelihood dengan persamaan sebagai berikut (Utsu, 1965):

$$b = \frac{1}{\ln(10)(\bar{\mu} - M_{thresh})} \quad (4)$$

$\bar{\mu}$ merupakan magnitudo rata-rata dan M_{thresh} merupakan magnitudo minimum yang bernilai

sama dengan *Magnitude of Completeness* (M_c). M_c adalah nilai minimum atau ambang batas magnitudo di mana semua gempa bumi dalam wilayah dan periode tertentu telah tercatat oleh stasiun gempa bumi (Rydelek & Sacks, 1898). Perhatikan bahwa M_{thresh} perlu memperhitungkan efek dari pengelompokan magnitudo secara diskrit ke dalam perhitungan. Jika pengelompokannya adalah 0,1 unit magnitudo, maka $M_{thresh} = M_{thresh} - 0,05$ (Utsu, 1978). Perkiraan *error* dari *b-value* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan yang pertama kali diturunkan oleh Aki (1965), atau formulasi yang diperbaiki Shi dan Bolt (1982) sebagai berikut:

$$\sigma_b = 2,30b^2 \sqrt{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2 / n(n-1)} \quad (5)$$

dengan n adalah jumlah gempa pada *sampling* perhitungan.

Ketika memetakan nilai *b-value*, perlu dilakukan evaluasi untuk melihat tingkat kesesuaian (*goodness of fit*) antara kejadian kumulatif gempa yang diamati pada kurva FMD setelah M_c dengan nilai estimasi dari persamaan (1). Tingkat kesesuaian tersebut (R) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dari Wiemer dan Wyss (2000) berikut:

$$R(a, b, M) = 100 - \left(\frac{\sum_{M_i}^{M_{max}} |B_i - S_i|}{\sum_i B_i} 100 \right) \quad (6)$$

Dengan B_i merupakan observasi kumulatif kejadian gempa dan S_i prediksi jumlah kejadian dalam setiap bin magnitudo. R sebagai fungsi dari M_i .

3. METODE PENELITIAN

Langkah awal dalam penelitian ini adalah melakukan pencarian informasi dari berbagai sumber mengenai gempa di Cianjur. Informasi ini diperoleh dari situs web, jurnal, dan buku. Setelah studi literatur, penulis melakukan pengambilan data katalog gempa wilayah Pulau Jawa dan daerah penelitian, yang meliputi tanggal dan waktu kejadian, lokasi kejadian

gempa dalam koordinat, kedalaman, dan magnitudo dengan periode gempa bumi pada penelitian ini selama 58 tahun, dimulai pada 1 Januari 1964 hingga 31 Desember 2022. Data katalog gempa bumi yang digunakan dalam pengolahan bersifat *open source*. Periode tahun 1964-2020 berasal dari katalog *International Sismological Centre* (ISC) dengan magnitudo adalah 0,9-6,5 dari berbagai satuan magnitudo (M , M_b , M_s , dan M_L) dan kedalaman 0,1-20 kilometer. Sedangkan untuk data katalog periode 2021-2022 diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), dengan ketentuan magnitudo 0,93-6,54 dari berbagai satuan magnitudo dan kedalaman 0,2-20 kilometer.

Kemudian data katalog yang diperoleh dari ISC dan BMKG dilakukan penggabungan data dan dilakukan konversi magnitudo. Konversi dilakukan untuk menyeragamkan semua tipe magnitudo, seperti tipe magnitudo M , M_b , M_s , dan M_L kedalam satu tipe magnitudo, yaitu magnitudo momen (M_w) (Irsyam dkk., 2017; Taruna & Pratiwi, 2021).

Selanjutnya adalah melakukan *declustering* (pemisahan). Fungsi *declustering* adalah untuk memisahkan *mainshock* dengan gempa awal (*foreshock*) dan *aftershock*. Pada penelitian ini dilakukan *declustering* dengan menggunakan metode Uhrhammer (Weatherill, 2014). Selanjutnya dilakukan pengolahan untuk mengestimasi *a-value* dan *b-value* pada FMD. Data yang diambil berada disekitar area gempa Cianjur dengan jarak 50 km dari sumber gempa.

Selanjutnya dilakukan estimasi M_c pada grafik persebaran untuk mengetahui kualitas magnitudo pada waktu tertentu. Estimasi M_c sangat berperan dalam menentukan *b-value*, yang merupakan parameter dari persamaan GR. Dalam analisis seismik, diperlukan data gempa yang utuh, seragam, dan tidak berubah-ubah. Keutuhan, keseragaman, dan konsistensi data gempa dalam sebuah katalog dapat diukur dengan mengestimasi dan memetakan M_c . M_c

juga memiliki dampak pada *a-value* yang digunakan dalam menghitung tingkat kegempaan keseluruhan (Mignan & Woessner, 2012). Setelah diperoleh beberapa nilai *Mc*, akan dilakukan pemilihan kurva FMD yang paling *fit* antara *b-value* dan kumulatif data untuk mengetahui estimasi *a-value* dan *b-value* pada kurva FMD di daerah penelitian.

Pemetaan spasial *a-value* dan *b-value* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ZMAP ver.6.0. ZMAP adalah program yang dirancang oleh Stefan Wiemer dan timnya sejak tahun 1993 untuk menganalisis seismisitas. *Software* ZMAP menggunakan basis MATLAB yang berbentuk *Graphic User Interface* (GUI) (Wyss dkk., 2001). Pemetaan spasial *a-value* dan *b-value* dilakukan dengan membagi area penelitian kedalam bentuk grid. Ukuran grid yang digunakan pada pengolahan ini adalah $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$. Perhitungan *b-value* untuk setiap grid menggunakan metode *maximum likelihood*. Setelah memilih radius konstan dan *Mc* yang digunakan, dilakukan pemetaan *a-value* dan *b-value* untuk melihat wilayah dengan kemungkinan gempa merusak yang akan terjadi serta densitas gempa bumi.

