



## **ANALISIS TINGKAT KERAWANAN SEISMIK PROVINSI DI PULAU SUMATERA MENGGUNAKAN PARAMETER GUTENBERG-RICHTER**

**Lola Amanda<sup>1</sup>, Lailatul Husna Lubis<sup>2\*</sup>, & Ratni Sirait<sup>3</sup>**

<sup>1,2,&3</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Jalan William Iskandar Ps V, Deli Serdang, Sumatera Utara 20371, Indonesia

\*Email: [lailatulhusnalubis@uinsu.ac.id](mailto:lailatulhusnalubis@uinsu.ac.id)

Submit: 21-04-2026; Revised: 29-04-2026; Accepted: 02-05-2026; Published: 03-07-2026

**ABSTRAK:** Pulau Sumatera memiliki kondisi geologi yang kompleks, karena berada di zona tumbukan antara Lempeng Indo-Australia yang bergerak ke utara dan Lempeng Eurasia yang relatif stabil. Interaksi kedua lempeng ini membentuk dua struktur tektonik utama, yaitu zona subduksi di lepas pantai barat Sumatera dan Zona Sesar Sumatera (SFZ). Zona kedua menunjukkan aktivitas seismik yang bervariasi dan belum terpetakan dengan jelas. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji tingkat kerentanan seismik di Pulau Sumatera dengan membagi wilayah menjadi sembilan zona menggunakan parameter nilai  $a$  dan nilai  $b$  berdasarkan persamaan *Gutenberg-Richter*. Data gempa bumi dari katalog USGS dan IRIS untuk periode 1924-2024 diproses melalui prosedur *declustering*, kemudian dianalisis menggunakan metode *maximum likelihood* dengan bantuan perangkat lunak ZMAP v6. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai  $a$  di Pulau Sumatera berkisar antara 2,1 hingga 5,1 sedangkan nilai  $b$  berkisar antara 0,545 hingga 0,868. Sumatera Utara mencatat nilai  $a$  dan  $b$  tertinggi, masing-masing sebesar 3,82 dan 0,786. Sementara itu, Sumatera Barat menunjukkan nilai terendah, dengan nilai  $a$  sebesar 2,9 dan nilai  $b$  sebesar 0,623. Temuan ini tidak hanya menunjukkan variasi aktivitas seismik di Pulau Sumatera, tetapi juga mengungkap zonasi kerawanan yang lebih rinci berbasis parameter *Gutenberg-Richter* yang dapat dimanfaatkan sebagai dasar perencanaan mitigasi bencana dan pembangunan infrastruktur tahan gempa.

**Kata Kunci:** *A-Value, B-Value, Gempa Bumi, Maximum Likelihood, Pulau Sumatera.*

**ABSTRACT:** Sumatra Island has complex geological conditions as it is located in a collision zone between the northward-moving Indo-Australian Plate and the relatively stable Eurasian Plate. The interaction of these two plates forms two main tectonic structures: the subduction zone off the western coast of Sumatra and the Sumatra Fault Zone (SFZ). The latter exhibits varying seismic activity that has not yet been clearly mapped. This study aims to assess the level of seismic vulnerability across Sumatra Island by dividing the region into nine zones using the  $a$ -value and  $b$ -value parameters based on the *Gutenberg-Richter* relationship. Earthquake data from the USGS and IRIS catalogs for the period 1924-2024 were processed through a *declustering* procedure and subsequently analyzed using the *Maximum Likelihood* method with the assistance of ZMAP v6 software. The results show that the  $a$ -value across Sumatra ranges from 2.1 to 5.1, while the  $b$ -value ranges from 0.545 to 0.868. North Sumatra records the highest  $a$ - and  $b$ -values, at 3.82 and 0.786, respectively. In contrast, West Sumatra shows the lowest values, with an  $a$ -value of 2.9 and a  $b$ -value of 0.623. These findings not only reveal variations in seismic activity across Sumatra Island, but also provide a more detailed zonation of seismic hazard based on the *Gutenberg-Richter* parameters, which can serve as a basis for disaster mitigation planning and the development of earthquake-resistant infrastructure.

