

Analisis Energi Potensial Gempa Bumi Di Zona Subduksi Provinsi Aceh

Ela Widiarty Kaban^{*1}, Ratni Sirait² dan Nazaruddin Nasution³

1-3 Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

Jl. Lapangan Golf, Kec. Pancur Batu, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara
elakaban61@gmail.com; sirait.ratni@uinsu.ac.id; nazaruddin_nst@uinsu.ac.id

Abstrak

Provinsi Aceh termasuk kawasan dengan tingkat aktivitas seismik tinggi karena terletak pada zona subduksi aktif antara Lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis parameter seismisitas meliputi nilai a-value, b-value, indeks seismisitas, periode ulang gempa, serta estimasi energi potensial menggunakan data katalog gempa dari United States Geological Survey (USGS) periode 1974–2024. Metode least square diterapkan untuk memperoleh tren energi dan memperkirakan energi yang masih tersimpan. Hasil penelitian menunjukkan a-value sebesar 4,12 dan b-value sebesar 0,91, yang mencerminkan intensitas aktivitas seismik yang tinggi sekaligus potensi terjadinya gempa besar. Indeks seismisitas yang dihitung bernilai 133 dengan periode ulang gempa bermagnitudo ≥ 5 sekitar 12 tahun. Sementara itu, energi potensial yang belum terlepas diperkirakan mencapai $6,31 \times 10^{13}$ Joule. Temuan ini menegaskan bahwa wilayah Aceh memiliki kerawanan tinggi terhadap gempa besar di masa mendatang, sehingga perlu adanya upaya mitigasi dan kewaspadaan secara berkelanjutan.

Kata Kunci energi potensial, a-value, b-value, indeks seismisitas, periode ulang

Digital Object Identifier 10.36802/jnalanloka.2025.v6-no2-79-86

1 Pendahuluan

Gempa bumi merupakan fenomena alam berupa getaran pada permukaan bumi akibat pelepasan energi secara tiba-tiba dari dalam bumi [1]. Wilayah Provinsi Aceh termasuk daerah dengan tingkat aktivitas seismik tinggi karena berada pada pertemuan Lempeng Indo-Australia dan Eurasia, sehingga rawan mengalami gempa besar. Salah satu peristiwa gempa signifikan adalah gempa pada 26 Desember 2004 dengan magnitudo 9 pada kedalaman 30 km, yang memicu tsunami berkecepatan awal ± 700 km/jam dan menewaskan lebih dari 250.000 orang. Sebelumnya, gempa serupa juga terjadi pada tahun 1861 di segmen sumber yang sama (M 8,5), sehingga menunjukkan bahwa zona subduksi Aceh berulang kali mengalami akumulasi dan pelepasan energi tektonik [2].

Kondisi geologi Aceh yang terletak di ujung barat Pulau Sumatera menempatkannya pada zona subduksi aktif. Zona ini berfungsi sebagai tempat akumulasi energi potensial yang sewaktu-waktu dapat dilepaskan menjadi gempa dengan magnitudo signifikan [3] [4]. Energi yang terkumpul dipengaruhi oleh tegangan tektonik lokal, sifat batuan, dan aktivitas seismik [5]. Semakin besar energi yang tersimpan, semakin tinggi pula potensi terjadinya gempa besar pada periode berulang tertentu [6].

Sejumlah penelitian sebelumnya telah menganalisis energi potensial gempa di berbagai segmen subduksi. Misalnya, Raeis & Syafriani (2020) meneliti segmen Sianok dan memperoleh nilai energi potensial sebesar $5,3763 \times 10^{20}$ erg menggunakan metode *least square* [7].

* Corresponding author.

Hasil serupa juga ditemukan pada studi Pangastuti dkk. (2021) di wilayah Bali, yang menunjukkan akumulasi energi signifikan [5]. Namun, perbandingan langsung dengan segmen Bali perlu ditinjau kembali, mengingat konfigurasi subduksinya berbeda dari Sumatera dalam arah gaya dan pola deformasi. Meski demikian, validasi metode yang digunakan tetap relevan untuk mengestimasi besarnya energi gempa bumi di zona subduksi [8].