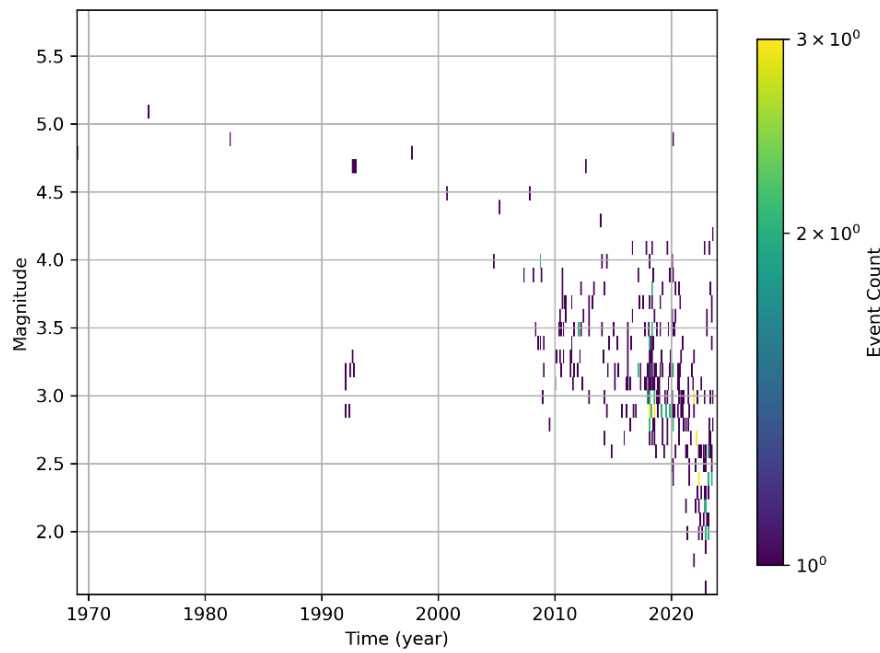
Pada pengolahan variasi temporal data yang digunakan merupakan data yang berasal dari katalog gempa yang berasal dari ISC dan BMKG untuk area sekitar gempa Cianjur. Perhitungan variasi temporal *b-value* menggunakan metode *sliding time-window* dengan *window* data 3 tahun untuk setiap perhitungan dan *overlap* 1 bulan. Data yang digunakan dalam pengolahan temporal merupakan data tanpa *declustering*. Estimasi *b-value* dihitung berdasarkan *N even* pada setiap *time-window* (Ngadmanto, 2010). Analisis temporal yang dilihat adalah *b-value* di area sumber gempa Cianjur dengan *b-value* yang diamati adalah 4 tahun sebelum terjadi gempa dan 8 bulan setelah gempa. Estimasi

tingkat kesesuaian (*R*) dilakukan pada variasi temporal *b-value*.

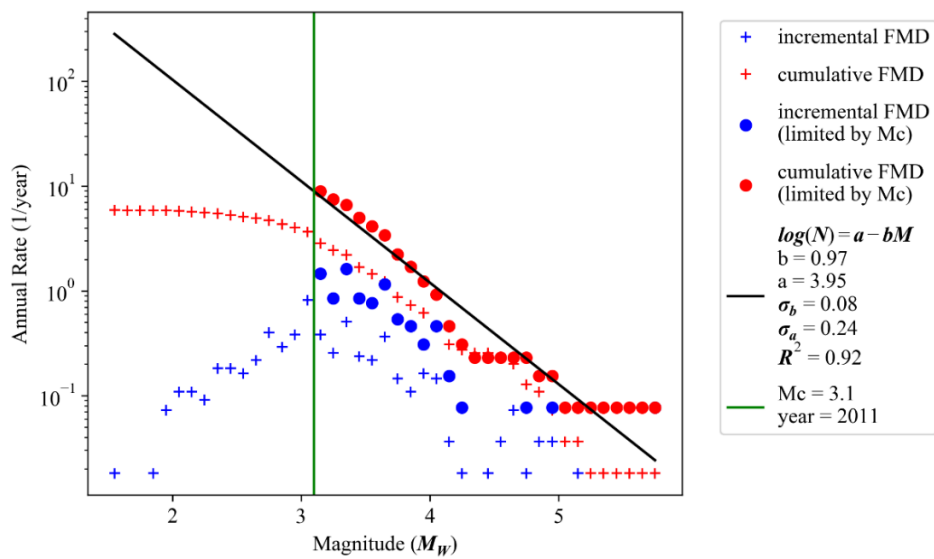
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

FMD (**Gambar 2**) menggambarkan distribusi hubungan antara magnitudo dan jumlah gempa yang terjadi pada distribusi katalog (**Gambar 1**). Pada FMD, dapat diketahui *Mc* sebesar 3,1 Mw yang merupakan parameter penting untuk menentukan *a-value* dan *b-value*. Nilai *Mc* tersebut menunjukkan kelengkapan magnitudo terkecil yang terekam dengan baik pada katalog ISC dan BMKG. Pada kurva FMD diperoleh parameter kegempaan *a-value* dan *b-value*, dengan *a-value* sebesar 3,95 dan *b-value* sebesar 0,97 (**Gambar 2**). Hasil *b-value* tersebut menunjukkan bahwa area sekitar gempa Cianjur memiliki *b-value* rendah yaitu kurang dari 1. Berdasarkan penelitian sebelumnya *b-value* yang rendah biasanya berkaitan dengan tingkat *stress* yang tinggi dan sebaliknya (Ngadmanto, 2010; Rohadi, 2009; Simamora & Namigo, 2016). Parameter *a-value* merupakan parameter seismik yang menggambarkan tingkat keaktifan gempa bumi, besar kecilnya parameter *a-value* ditentukan oleh banyaknya kejadian gempa, luas wilayah dan *time window* (Ngadmanto, 2010). Dari *a-value* yang diperoleh yaitu sebesar 3,95 menunjukkan bahwa wilayah sekitar gempa Cianjur memiliki tingkat keaktifan gempa yang cukup rendah.