**Keywords:** *A-Value, B-Value, Earthquake, Maximum Likelihood, Sumatera Island.*

**How to Cite:** Amanda, L., Lubis, L. H., & Sirait, R. (2026). Analisis Tingkat Kerawanan Seismik Provinsi di Pulau Sumatera Menggunakan Parameter *Gutenberg-Richter*. *Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan*, 6(3), 1506-1515. <https://doi.org/10.36312/panthera.v6i3.1304>



## PENDAHULUAN

Pulau Sumatera memiliki kondisi geologi yang sangat kompleks, karena terletak pada zona tumbukan antara Lempeng Indo-Australia yang bergerak ke utara dan Lempeng Eurasia yang relatif stabil. Tumbukan ini terjadi sepanjang zona subduksi Sunda, dimana lempeng Indo-Australia menyusup ke bawah Eurasia dengan kecepatan sekitar 51-61 mm/tahun (Shearer, 2019). Interaksi tektonik tersebut membentuk dua struktur utama, yaitu zona subduksi di lepas pantai barat Sumatera dan *Sumatran Fault Zone* (SFZ), yaitu sistem patahan geser mendatar yang memanjang dari barat laut ke tenggara, terdiri atas ratusan segmen aktif, dan menjadi salah satu sumber utama gempa bumi di wilayah ini (Alif *et al.*, 2022). Akumulasi tegangan tektonik pada kedua struktur tersebut menjadikan Sumatera sebagai salah satu wilayah dengan tingkat aktivitas seismik tertinggi di Indonesia.

Analisis sebaran aktivitas seismik dan kondisi tektonik suatu wilayah dapat dilakukan melalui pendekatan statistik untuk mengidentifikasi tingkat aktivitas kegempaan, nilai seismisitas, serta periode ulang kejadian gempa dengan magnitudo tertentu (Madlazim & Lestari, 2022). Parameter tersebut umumnya diestimasi menggunakan nilai *a-value* dan *b-value* berdasarkan hubungan *Gutenberg-Richter*. Nilai *a-value* mencerminkan tingkat frekuensi kejadian gempa, sedangkan *b-value* menunjukkan proporsi relatif antara gempa kecil dan besar; nilai *b-value* yang rendah sering dikaitkan dengan tingginya akumulasi tegangan seismik yang berpotensi memicu gempa besar. Keakuratan estimasi kedua parameter ini sangat dipengaruhi oleh jumlah dan kualitas data gempa yang dianalisis, dimana penggunaan data jangka panjang cenderung menghasilkan estimasi yang lebih stabil dan representatif terhadap kondisi seismik sebenarnya. Oleh karena itu, penerapan hukum *Gutenberg-Richter* dinilai relevan dan efektif dalam kajian potensi bahaya gempa tektonik di berbagai kondisi geologi (Chang *et al.*, 2025).

Meskipun berbagai penelitian mengenai aktivitas seismik di Pulau Sumatera telah dilakukan, sebagian besar studi masih berfokus pada segmen tertentu atau menggunakan pembagian wilayah dalam skala yang relatif luas, sehingga belum mampu menggambarkan variasi spasial kerentanan seismik secara rinci. Selain itu, beberapa penelitian sebelumnya belum memanfaatkan data gempa jangka panjang secara optimal atau belum mengintegrasikan analisis parameter *a-value* dan *b-value* dalam kerangka zonasi yang sistematis. Keterbatasan ini menyebabkan kurangnya informasi detail mengenai distribusi tingkat kerawanan seismik pada skala regional yang lebih tersegmentasi.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan melalui analisis spasial kerentanan seismik yang lebih rinci dengan membagi wilayah Pulau Sumatera menjadi sembilan zona. Pembagian ini didasarkan pada pertimbangan distribusi aktivitas seismik, karakteristik tektonik, serta kebutuhan untuk memperoleh resolusi spasial yang lebih representatif tanpa mengurangi kecukupan jumlah data pada tiap zona. Dengan pendekatan ini, diharapkan variasi lokal dalam parameter seismik dapat diidentifikasi dengan lebih akurat.



Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji secara kuantitatif tingkat kerentanan seismik di Pulau Sumatera berdasarkan parameter *a-value* dan *b-value*, serta mengidentifikasi zona-zona dengan potensi risiko gempa yang lebih tinggi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam penyusunan strategi mitigasi bencana, serta menjadi dasar dalam perencanaan pembangunan infrastruktur tahan gempa di wilayah rawan seismik.

## METODE

Wilayah penelitian mencakup Pulau Sumatera yang berada pada koordinat  $5^{\circ}$  LU- $6^{\circ}$  LS dan  $95^{\circ}$  BT- $106^{\circ}$  BT. Data gempa bumi yang digunakan diperoleh dari katalog *United States Geological Survey* (USGS) dan *Incorporated Research Institutions for Seismology* (IRIS) untuk periode 1924-2024, dengan batas magnitudo  $3 \leq M_w \leq 8$  serta kedalaman  $\leq 60$  km, dengan total sebanyak 5.189 kejadian gempa. Data yang diperoleh dari kedua katalog terlebih dahulu dilakukan penyatuan (*merging dataset*) dan standardisasi format. Karena data gempa berasal dari berbagai sumber dengan skala magnitudo yang berbeda (*M<sub>b</sub>*, *M<sub>s</sub>*, dan *M<sub>w</sub>*), maka dilakukan konversi ke skala *Magnitudo momen* (*M<sub>w</sub>*) menggunakan persamaan empiris yang sesuai literatur seismologi. Hal ini dilakukan untuk memastikan homogenitas data sebelum analisis lebih lanjut.