Sampai saat ini, kajian energi potensial gempa di bagian utara Pulau Sumatera, khususnya Aceh, masih terbatas. Padahal wilayah ini memiliki sejarah gempa besar yang berulang dan letak tektonik yang sangat aktif. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis parameter seismisitas (nilai a, nilai b, indeks seismisitas, periode ulang) serta estimasi energi potensial gempa menggunakan katalog data USGS periode 1974–2024. Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi kebaruan dalam memperkuat pemahaman potensi energi seismik di zona subduksi Aceh sebagai dasar mitigasi bencana di masa mendatang.

2 Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis seismotektonik berbasis data sekunder dari katalog gempa bumi United States Geological Survey (USGS) periode 1974–2024. Data yang dikumpulkan meliputi waktu kejadian, magnitudo, kedalaman, lintang, dan bujur. Wilayah penelitian difokuskan pada Provinsi Aceh yang terletak di zona subduksi aktif pertemuan Lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Untuk memberikan gambaran spasial, peta lokasi penelitian disusun dengan perangkat lunak ArcGIS 10.8, yang menampilkan batas wilayah administratif Provinsi Aceh, sebaran episenter gempa, serta jalur subduksi sebagai dasar analisis seismisitas.

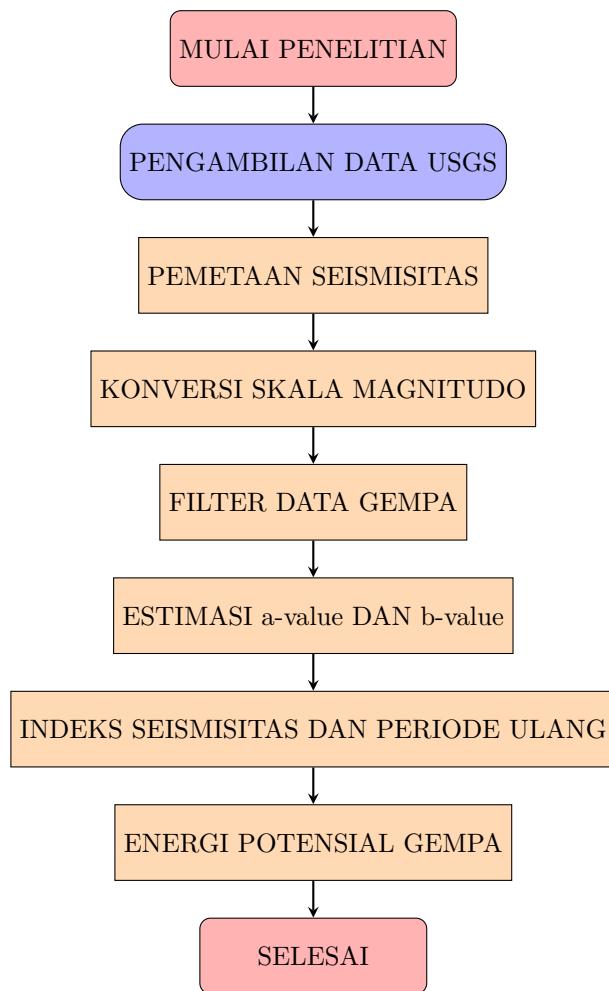
2.1 Cara Pengambilan Data USGS

Pengambilan data sekunder ini dilakukan secara *online* dengan cara:

1. Langkah pertama yang dilakukan dalam pengumpulan data adalah membuka laman resmi katalog gempa bumi milik *United States Geological Survey* (USGS) yang diakses pada tanggal 16 Januari 2025 dengan melalui alamat <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> untuk memperoleh data gempa bumi sesuai dengan wilayah dan rentang waktu penelitian.
2. Kemudian di atur *Date And Time, magnitude, latitude, longitude, depth, Geographic Region* yang ada di Provinsi Aceh sesuai dengan batas penelitian.
3. Selanjutnya, tahap berikutnya adalah mengatur batas wilayah penelitian dengan cara memilih area yang menjadi fokus penelitian, yaitu Provinsi Aceh.
4. Tahap selanjutnya adalah mengatur jenis kejadian (Event Type) dengan memberikan tanda centang checklist pada opsi *earthquake*. Pemilihan ini bertujuan agar data yang diperoleh hanya mencakup kejadian gempa bumi, tanpa disertai data lain yang tidak relevan dengan penelitian.
5. Selanjutnya, setelah semua parameter pencarian diatur sesuai dengan batas wilayah dan kriteria penelitian, langkah berikutnya adalah mengunduh data gempa bumi dari katalog USGS.

2.2 Pemetaan Seismisitas Provinsi Aceh

Peta seismisitas dibuat untuk mengetahui tingkat seismisitas pada daerah Provinsi Aceh. Pembuatan peta seismisitas digunakan *software* ArcGIS 10.8 dengan cara:



■ **Gambar 1** Diagram Alir Penelitian Analisa Energi Potensial Gempa

1. Langkah pertama yang dilakukan dalam membuat peta seismisitas adalah dengan membuka software ArcGIS 10.8.
2. Selanjutnya, tahap kedua adalah menambahkan shapefile (shp) Provinsi Aceh ke dalam workspace dengan memilih menu Add Data, kemudian mencari berkas shp Provinsi Aceh yang telah disiapkan.
3. Kemudian, langkah berikutnya adalah memilih menu Add XY Data untuk menampilkan sebaran titik-titik gempa bumi berdasarkan koordinat geografisnya.
4. Selanjutnya pilih data yang akan digunakan, lalu pilih Add dan atur parameter X sebagai bujur (longitude), Y sebagai lintang (latitude), dan Z sebagai magnitudo. Setelah semua parameter diatur dengan benar, peneliti memilih klik Ok, sehingga titik-titik gempa bumi dapat ditampilkan secara akurat pada peta wilayah penelitian.
5. Selanjutnya buat judul peta dengan menambahkan judul pada menu insert kemudian pilih opsi Title lalu diatur ukuran huruf, gaya tulisan, serta posisi judul sesuai kebutuhan.
6. Selanjutnya tambahkan simbol arah mata angin pada menu Insert memilih opsi North Arrow.
7. Kemudian tambahkan skala peta pada tampilan Insert dan pilih Scale Bar lalu atur skala yang akan digunakan.

8. Selanjutnya pilih legenda yang akan digunakan pada tampilan menu Insert Legend lalu pilih opsi Legend untuk menentukan tampilan apa saja yang akan dimasukkan pada legenda, seperti simbol titik gempa, batas administratif provinsi, serta elemen-elemen lainnya yang relevan.
9. Lalu tambahkan logo UINSU pada tampilan insert picture.
10. Selanjutnya tambahkan Data Frame pada Insert untuk menambahkan peta insert.
11. Kemudian tambahkan data shp Provinsi yang diteliti pada peta insert pilih Add Data dan berikan tanda wilayah yang diteliti.
12. Selanjutnya tambahkan grid pada peta dengan klik kanan dan pilih properties lalu pilih grid dan atur grid yang diinginkan.
13. Selanjutnya hasil peta seismisitas disimpan dalam bentuk gambar peta dengan format jpeg pada menu Export Map.

2.3 Konversi Skala Magnitudo Gempa

Data gempa bumi yang terdapat dalam katalog memiliki variasi skala magnitudo. Untuk keperluan analisis *b-value*, skala magnitudo M_b dikonversi ke M_w untuk menyelaraskan data [9]. Konversi ini dilakukan dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 di mana skala yang digunakan dalam penelitian ini adalah *moment magnitude* (M_w) dengan menggunakan *Microsoft Excel*.