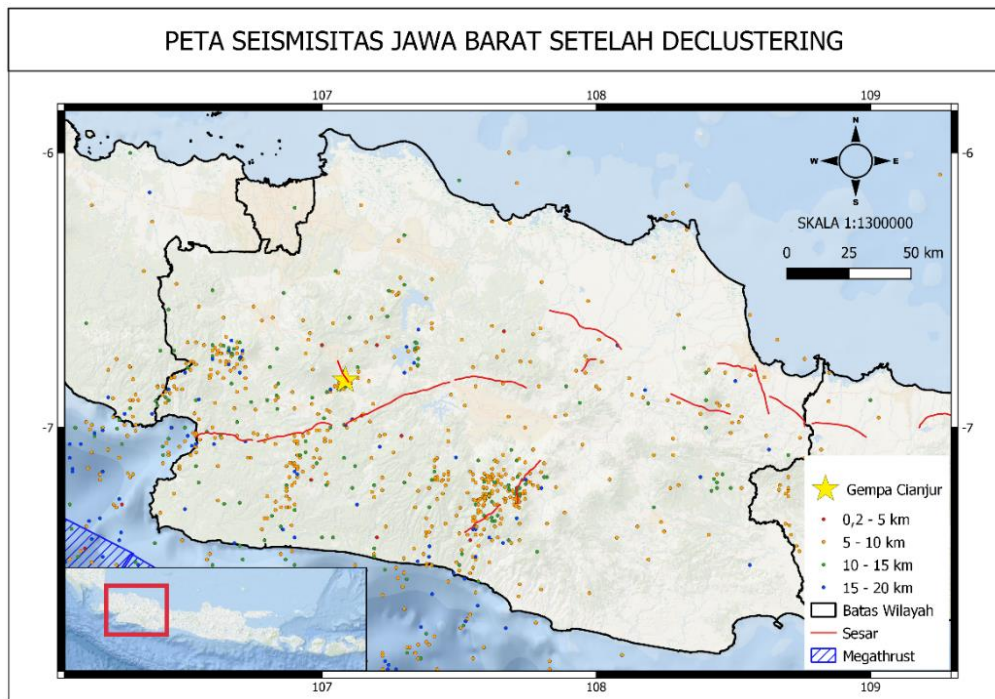
Pada **Gambar 2** merupakan kurva FMD yang disertai dengan nilai ketidakpastian (*uncertainty*) untuk *a-value* dan *b-value*, dari kurva tersebut dapat dilihat bahwa ketidakpastian untuk *a-value* dan *b-value* yang didapat cukup kecil, yaitu dengan ketidakpastian *a-value* sebesar 0,24 sedangkan untuk ketidakpastian *b-value* sebesar 0,08.



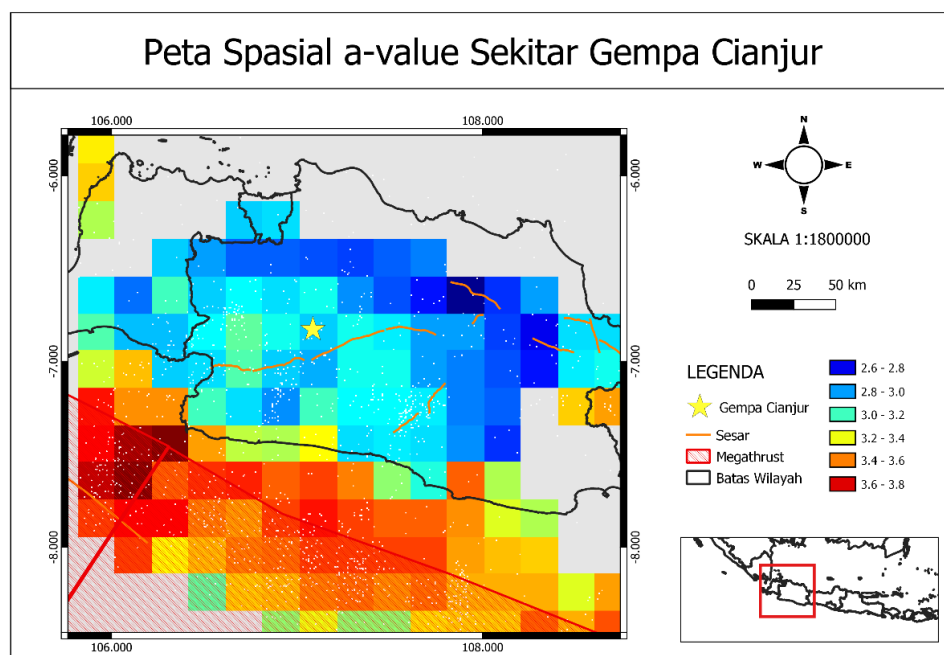
Gambar 1. Distribusi data katalog berdasarkan magnitudo dan jumlah kejadian gempa untuk area sekitar gempa Cianjur periode 1964-2022.