**Tabel 1. Konversi Magnitudo Gempa (Scordilis, 2006).**

Kolerasi Konversi	Range Data
$M_w = (0.85 \times M_b) + 1.03$	$3.5 \leq M_b \leq 6.0$
$M_w = 0.143 M_s^2 - 1.051 M_s + 7.285$	$4.5 \leq M_s \leq 8.6$
$M_b = 0.125 M_L^2 - 0.389 M_L + 3.513$	$3.0 \leq M_L \leq 6.2$

Selanjutnya, dilakukan analisis kelengkapan data *M<sub>c</sub>* (*magnitude of completeness*) untuk menentukan batas bawah magnitudo, dimana data dianggap lengkap dan reliabel. Nilai *M<sub>c</sub>* ditentukan menggunakan metode statistik pada perangkat lunak ZMAP v6 berdasarkan kurva frekuensi-magnitudo (*frequency magnitude distribution/FMD*). Nilai *M<sub>c</sub>* yang diperoleh kemudian digunakan sebagai ambang batas ( $M \geq M_c$ ) dalam seluruh analisis seismisitas. Tahap berikutnya adalah proses *declustering* untuk memisahkan kejadian gempa utama (*mainshock*) dari gempa pendahulu (*foreshock*) dan susulan (*aftershock*) (Traitangwong *et al.*, 2024). Proses ini dilakukan menggunakan metode Gardner dan Knopoff yang telah terintegrasi dalam perangkat lunak ZMAP v6, sehingga hanya data gempa independen yang digunakan dalam analisis statistik (Risanti *et al.*, 2022).

Data yang telah melalui proses *declustering* kemudian dianalisis menggunakan metode *maximum likelihood estimation* untuk menghitung parameter *Gutenberg-Richter*, yaitu nilai *a-value* dan *b-value*. Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak ZMAP v6 yang dijalankan melalui MATLAB R2007b. Untuk visualisasi spasial, pemetaan wilayah penelitian dan distribusi seismisitas dilakukan menggunakan ArcGIS 10.8. Pengolahan data tambahan seperti pengelompokan, konversi, dan tabulasi dilakukan menggunakan *Microsoft Excel* 2021, sedangkan penyusunan naskah menggunakan *Microsoft Word* 2021.



---

$$\text{Log N (M)} = a - bM$$

Dalam penentuan parameter seismotektonik seperti *a-value* dan *b-value* berdasarkan persamaan *Gutenberg-Richter* dianalisis secara statistik menggunakan *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) yang memiliki akurasi tinggi (Woessner, 2005). Metode ini pertama kali diperkenalkan dalam bidang seismologi yang membuktikan bahwa MLE menghasilkan estimasi *b-value* yang lebih tepat dibandingkan metode regresi linier konvensional (Pardo-Igúzquiza & Dowd, 2024).

$$b = \frac{\log e}{\bar{M} - M_0} \text{ dan } M = \frac{\sum_1^n = 1 M_n}{\sum_1^n = 1 n}$$

**Keterangan:**

a,b = Konstanta;  
log e = 0,4343;  
N = Jumlah kejadian gempa bumi;  
 $\bar{M}$  = Magnitudo rata-rata ( $M_w$ ); dan  
 $M_0$  = Magnitudo minimum ( $M_w$ ).

Parameter *a-value* dan *b-value* tersebut selanjutnya menjadi dasar dalam perhitungan estimasi periode ulang gempa. Periode ulang gempa adalah estimasi rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya kembali gempa dengan magnitudo tertentu di suatu wilayah. Berdasarkan perhitungan persamaan *Gutenberg-Richter*, diketahui bahwa semakin besar magnitudo yang dianalisis, jumlah kejadian gempa (N) akan semakin sedikit, sehingga interval waktu atau periode ulangnya menjadi lebih panjang (Rasimeng *et al.*, 2022).