$$M_w = 1,0107M_b + 0,0801 \quad (1)$$

$$M_w = 0,6016M_s + 2,476 \quad (2)$$

2.4 Estimasi *a-value* dan *b-value*

Estimasi a-value dan b-value dilakukan berdasarkan persamaan Gutenberg-Richter, yang diterapkan menggunakan software ZMAP v6. Sebelumnya data gempa bumi yang telah diunduh kemudian disaring untuk mengeliminasi pengaruh gempa awal (foreshock) dan gempa susulan (aftershock) sehingga hanya gempa utama yang terjadi di zona subduksi Provinsi Aceh yang dipertahankan untuk dianalisis lebih lanjut [10]. Hasil estimasi ini menghasilkan peta yang menunjukkan tingkat kerapuhan batuan di Provinsi Aceh. Selain itu, nilai a-value dan b-value juga dapat dihitung secara matematis dengan menggunakan persamaan 3 dan 4.

$$a = \bar{y} + b\bar{x} \quad (3)$$

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (4)$$

2.5 Menghitung Indeks Seismisitas dan Periode Ulang

Perhitungan indeks seismisitas ini dilakukan berdasarkan persamaan 5. Selanjutnya, periode ulang gempa bumi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 6 [11].

$$N_1(M \geq M_0) = 10^{(a'_1 - bM_0)} \quad (5)$$

$$a'_1 = a' - \log T \quad (6)$$

2.6 Menghitung Energi Potensial Gempa Bumi

Untuk menghitung energi gempa bumi yang seharusnya dilepaskan (E_a) digunakan persamaan 7, energi total digunakan persamaan 8 serta energi potensial gempa bumi diperoleh melalui persamaan 9 [12].

$$E_a = t \times E_{tot} \quad (7)$$

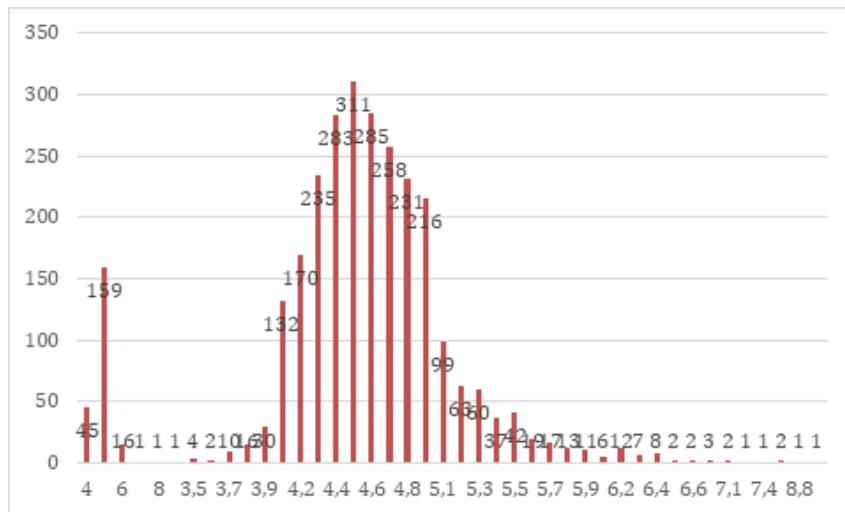
$$E_{tot} = E_1 + E_2 \quad (8)$$

$$E_{pg} = E_a - E_b \quad (9)$$

3 Hasil dan pembahasan

3.1 Peta Seismisitas Wilayah Provinsi Aceh

Berdasarkan katalog gempa USGS periode 1974–2024, tercatat sebanyak 2.816 kejadian gempa bumi di wilayah Provinsi Aceh dengan kedalaman 0–300 km. Setelah penyaringan menggunakan perangkat lunak ZMAP untuk menghilangkan *foreshock* dan *aftershock*, diperoleh 311 kejadian *mainshock* yang dianalisis lebih lanjut. Sebaran episenter menunjukkan dominasi gempa bermagnitudo 4,5–6,0 Mw, dengan beberapa kejadian di atas magnitudo 6.