Gambar 2. Kurva FMD area gempa Cianjur.



Gambar 3. Peta seismisitas Jawa Barat setelah *declustering*.



Gambar 4. Distribusi a-value Pulau Jawa dari katalog ISC dan BMKG tahun 1964-2022.

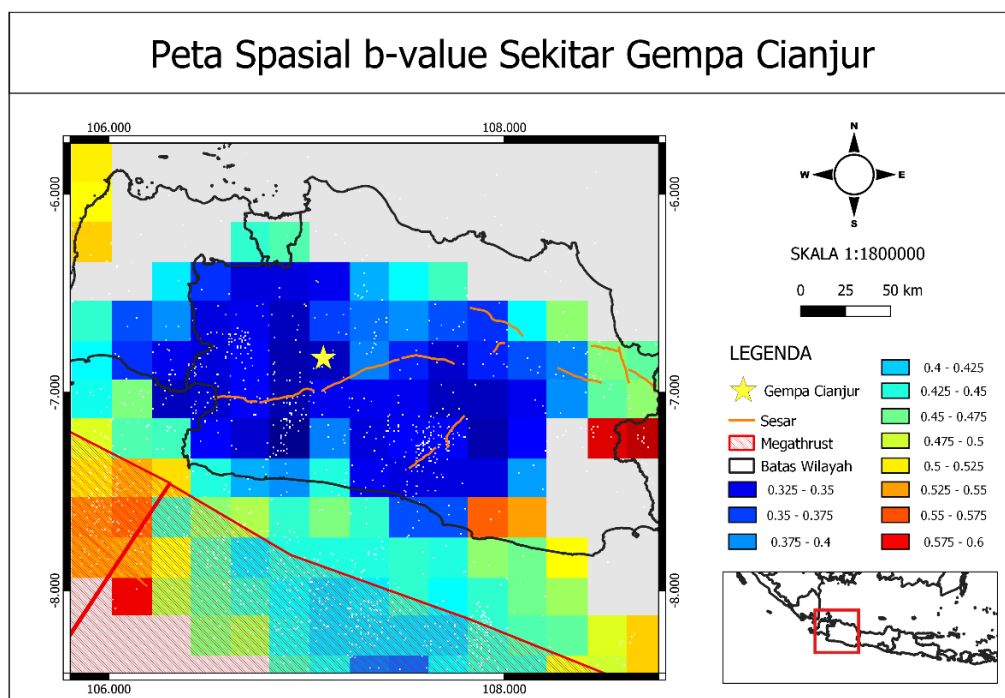
Data yang digunakan untuk pemetaan variasi spasial a-value dan b-value merupakan data gabungan yang diperoleh dari ISC dan BMKG setelah dilakukan declustering. Peta

variasi spasial a-value pada wilayah penelitian dapat dilihat pada Gambar 4. Nilai a (a-value) merupakan parameter seismik yang terpengaruh oleh sejumlah besar data dan area

studi yang luas (Hilmi dkk., 2019). Variasi spasial *a-value* Jawa Barat khususnya di sekitar area gempa Cianjur memiliki nilai minimum 2,6 dan maksimum 3,2 yang ditandai dengan warna biru tua hingga hijau. Hal ini berarti daerah sekitar gempa Cianjur memiliki aktivitas kegempaan yang cukup rendah. Namun, terdapat area sebelah selatan memiliki *a-value* yang tinggi dengan rentang nilai 3,4 sampai 3,8 ditandai dengan berwarna jingga hingga merah hal ini dikarenakan area bagian selatan Jawa dipengaruhi oleh zona megathrust (Arubi dkk., 2022)

Nilai *b* (*b-value*) merupakan parameter tektonik yang meliputi kondisi lingkungan geologi (Hilmi dkk., 2019). Berdasarkan **Gambar 5**, *b-value* di Jawa Barat memiliki nilai 0,32 sampai dengan 0,6 sehingga *b-value* pada wilayah ini memiliki nilai yang rendah. Parameter *b-value* yang rendah mengindikasikan bahwa daerah tersebut memiliki tingkat kerapuhan batuan yang rendah dan ketahanan yang kuat terhadap

retakan dan patahan. Ini berarti batuan di daerah tersebut cenderung lebih stabil dan kurang rentan terhadap gempa bumi. Sedangkan *b-value* yang tinggi menunjukkan bahwa daerah tersebut memiliki tingkat kerapuhan batuan yang tinggi dan ketahanan yang lemah terhadap retakan dan patahan. Daerah dengan *b-value* tinggi sering kali mengalami gempa bumi kecil secara terus-menerus, yang menunjukkan adanya aktivitas retakan batuan yang lebih sering terjadi (Mogi, 1963). Parameter *b-value* yang rendah berkaitan dengan tingkat tekanan atau *stress* yang tinggi, sementara *b-value* yang tinggi berkaitan dengan tingkat tekanan atau *stress* yang rendah (Hilmi dkk., 2019). Wilayah kegempaan di sekitar gempa Cianjur memiliki *b-value* dengan kisaran nilai 0,32 hingga 0,4 sehingga wilayah tersebut dapat diindikasikan sebagai wilayah yang cenderung memiliki tingkat *stress* batuan yang tinggi sehingga daerah yang berada di sekitar patahan dapat berpotensi menimbulkan gempa besar.



Gambar 5. Distribusi *b-value* Pulau Jawa dari katalog ISC dan BMKG tahun 1964-2022.