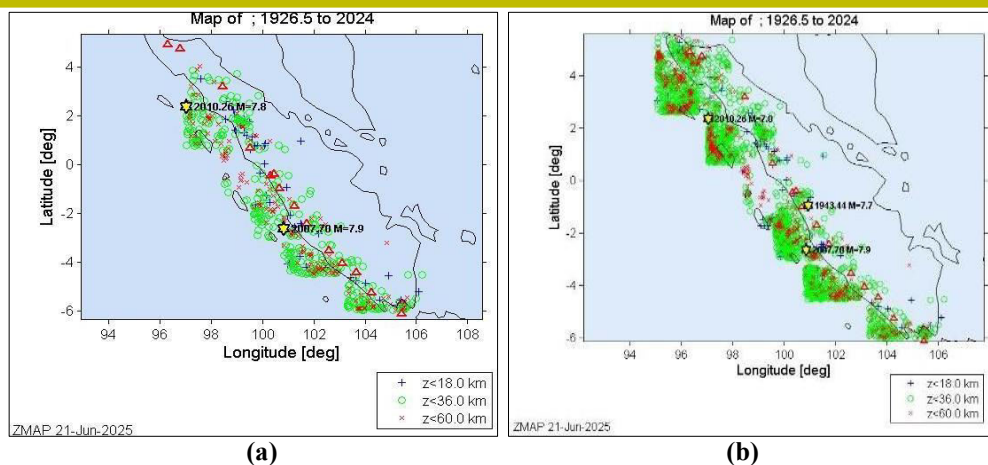
$$b = \frac{1}{N} = \frac{1}{10^a - bM}$$

**Keterangan:**

N = Jumlah kejadian gempa dengan magnitudo  $\geq M$ ;  
M = Magnitudo gempa; dan  
a dan b = Parameter empiris dari data gempa di wilayah tertentu.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan estimasi parameter *a-value* dan *b-value*, data gempa terlebih dahulu menjalani proses *declustering* guna memisahkan kejadian gempa utama dari *foreshock* dan *aftershock*. Proses ini bertujuan menghilangkan bias yang disebabkan oleh keterikatan spasial dan temporal antara gempa utama (*mainshock*) dengan gempa pendahulu (*foreshock*) maupun gempa susulan (*aftershock*). Kehadiran gempa-gempa yang saling berkaitan ini dapat menyebabkan estimasi parameter *a-value* dan *b-value* menjadi tidak akurat, karena persamaan *Gutenberg-Richter* mengasumsikan bahwa setiap kejadian gempa bersifat *independent*. Setelah proses *declustering* selesai, katalog gempa yang dihasilkan hanya berisi kejadian gempa utama yang dianggap mewakili aktivitas seismik *independen* di wilayah penelitian. Katalog hasil *declustering* ini kemudian digunakan sebagai dasar dalam analisis hubungan frekuensi-magnitudo menggunakan persamaan *Gutenberg-Richter*. Dengan menggunakan data yang telah bebas dari pengaruh rangkaian *foreshock* dan *aftershock*, estimasi parameter *a-value* dan *b-value* lebih mencerminkan karakteristik seismotektonik yang sebenarnya.