Gambar 2 Jumlah Kejadian Gempa Bumi Tahun 1974-2024

Terdapat sebanyak 311 kejadian gempa bumi pada zona subduksi Provinsi Aceh setelah dilakukan filter data gempa bumi dengan *software* ZMAP untuk menghilangkan pengaruh *foreshock* dan *aftershock* atau gempa susulan setelah gempa bumi utama sehingga diperoleh

data gempa bumi utama atau *mainshock*. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 data peroleh tersebut dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan magnitudo. Adapun kategori gempa kecil ditandai dengan menggunakan warna kuning, gempa menengah ditandai dengan warna ungu, dan gempa besar ditandai dengan warna merah.

3.2 A-Value dan B-Value

Nilai a-value adalah parameter seismik yang menunjukkan frekuensi kejadian gempa bumi dalam suatu wilayah dan mencerminkan tingkat aktivitas seismiknya. Nilai ini berkisar antara 0,1 hingga 10, di mana semakin tinggi nilai a-value, semakin tinggi pula aktivitas seismik di wilayah tersebut. Wilayah dengan a-value besar mengalami gempa lebih sering, sedangkan wilayah dengan a-value rendah menandakan adanya akumulasi energi yang berpotensi memicu gempa besar di masa mendatang [13]. Sementara itu, b-value adalah parameter seismik yang terkait dengan karakteristik batuan dan tingkat kerapuhannya. Nilai b-value tinggi menunjukkan batuan yang lemah dan mudah pecah, sehingga cenderung menghasilkan gempa kecil secara berulang. Sebaliknya, b-value rendah menunjukkan batuan yang lebih keras dan rapuh; batuan ini mampu menahan tegangan lebih lama, tetapi ketika patah energi yang dilepaskan cukup besar sehingga gempa besar lebih mungkin terjadi [14].

Berdasarkan analisis statistik menggunakan metode *least square* terhadap katalog gempa bumi di Provinsi Aceh periode 1974–2024, diperoleh b-value sebesar 0,91 yang mencerminkan kemiringan garis pada persamaan linier hubungan frekuensi dan magnitudo gempa. Sedangkan a-value yang dihitung dari distribusi kumulatif magnitudo gempa sebesar 4,12, menunjukkan bahwa wilayah Aceh memiliki dominasi gempa dengan magnitudo kecil hingga menengah, konsisten dengan kondisi tektonik zona subduksi aktif. Nilai b yang mendekati satu namun sedikit lebih rendah menandakan wilayah ini cenderung menghasilkan lebih banyak gempa besar dibanding gempa kecil, sementara nilai a yang tinggi mengindikasikan aktivitas seismik yang sering terjadi. Kondisi ini sesuai dengan karakter tektonik aktif di zona subduksi Sumatera, tempat bertemunya Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia.

Tingkat seismisitas di suatu wilayah juga dipengaruhi oleh usia batuan. Semakin tua batuan, semakin tinggi aktivitas seismiknya. Analisis menunjukkan bahwa data gempa 1974–2024 mencerminkan kondisi sedang; batuan tidak terlalu rapuh (b tinggi) namun juga tidak terlalu kuat (b rendah). Dominasi batuan sedimen memungkinkan munculnya banyak gempa kecil, namun keberadaan Sesar Sumatera yang melintasi Aceh memungkinkan akumulasi energi untuk menghasilkan gempa menengah hingga besar.

3.3 Indeks Seismisitas dan Periode Ulang

Berdasarkan nilai *a-value* dan *b-value*, dihitung indeks seismisitas yang digunakan untuk mengukur tingkat aktivitas gempa relatif suatu wilayah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai indeks seismisitas sebesar 0,75, angka ini mengindikasikan bahwa Aceh termasuk wilayah dengan aktivitas seismik tinggi. Selanjutnya, periode ulang gempa merusak ber-magnitudo $M \geq 6$ sekitar 12 tahun. Artinya, gempa dengan kekuatan $M > 6$ diperkirakan akan kembali terjadi dalam rentang waktu 12 tahun sejak kejadian sebelumnya. Hal ini menandakan bahwa Provinsi Aceh memiliki tingkat aktivitas seismik yang tinggi.