Hasil yang terdapat pada **Gambar 6** merupakan variasi temporal *b-value* dengan nilai *Mc* yang telah ditetapkan dengan nilai sebesar 3,0 Mw (**Gambar 9**). Nilai *Mc* tersebut diambil berdasarkan nilai *Mc* yang paling mendominasi pada beberapa variasi *Mc* (**Gambar 10**). Penetapan nilai *Mc* tersebut dilakukan untuk memperoleh perbandingan *b-value* yang paling sesuai. Pada **Gambar 11**, terlihat *b-value* dengan *Mc* yang bervariasi berpengaruh pada nilai tinggi atau rendah *b-value* sehingga tidak memperlihatkan *b-value* yang sebenarnya. Estimasi *Mc* diasumsikan berdasarkan distribusi hukum pangkat GR dari Persamaan (2). Untuk mengevaluasi tingkat kecocokan (*goodness of fit*) antara data kumulatif FMD dan estimasi nilai dari persamaan GR, maka perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui perbedaan antara FMD yang diamati dengan distribusi sintetis. Data yang tidak lengkap, hukum pangkat (*power law*) sederhana tidak dapat menjelaskan FMD yang diamati secara memadai yang ditunjukkan dengan nilai R yang rendah. Sehingga, estimasi *Mc* dilakukan dengan menghitung nilai R untuk mengetahui kecocokan antara FMD yang diamati dengan distribusi sintetis (Wiemer & Wyss, 2000). Pada penelitian ini, variasi nilai R pada data katalog yang digunakan cukup baik (**Gambar 12**), yaitu dengan nilai kecocokan sebesar 82%-88%. Hal tersebut dapat kita asumsikan bahwa *b-value* yang didapatkan cukup merepresentasikan distribusi kumulatif kejadian gempa yang sebesarnya.

Pengamatan temporal *b-value* berguna untuk mengevaluasi proses peralihan *b-value* di rentang waktu pengamatan serta korelasinya terhadap gempa yang terjadi. Berdasarkan **Gambar 6**, terlihat adanya penurunan *b-value* terlebih dahulu sebelum gempa besar, gempa dengan kekuatan 5 magnitudo yang ditandai dengan warna biru dan penurunan sebelum gempa Cianjur 5,6 magnitudo yang ditandai

dengan garis vertikal berwarna merah. Sebelum gempa Cianjur, penurunan *b-value* terjadi secara bertahap dalam jangka waktu 4 tahun sebelum kejadian gempa tepatnya November 2018 sampai dengan Oktober 2022. Penurunan *b-value* yang terus menerus dalam rentang waktu yang pendek maupun panjang merupakan informasi awal yang patut diwaspadai sebagai awal indikasi akan terjadi gempa besar seperti yang terjadi pada kasus-kasus sebelumnya (Scholz, 1968; Wulandari dkk., 2023). Namun, pada kasus ini sebelum terjadi gempa terdapat kenaikan *b-value* yang diikuti penurunan tepat sebulan sebelum gempa Cianjur, hal ini didukung dengan penelitian sebelumnya mengenai gempa besar akan terlebih dahulu terjadi kenaikan *b-value* dengan diikuti penurunan sebelum terjadi gempa utama (Rohadi, 2008).

Pada nilai rata-rata *b-value* terdapat penurunan secara bertahap yang terlihat pada **Tabel 1**, dengan *b-value* pada setiap tahunnya terjadi penurunan yang berturut-turut dengan nilai rata-rata *b-value* untuk 4 tahun terakhir sebelum kejadian, yaitu mendekati 1. Namun, penurunan *b-value* tidak hanya terjadi sebelum gempa Cianjur, tetapi juga terjadi setelah gempa yaitu terhitung 8 bulan setelah kejadian dengan *b-value* rata-rata sebesar 0,993. Menurut penelitian sebelumnya (Risanti & Prastowo, 2021), hal ini dapat terjadi karena masih terdapat akumulasi *stress* pada patahan sumber gempa. Analisis temporal dari *b-value* belum mampu untuk dapat menganalisis tanda-tanda awal gempa bumi secara mutlak dan konsisten. Namun, dalam beberapa kasus, analisis ini dapat mengindikasikan perlunya mewaspadai peningkatan yang diikuti oleh penurunan tajam dalam *b-value*, karena hal ini dapat mengindikasikan gempa bumi yang merusak (Ngadmanto, 2010). Selain itu, variasi temporal dari *b-value* dapat diamati secara periodik dan dapat digunakan sebagai prekursor gempa bumi besar (Nuannin & Kulháněk, 2012).

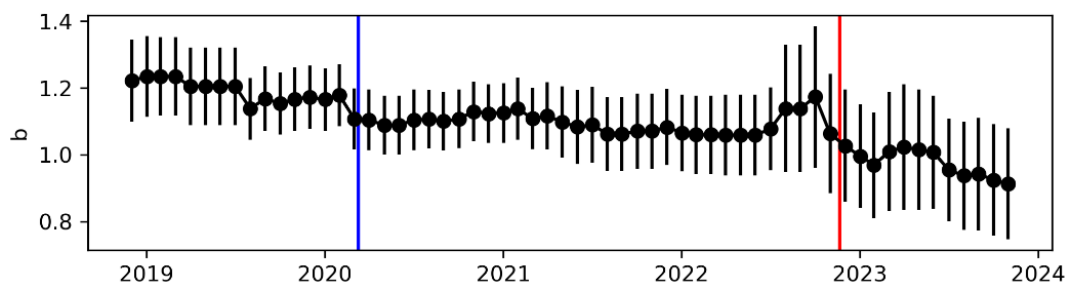
Setelah gempa Cianjur, b -value terlihat mengalami penurunan (**Gambar 6**). Hal tersebut dipengaruhi oleh banyaknya kejadian gempa (N) setelah gempa utama. Jika diamati pada **Gambar 7**, banyaknya kejadian gempa (N) terus mengalami peningkatan, hal tersebut diakibatkan oleh gempa susulan (*aftershock*) setelah *mainshock* yang terus meningkat. Namun, peningkatan aktivitas gempa tersebut didominasi oleh gempa dengan magnitudo kecil di bawah nilai M_c yang ditetapkan. Sehingga dapat dilihat pada **Gambar 8**, aktivitas gempa dengan magnitudo di atas M_c

mengalami penurunan, akibatnya hal tersebut juga mempengaruhi penurunan b -value.