**Gambar 1. (a) Data Sebelum *Declustering*; dan (b) Data Sesudah *Declustering*.**

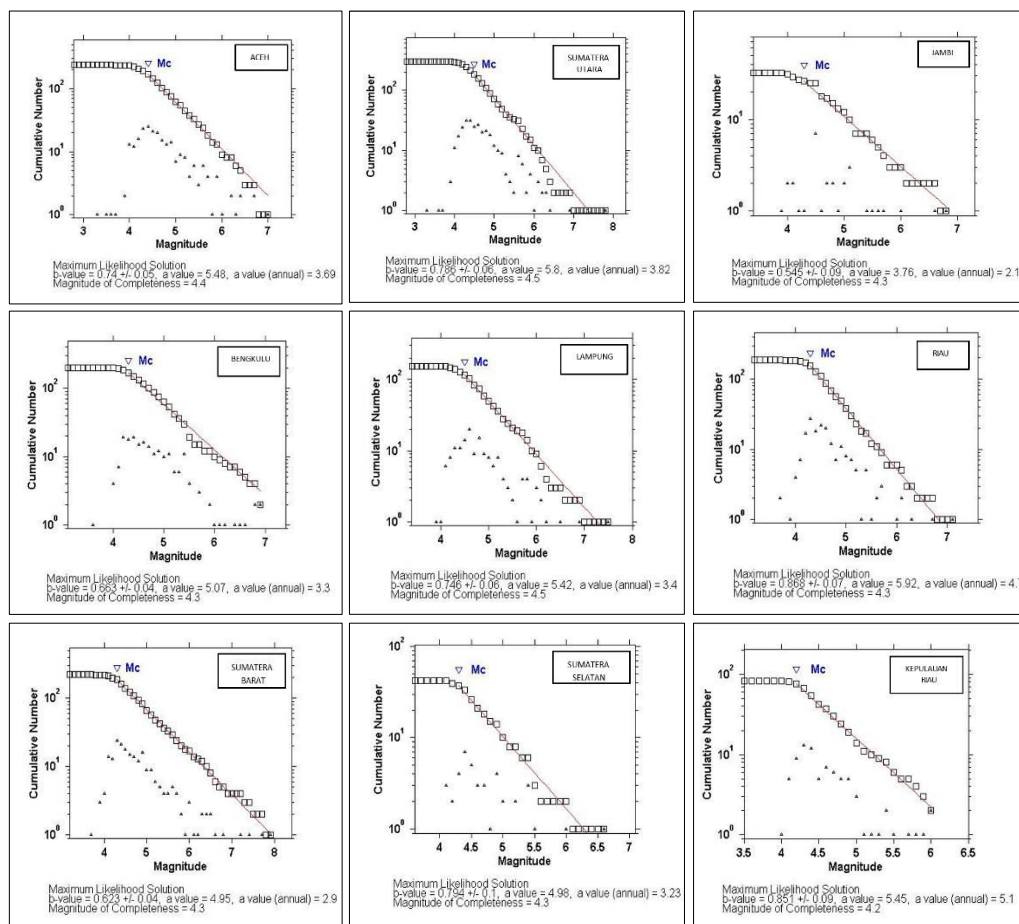
Distribusi hiposenter gempa bumi di Pulau Sumatera periode 1926–2024 menunjukkan sebaran aktivitas seismik yang mengikuti pola zona subduksi di sepanjang pantai barat Sumatera hingga jalur Sesar Sumatera (*Sumatran Fault Zone*). Secara umum, aktivitas gempa terkonsentrasi pada jalur tektonik utama yang mengindikasikan bahwa deformasi aktif masih berlangsung hingga saat ini. Berdasarkan klasifikasi kedalaman, sebaran gempa dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori utama, yaitu gempa dangkal, menengah, dan dalam. Gempa dangkal ( $z \leq 18$  km) mendominasi wilayah penelitian dan tersebar luas di sepanjang zona patahan serta dekat zona subduksi. Dominasi gempa pada kedalaman ini menunjukkan bahwa aktivitas tektonik paling *intens* terjadi pada lapisan kerak bagian atas yang umumnya berkaitan dengan akumulasi dan pelepasan tegangan pada sesar aktif.

Selanjutnya, gempa kedalaman menengah ( $18 \text{ km} < z \leq 36 \text{ km}$ ) menunjukkan sebaran yang lebih terbatas dan cenderung mengikuti pola subduksi di bagian barat Sumatera. Keberadaan gempa pada kedalaman ini mengindikasikan proses penunjaman Lempeng Indo-Australia ke bawah Lempeng Eurasia yang masih aktif dan menghasilkan deformasi pada zona transisi litosfer. Sementara itu, gempa dalam ( $z > 36 \text{ km}$  hingga  $\leq 60 \text{ km}$ ) relatif lebih jarang ditemukan dan terkonsentrasi pada zona subduksi bagian barat. Keberadaan gempa pada kedalaman ini mencerminkan aktivitas deformasi di slab lempeng yang telah menyusup lebih dalam ke mantel atas, meskipun intensitasnya lebih rendah dibandingkan gempa dangkal. Secara keseluruhan, distribusi kedalaman hiposenter menunjukkan bahwa aktivitas seismik di Pulau Sumatera didominasi oleh gempa dangkal yang berkaitan erat dengan sistem patahan aktif dan zona subduksi. Pola ini menegaskan bahwa wilayah tersebut memiliki tingkat kerentanan seismik yang tinggi, terutama pada zona yang berdekatan dengan jalur tektonik utama.

Dengan demikian, hasil analisis pasca-*declustering* dapat memberikan gambaran yang lebih akurat terhadap tingkat aktivitas seismik di pulau Sumatera. Data ini kemudian digunakan sebagai dasar untuk menghitung parameter *Gutenberg–Richter*, sehingga analisis tingkat aktivitas seismik yang diperoleh mencerminkan kondisi seismisitas latar belakang secara akurat. Langkah selanjutnya adalah menganalisis tingkat aktivitas seismik di pulau Sumatera

berdasarkan parameter seismotektonik. Tahap awal dalam estimasi parameter tersebut dilakukan melalui analisis *Frequency Magnitude Distribution (FMD)*, yaitu hubungan antara frekuensi kejadian gempa dengan kelas magnitudo. Kurva FMD digunakan untuk mengidentifikasi pola distribusi gempa, serta menentukan batas kelengkapan data (*magnitude of completeness*), yaitu nilai magnitudo minimum, dimana data gempa dianggap lengkap dan stabil secara statistik. Pada kurva FMD, bagian linear pada distribusi logaritmik frekuensi-magnitudo menunjukkan rentang data yang memenuhi hukum *Gutenberg–Richter*, sehingga hanya data di atas  $M_c$  yang digunakan dalam analisis lanjutan.