3.4 Energi Potensial Gempa Bumi

Energi potensial merupakan energi yang tersimpan di bawah kerak bumi dan dapat dilepaskan sewaktu-waktu dalam bentuk gempa bumi. Besarnya energi gempa yang muncul bergantung

tung pada tingkat tegangan tektonik lokal serta aktivitas seismik wilayah tersebut. Semakin cepat pergerakan lempeng, semakin besar energi yang terakumulasi setiap tahunnya [15]. Apabila suatu daerah tidak mengalami gempa besar selama puluhan hingga ratusan tahun, padahal tektoniknya aktif, maka energi ini akan terus menumpuk. Untuk memperkirakan energi potensial gempa dilakukan perhitungan terhadap energi lepas, energi ekspektasi, dan total energi tahunan.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa energi lepas per gempa berkisar antara $3,55 \times 10^{11}$ J untuk gempa kecil ($M > 4,5$) hingga $6,31 \times 10^{13}$ J untuk gempa besar dengan $M > 6,0$. Energi lepas ini mencerminkan jumlah energi yang dilepaskan setiap gempa terjadi di wilayah Aceh. Energi ekspektasi diperoleh dengan mengalikan energi lepas per gempa dengan jumlah kejadian gempa. Hasil perhitungan energi ekspektasi menunjukkan akumulasi energi signifikan di Aceh dengan total energi selama 50 tahun sekitar $3,62 \times 10^{14}$ J. Jumlah energi ekspektasi menghasilkan energi ekspektasi total yaitu $7,24 \times 10^{12}$ J/tahun. Energi tahunan ini memberikan gambaran seberapa besar energi seismik yang dilepaskan rata-rata setiap tahunnya di provinsi Aceh. Energi potensial gempa dihitung dari gempa terbesar yang tercatat selama periode penelitian, yaitu pada 15 Desember 1979 dengan magnitudo $M=6,0$. Hasil perhitungan energi potensial adalah $6,31 \times 10^{13}$ J. Proporsi energi yang belum dilepaskan yang tinggi menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki energi seismik yang signifikan, sehingga berpotensi memicu gempa besar di masa depan, terutama pada segmen patahan yang sudah lama tidak aktif. Kondisi ini diperkuat oleh posisi geografis Provinsi Aceh yang berada di zona subduksi aktif antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia, serta adanya beberapa seismic gap, yang menunjukkan wilayah ini relatif tenang dalam jangka waktu lama, tetapi tetap menyimpan tegangan tektonik di sepanjang segmen Megathrust Sumatera. Gempa terjadi ketika tegangan batuan melebihi kekuatannya, dan pelepasan energi ini biasanya berlangsung secara mendadak, bukan bertahap. Oleh karena itu, wilayah dengan energi potensial tinggi sangat berisiko, karena gempa besar bisa terjadi kapan saja tanpa peringatan dini yang tepat. Hasil perhitungan energi potensial ini sangat penting untuk memperkuat evaluasi terhadap bahaya seismik dan mendukung perencanaan mitigasi bencana yang lebih ilmiah serta menyeluruh di kawasan tersebut.

4 Kesimpulan dan saran

Penelitian ini berhasil menganalisis parameter seismisitas dan energi potensial gempa bumi di zona subduksi Provinsi Aceh berdasarkan data katalog USGS periode 1974–2024. Hasil perhitungan menunjukkan nilai a sebesar 4,12 dan b sebesar 0,91, dengan indeks seismisitas 0,75. Periode ulang gempa bermagnitudo $\geq 6,0$ diperkirakan sekitar 12 tahun. Energi ekspektasi total selama 50 tahun mencapai $3,62 \times 10^{14}$ J dengan energi potensial gempa terbesar sebesar $6,31 \times 10^{13}$ J. Temuan ini menegaskan bahwa wilayah Aceh memiliki akumulasi energi seismik yang signifikan serta potensi tinggi terjadinya gempa besar di masa mendatang. Kondisi ini sejalan dengan karakter tektonik Aceh yang berada pada zona subduksi aktif pertemuan Lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Dengan demikian, hasil penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam memperkuat pemahaman mengenai bahaya seismik di Aceh sekaligus mendukung upaya mitigasi bencana berbasis ilmiah.