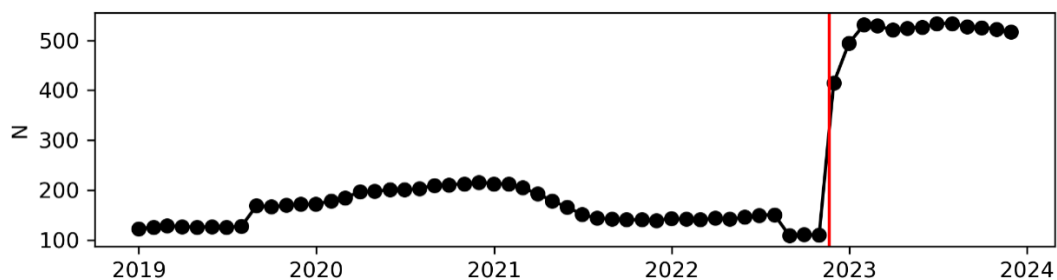
Berdasarkan penurunan b -value dan penurunan jumlah kejadian gempa, baik untuk *fix* M_c maupun variasi M_c menandakan adanya akumulasi stress yang tinggi di daerah penelitian. Secara geologi, penurunan ini juga menunjukkan adanya kondisi batuan yang tahan dan tidak rapuh. Batuan yang tahan cenderung memiliki kekuatan yang tinggi dan memiliki kemampuan untuk menahan tekanan atau gempa bumi tanpa mengalami keretakan atau kerusakan yang signifikan.

Tabel 1. Nilai rata-rata b -value setiap tahun sebelum dan setelah gempa Cianjur.

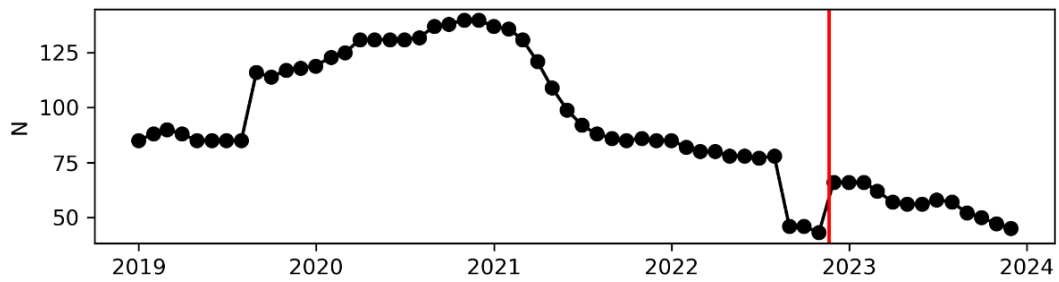
Time Window	Rata-rata b -value
November 2018 – Oktober 2019	1.197
November 2019 – Oktober 2020	1.121
November 2020 – Oktober 2021	1.096
November 2021 – Oktober 2022	1.086
November 2022 – Juli 2023	0.993



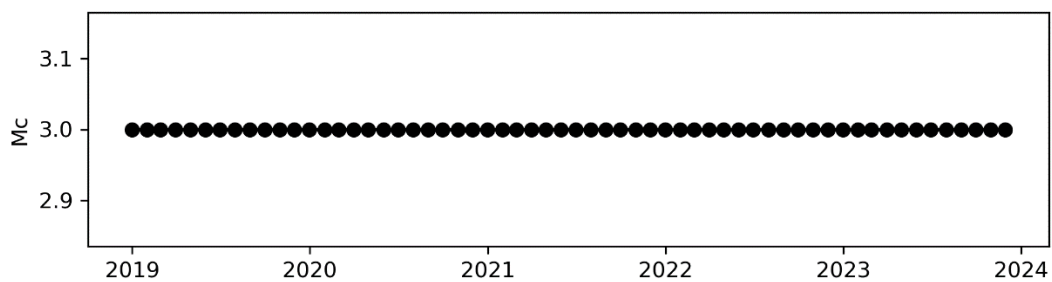
Gambar 6. Variasi temporal b -value dengan rentang waktu pengamatan November 2018 - Juli 2023 dengan *fixed* M_c 3,0. Garis vertikal berwarna merah merupakan gempa Cianjur. Garis vertikal berwarna biru merupakan gempa berkekuatan 5 magnitudo sekitar area gempa Cianjur.



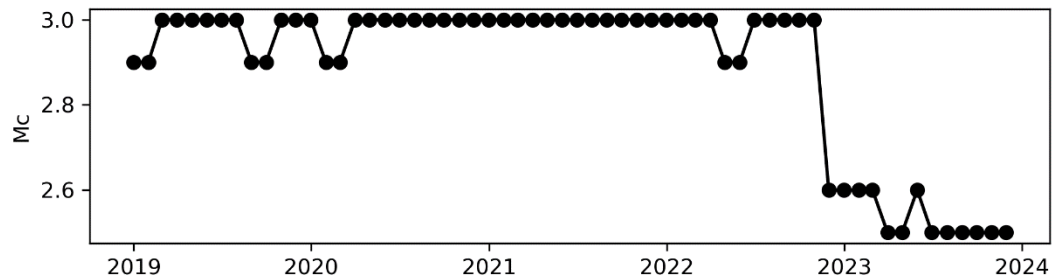
Gambar 7. Jumlah kejadian gempa (N) interval 3 tahun terhadap waktu pada rentang waktu pengamatan November 2018 - Juli 2023 seluruh katalog. Garis vertikal berwarna merah merupakan gempa Cianjur.