Selanjutnya, berdasarkan data yang telah memenuhi kriteria kelengkapan tersebut, dilakukan estimasi parameter *Gutenberg-Richter* berupa *a-value* dan *b-value* yang mencerminkan tingkat aktivitas seismik serta karakteristik pelepasan energi di wilayah penelitian. Dengan demikian, analisis tingkat aktivitas seismik yang diperoleh tidak hanya mencerminkan distribusi kejadian gempa, tetapi juga karakteristik seismotektonik wilayah secara lebih kuantitatif.



**Gambar 2.** Kurva Kurva *Frekuensi-Magnitude Distribution (FMD)* Masing-masing Provinsi.

Pulau Sumatera memiliki variasi aktivitas seismik yang cukup besar, dengan nilai *a-value* antara 2,1 hingga 5,1 yang mencerminkan perbedaan jumlah kejadian gempa antar provinsi. Nilai *b-value* yang berkisar antara 0,545 hingga 0,868



menunjukkan, bahwa secara umum wilayah ini memiliki kecenderungan terhadap gempa besar. Temuan ini sejalan dengan kondisi pulau Sumatera yang berada di jalur Sesar Sumatera dan dekat dengan zona subduksi, menjadikan wilayah ini rawan gempa dengan energi besar, sehingga penting untuk meningkatkan mitigasi dan kesiap-siagaan bencana di kawasan ini. Pada penelitian ini, wilayah studi dibagi menjadi 9 zona berdasarkan distribusi kejadian gempa. Analisis hubungan frekuensi-magnitudo dilakukan di setiap zona untuk mengidentifikasi karakteristik aktivitas gempa masing-masing wilayah. Selanjutnya, sebaran nilai parameter tektonik dianalisis dan disajikan dalam Tabel 2.

**Tabel 2. Hasil Nilai *A-Value* dan *B-Value* Masing-masing Provinsi.**

No.	Provinsi	Nilai <i>A-value</i>	Nilai <i>B-value</i>
1	Aceh	3.69	0.74
2	Sumatera Utara	3.82	0.786
3	Sumatera Barat	2.9	0.623
4	Sumatera Selatan	3.23	0.794
5	Jambi	2.1	0.545
6	Bengkulu	3.3	0.663
7	Lampung	3.4	0.746
8	Riau	4.7	0.868
9	Kepulauan Riau	5.1	0.851

Sumatera Utara dan Sumatera Barat sama-sama berada pada zona tektonik aktif akibat pengaruh subduksi lempeng dan Sesar Sumatera. Sumatera Utara tergolong kategori sangat tinggi dengan nilai *a-value* 3,82 dan *b-value* 0,786 yang mencerminkan aktivitas seismik cukup sering, didukung ketersediaan data memadai, serta lokasinya berada di zona patahan aktif. Sementara itu, Sumatera Barat masuk kategori tinggi berpotensi besar dengan nilai *a-value* 2,9 dan *b-value* 0,623 yang relatif rendah, mengindikasikan peluang terjadinya gempa bermagnitudo besar meskipun frekuensinya lebih jarang (Dewi & Prastowo, 2021).

Penelitian ini menegaskan pentingnya mempertimbangkan, baik frekuensi kejadian gempa (*a-value*) maupun kerentanan batuan (*b-value*) dalam menentukan tingkat kerawanan seismik suatu wilayah. Selain itu, jumlah dan kualitas data gempa sangat memengaruhi akurasi hasil (Liu *et al.*, 2020), sehingga provinsi-provinsi dengan data terbatas harus menjadi fokus dalam penguatan sistem pemantauan dan pencatatan seismik ke depan. Hasil perhitungan periode ulang untuk setiap wilayah dan kategori magnitudo selanjutnya disajikan pada tabel-tabel berikut untuk memperlihatkan perbedaan interval kejadian gempa antarwilayah.