Diperlukan pemantauan seismik secara berkelanjutan di Provinsi Aceh, serta integrasi hasil penelitian ini ke dalam kebijakan mitigasi bencana, seperti pembangunan infrastruktur tahan gempa dan penyusunan jalur evakuasi. Selain itu, edukasi dan simulasi kesiapsiagaan bagi masyarakat perlu dilakukan secara rutin untuk mengurangi risiko korban apabila terjadi gempa besar.

Pustaka

- 1 A. S. Siswanto dan A. B. Siswanto, *Rekayasa Gempa*. Yogyakarta: K-Media, 2018.
- 2 PUSGEN, *Buku Peta Gempa Indonesia Tahun 2017*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017.
- 3 Sunarjo, M. T. Gunawan, dan S. Pribadi, *Gempa Bumi Indonesia*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2010.
- 4 N. B. Wibowo dan J. N. Sembri, “Analisis seismisitas dan energi gempabumi di kawasan jalur sesar opak-oyo yogyakarta,” *Indonesian Journal of Applied Physics*, vol. 7, no. 2, pp. 2089–0133, 2017.
- 5 N. P. J. A. R. Pangastuti, K. N. Suarbawa, I. K. Putra, dan N. L. D. Purnami, “Analisis energi potensial gempabumi pada zona subduksi wilayah bali,” *Bulletin Fisika*, vol. 23, no. 2, p. 137, 2021.
- 6 L. Linda, N. Ihsan, dan P. Palloan, “Analisis distribusi spasial dan temporal seismotektonik berdasarkan nilai b-value dengan menggunakan metode likelihood di pulau jawa,” *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, vol. 15, no. 1, pp. 16–31, 2019.
- 7 M. Raeis dan S. Syafriani, “Analysis of potential earthquake energy in the sianok segment,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1481, no. 1, 2020.
- 8 A. N. F. Akbar dan P. A. Rakhma Devi, “Prediksi penghasilan perusahaan bus transwisata menggunakan metode least square,” *Antivirus : Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, vol. 16, no. 2, pp. 122–132, 2022.
- 9 R. M. Taruna dan A. Pratiwi, “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 Lingkungan*, vol. 7, no. 1, pp. 1–12, 2021.
- 10 U. Chasanah, Madlazim, dan P. Tjipto, “Analisis tingkat seismisitas dan periode ulang gempa bumi di wilayah sumatera barat pada periode 1961-2010,” *Fisika*, vol. 02, pp. 1–5, 2013.
- 11 E. Lusiani, S. Anwar, dan M. F. Nugraha, “Penentuan tingkat seismisitas wilayah provinsi aceh dengan metode gutenberg richter (nilai a dan nilai b),” *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, vol. 19, no. 2, p. 71, 2019.
- 12 S. Ardiansyah, “Di wilayah bengkulu,” *Megasains*, vol. 10, 2013.
- 13 A. V. H. Simanjuntak dan Olymphia, “Perbandingan energi gempa bumi utama dan susulan (studi kasus: Gempa subduksi pulau sumatera dan jawa),” *Jurnal Fisika FLUX*, vol. 14, pp. 73–80, 2017.
- 14 R. Risnawati, I. Ihsan, A. Wahyuni, dan M. S. L., “Pola sesar saddang berdasarkan tingkat seismisitas dan fokal mekanisme (studi kasus januari 2010 - juli 2020),” *JFT Jurnal Fisika dan Terapan*, vol. 8, no. 1, p. 57, 2021.
- 15 D. H. Natawidjaja dan W. Triyoso, “The sumatran fault zone — from source to hazard,” *Journal of Earthquake and Tsunami*, vol. 01, no. 01, pp. 21–47, 2007.