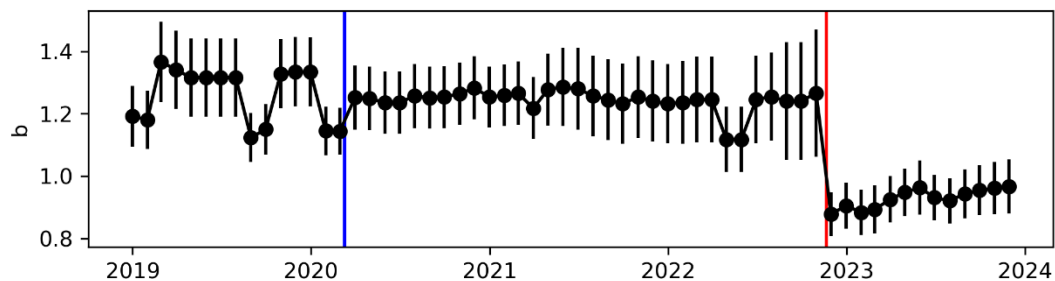
Gambar 8. Jumlah kejadian gempa (N) interval 3 tahun terhadap waktu dengan rentang waktu pengamatan November 2018 - Juli 2023 setelah dibatasi M_c (Gambar 9). Garis vertikal berwarna merah merupakan gempa Cianjur.



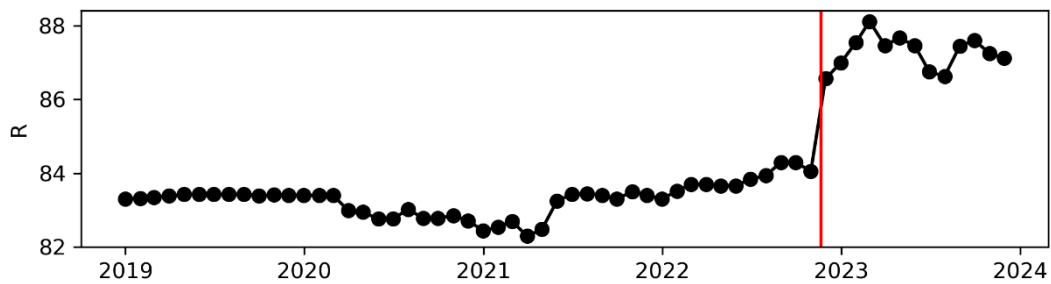
Gambar 9. Fixed M_c dengan rentang waktu pengamatan November 2018 - Juli 2023.



Gambar 10. Variasi M_c dengan rentang waktu pengamatan November 2018 - Juli 2023.



Gambar 11. Variasi temporal b -value November 2018 - Juli 2023 dengan M_c yang bervariasi (Gambar 10). Garis vertikal berwarna merah merupakan gempa Cianjur. Garis vertikal berwarna biru merupakan gempa berkekuatan 5 magnitudo sekitar area gempa Cianjur.



Gambar 12. Nilai kesesuaian (R) pada rentang waktu pengamatan November 2018 - Juli 2023 untuk b -value pada Gambar 6. Garis vertikal berwarna merah merupakan gempa Cianjur.

5. KESIMPULAN

Hasil hubungan FMD berdasarkan area gempa Cianjur memiliki nilai a -value sebesar 3,95 dan b -value sebesar 0,97. Dari hasil persebaran variasi spasial a -value untuk wilayah penelitian memiliki nilai minimum 2,6 dan maksimum 3,2 yang mengindikasikan bahwa aktivitas ke-gempaan di wilayah penelitian cukup rendah, sedangkan variasi spasial b -value untuk wilayah penelitian memiliki nilai 0,32 hingga 0,4 sehingga diasumsikan memiliki tingkat stress batuan yang tinggi. Analisis variasi temporal 4 tahun sebelum gempa utama cenderung menurun secara bertahap dengan nilai mendekati 1 dan terjadi kenaikan yang diikuti penurunan b -value sebelum gempa Cianjur yang dapat mengkonfirmasi terjadinya gempa Cianjur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada ISC dan BMKG atas ketersediaan data sekunder gempa penelitian ini yang diakses secara terbuka dari <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/> dan <https://repogempa.bmkg.go.id/eventcatalog>. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada dosen-dosen ITERA yang telah memberikan masukan bermanfaat untuk kesempurnaan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aki, K. (1965). Maximum likelihood estimates of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits. *Bull. Earthquake Res. Inst., Tokyo Univ.*, 43, 237-239.
- Arubi, D., Zulfakriza, Rosalia, S., Sahara, D. P., & Puspito, N. T. (2022). Estimation of B-Value Variation as Earthquake Precursor in Java Region with Maximum Likelihood Method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1047(1). <https://doi.org/10.1088/17551315/1047/1/012027>
- Gutenberg, B., & Richter, C. F. (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological society of America*, 34(4), 185-188.
- 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.
- Irsyam, M., Widiyantoro, S., Natawidjaja, D. H., Meilano, I., Rudyanto, A., Hidayati, S., Triyoso, W., Hanifa, N., R., Djarwadi, D., Faizal, L., Sunarjito (2017). Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Pusat Penelitian dan Pengembangan Rumah dan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Ishimoto, M., & Lida, K. (1939). Observations of earthquakes registered with the microseismograph constructed recently. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 17, 443-478.
- Linda, L., Ihsan, N., & Palloan, P. (2019). Analisis distribusi spasial dan temporal seismotektonik berdasarkan nilai b -value dengan menggunakan metode likelihood di Pulau Jawa. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 8(3), 269-278.