**Tabel 3. Periode Ulang Gempa Magnitudo 5 SR Masing-masing Provinsi.**

No.	Provinsi	N (Kejadian/Tahun)	Periode Ulang (Tahun)
1	Aceh	0.97	1.02
2	Sumatera Utara	0.77	1.28
3	Sumatera Barat	0.60	1.64
4	Sumatera Selatan	0.18	5.49
5	Jambi	0.23	4.21
6	Bengkulu	0.96	1.03
7	Lampung	0.46	2.13
8	Riau	2.29	0.43
9	Kepulauan Riau	6.99	1.14



**Tabel 4. Periode Ulang Gempa Magnitudo 6 SR Masing-masing Provinsi.**

No.	Provinsi	N (Kejadian/Tahun)	Periode Ulang (Tahun)
1	Aceh	0.17	5.62
2	Sumatera Utara	0.12	7.87
3	Sumatera Barat	0.14	6.88
4	Sumatera Selatan	0.02	35.19
5	Jambi	0.06	14.79
6	Bengkulu	0.20	4.76
7	Lampung	0.08	11.91
8	Riau	0.31	3.22
9	Kepulauan Riau	0.98	1.01

**Tabel 5. Periode Ulang Gempa Magnitudo 7 SR Masing-masing Provinsi.**

No	Provinsi	N (Kejadian/Tahun)	Periode Ulang (Tahun)
1	Aceh	0.03	30.90
2	Sumatera Utara	0.02	48.03
3	Sumatera Barat	0.03	28.90
4	Sumatera Selatan	0.004	212.8
5	Jambi	0.01	51.88
6	Bengkulu	0.04	21.92
7	Lampung	0.01	66.37
8	Riau	0.04	23.76
9	Kepulauan Riau	0.13	7.19

Periode ulang gempa di setiap provinsi menunjukkan variasi yang dipengaruhi oleh tingkat seismisitas masing-masing wilayah (Simanjuntak *et al.*, 2022). Indeks seismisitas yang dihitung dari parameter tertentu memberikan gambaran probabilistik mengenai kemungkinan terjadinya gempa dengan magnitudo tertentu dalam kurun waktu tertentu. Berdasarkan hasil analisis pada Tabel sebelumnya, periode ulang gempa di Provinsi Sumatera Utara menunjukkan bahwa gempa dengan magnitudo  $\geq 5$  SR terjadi rata-rata setiap  $\pm 1,28$  tahun (tergolong sering), gempa  $\geq 6$  SR setiap  $\pm 7,87$  tahun (relatif jarang), dan gempa  $\geq 7$  SR setiap  $\pm 48,03$  tahun (sangat jarang).

Hasil ini mengindikasikan bahwa aktivitas seismik di Sumatera Utara didominasi oleh gempa-gempa berkekuatan menengah yang terjadi dengan frekuensi tinggi, sementara gempa besar memiliki frekuensi kejadian yang jauh lebih rendah. Pola ini sejalan dengan karakteristik hubungan *Gutenberg-Richter*, dimana peningkatan magnitudo berbanding terbalik dengan frekuensi kejadian gempa. Meskipun gempa  $\geq 7$  SR memiliki periode ulang yang panjang, potensi dampak yang ditimbulkan tetap signifikan, karena energi yang dilepaskan jauh lebih besar, sehingga risiko kerusakan tidak dapat diabaikan.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, hasil ini konsisten dengan temuan Liu *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa wilayah dengan tingkat seismisitas aktif cenderung memiliki periode ulang yang lebih pendek untuk gempa kecil hingga menengah, namun tetap menunjukkan interval yang panjang untuk gempa besar. Selain itu, kondisi tektonik Sumatera Utara yang dipengaruhi oleh interaksi zona subduksi dan Sesar Sumatera turut berkontribusi terhadap tingginya frekuensi gempa kecil-menengah, sebagaimana juga dilaporkan dalam berbagai studi seismotektonik regional. Dengan demikian, meskipun gempa besar tergolong



jarang, tingginya frekuensi gempa menengah menunjukkan bahwa wilayah ini tetap berada dalam kondisi aktif secara seismik. Hal ini menegaskan pentingnya upaya mitigasi yang tidak hanya berfokus pada kejadian gempa besar, tetapi juga mempertimbangkan akumulasi dampak dari gempa-gempa yang lebih sering terjadi, terutama dalam konteks ketahanan infrastruktur dan kesiapsiagaan masyarakat.