- Mignan, A., & Woessner, J. (2012). Estimating the magnitude of completeness for earthquake catalogs, Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis. <http://dx.doi.org/10.5078/corssa-00180805>
- Mogi, K. (1963). Some discussions on aftershocks, foreshocks and earthquake swarms-the fracture of a semi finite body caused by an inner stress origin and its relation to the earthquake phenomena. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 41, 615-658.
- Muhari, A. (2022). [UPDATE] 327 Orang Meninggal Dunia Pasca Gempa Cianjur. Badan Nasional Penanggulangan Bencana. <https://bnpb.go.id/berita/-update-327-orang-meninggal-dunia-pasca-gempa-cianjur->
- Ngadmanto, D. (2010). Penentuan Potensi Gempa Bumi Merusak Berdasarkan Parameter Kegempaan di Wilayah Busur Banda. *Widyaiset*, 3(12), 125–132.
- Nuannin, P., & Kulháněk, O. (2012). A Study of b-value precursors applied to the Andaman-Sumatra region. *Journal of Earth Science and Engineering*, 2(3).
- Popandopoulos, G. A., & Chatziioannou, E. (2014). Gutenberg-Richter law parameters analysis using the hellenic unified seismic network data through fastbee technique. *Earth Sci*, 3(5), 122-131.
- Risanti, H., & Prastowo, T. (2021). Estimasi Parameter a-Value dan b-Value untuk Analisis Studi Seismisitas dan Potensi Bahaya Bencana Gempa Tektonik di Wilayah Maluku Utara. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 10(1), 1-10. <https://doi.org/10.26740/ifi.v10n1.p1-10>
- Rohadi, S. (2008). Studi Aplikasi Wavelet pada Periodisitas dan Prediksi Aktivitas Gempabumi di Zona Subduksi Jawa [Master's Thesis, Institut Teknologi Bandung]. <https://digilib.itb.ac.id/index.php/gdl/view/9398>
- Rohadi, S. (2009). Studi Seismotektonik Sebagai Indikator Potensi Gempabumi Di Wilayah Indonesia. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 10(2), 111–120. <https://doi.org/10.31172/jmg.v10i2.40>
- Rohadi, S., Grandis, H., & Ratag, M. A. (2007). Studi Variasi Spatial Seismisitas Zona Subduksi Jawa. *Jurnal meteorologi dan geofisika*, 8(1), 42-47.
- Rydelek, P. A., & Sacks, I. S. (1988). Testing the completeness of earthquake catalogs and the hypothesis of self-similarity. *Nature*, 337(6204), 251–253. <https://doi.org/10.1038/337251a0>
- Scholz, C. H. (1968). The Frequency-Magnitude Relation of Microfracturing in Rock and its Relation to Earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58(1), 399–415. <https://doi.org/10.1785/BSSA0580010399>
- Shi, Y., & Bolt, B. A. (1982). The standard error of the magnitude-frequency b value. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 72(5), 1677–1687.
- Simamora, J. T., & Namigo, E. L. (2016). Pemetaan Magnitude of Completeness (Mc) untuk Gempa Sumatera. *Jurnal Fisika Unand*, 5(2), 179–186. <https://doi.org/10.25077/jfu.5.2.179186.2016>
- Supendi, P., Jatnika, J., Sianipar, D., & Ali, Y. H. (2022). Analisis Gempa bumi Cianjur (Jawa Barat) Mw 5,6 Tanggal 21 November 2022. Kelompok Kerja Sesar Aktif Dan Katalog Gempabumi Badan Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika (BMKG), November, 13-16.
- Taruna, R. M., & Pratiwi, A. (2021). Konversi Empiris Summary Magnitude, Local Magnitude, Body-Wave Magnitude, Surface Magnitude, dan Moment Magnitude Menggunakan Data Gempabumi 1922-2020 di Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Sains Teknologi dan Lingkungan*, 7(1), 1-12. <https://dx.doi.org/10.29303/jstl.v7i1.198>
- Utsu, T. (1965). A method in determining the value of b in a formula $\log n = a - bM$ showing the magnitude frequency for earthquakes. *Geophys. Bull Hokaido Univ*, 13, 99–103.
- Utsu, T. (1978). An investigation into the discrimination of foreshock sequences from earthquake swarms. *Zisin II (J. seismol. Soc. Japan)*, 31, 129-135.
- Weatherill, G. A. (2014). OpenQuake Hazard Modeller's Toolkit - User Guide (Issue July). Global Earthquake Model (GEM) Foundation.
- Weichert, D. H. (1980). Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 70(4), 1337-1346.
- 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>
- Wulandari, R., Chung, H. C., & Wibowo, A. (2023). The 2022 Mw6. 2 Pasaman, Indonesia, earthquake sequence and its implication of seismic hazard in central-west Sumatra. *Geoscience Letters*, 10(1), 25. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1931662/v1>
- Wyss, M., Wiemer, S., & Zúñiga, R. (2001). ZMAP A Tool for Analyses of Seismicity Patterns Typical Application and Uses: A Cookbook.
- Žalohar, J. (2018). Gutenberg-Richter's Law. In J. Žalohar (Ed.), *Developments in Structural Geology and Tectonics* (pp. 173–178). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814580-7.00014-9>