## SIMPULAN

Berdasarkan analisis *a-value*, *b-value*, dan periode ulang, Provinsi Sumatera Utara memiliki nilai  $a = 3,82$  dan  $b = 0,786$  dengan jumlah data gempa yang memadai dan representatif. Walaupun ada provinsi lain seperti Kepulauan Riau dan Riau yang memiliki nilai lebih tinggi secara angka, keterbatasan data di wilayah tersebut membuat hasil estimasinya kurang dapat dipercaya. Hasil periode ulang menunjukkan bahwa gempa bermagnitudo  $\geq 6$  terjadi rata-rata setiap  $\pm 7,87$  tahun, sedangkan magnitudo  $\geq 7$  setiap  $\pm 48,03$  tahun. Artinya, meskipun frekuensi gempa cukup sering, kejadian gempa besar jarang terjadi, namun berpotensi menimbulkan kerusakan signifikan. Kondisi ini sejalan dengan karakter geologi Sumatera Utara yang aktif dan kompleks, sehingga wilayah ini menjadi representatif untuk kajian hubungan frekuensi–magnitudo gempa bumi.

## SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan data gempa dengan rentang waktu yang lebih panjang dan cakupan wilayah yang lebih luas agar hasil estimasi nilai *a-value*, *b-value*, dan periode ulang menjadi lebih akurat dan representatif. Selain itu, penelitian dapat dikembangkan dengan mengkaji pengaruh kondisi geologi dan aktivitas sesar aktif terhadap pola frekuensi–magnitudo gempa bumi di Sumatera Utara.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini.

## DAFTAR RUJUKAN

- Alif, S. M., Cahyani, P. F., Anggara, O., & Rizqiansyah, A. (2022). Slip Rate of Kumering Fault in Lampung Province Calculated from GPS Data from 2007 to 2021. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 5(2), 83–90. <https://doi.org/10.14710/jgt.5.2.2022.83-90>
- Chang, Y., Wang, R., Han, P., Wang, J., Miao, M., Zeng, Z., Wu, W., Jiang, C., Meng, L., Shi, H., & Hattori, K. (2025). b-Value Evaluation and Applications to Seismic Hazard Assessment. *Entropy*, 27(9), 1-19. <https://doi.org/10.3390/e27090958>
- Dewi, E. A., & Prastowo, T. (2021). Studi Seismisitas melalui Penentuan Parameter *a-Value* dan *b-Value* di Wilayah Sumatera Barat. *Inovasi Fisika Indonesia*, 10(2), 48–58. <https://doi.org/10.26740/ifi.v10n2.p48-58>
- Liu, X., Han, M., He, W., Li, X., & Chen, D. (2020). A New B Value Estimation Method in Rock Acoustic Emission Testing. *Journal of Geophysical*



- Research : Solid Earth*, 125(12), 1-14.  
<https://doi.org/10.1029/2020JB019658>
- Madlazim, & Lestari, N. I. D. (2022). Analisis Seismisitas dan Potensi Bahaya Bencana Seismik Pulau Sumatera Berdasarkan Data Gempa 1970–2020. *Inovasi Fisika Indonesia*, 11(2), 1–11.  
<https://doi.org/10.26740/ifi.v11n02.p1-11>
- Pardo-Igúzquiza, E., & Dowd, P. A. (2024). Inference of the Gutenberg-Richter b-Value: New Insights and Results. *Tectonophysics*, 890(1), 1-18.  
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2024.230486>
- Rasimeng, S., Helmi, M., Tugiyono, T., & Suharno, S. (2022). Fractal Dimension Analysis and Earthquake Repeated Period Estimation in the Southern Part of Sumatra Subduction Zone (Bengkulu-Lampung-Sunda Segment). *Indonesian Journal on Geoscience*, 9(3), 383–394.  
<https://doi.org/10.17014/ijog.9.3.383-394>
- Risanti, H., Realita, A., Fahmi, M. N., Prastowo, T., & Madlazim. (2022). Seismicity Declustering Methods and Completeness Magnitude in Eastern Sunda Arc. *Journal of Physics : Conference Series*, 2377(1), 1-6.  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2377/1/012033>
- Scordilis, E. M. (2006). Empirical Global Relations Converting  $M_S$  and  $M_b$  to Moment Magnitude. *Journal of seismology*, 10(1), 225-236.  
<https://doi.org/10.1007/s10950-006-9012-4>
- Shearer, P. M. (2019). *Introduction to Seismology* (3rd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Simanjuntak, V. C., Imran, I., Moestopo, M., & Setio, H. D. (2023). The Evolution of Seismic Design Provisions in Indonesia's National Bridge Code. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 54(6), 1285-1304.  
<https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2022.54.6.14>
- Traitangwong, P., Khamsiri, S., & Pailoplee, S. (2024). Precursory Seismic Quiescence of Major Earthquakes Along the Sagaing Fault Zone, Central Myanmar. *Geoscience Letters*, 11(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40562-024-00351-9>
- Woessner, J. (2005). Assessing Earthquake Catalogues and Magnitude of Completeness. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95(2), 684–698. <https://doi.org/10.1785/0120040007>