

Analisis Spasial Pola Seismisitas dan Implikasinya Terhadap Kerentanan Lingkungan di Pulau Jawa dan Sekitarnya

Spatial Analysis of Seismicity Patterns and Their Implications for Environmental Vulnerability in Java and Surrounding Areas

Primanda Kiky Widyaputra^{1*}, Dimas Taufiq Ridlo²

¹Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Lingkungan dan Sumber Daya Alam, Institut Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

²Program Studi Teknik Sistem Energi, Fakultas Teknologi Industri dan Energi, Institut Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

*)Corresponding author: primanda.kiky@ity.ac.id

ABSTRAK

Article history:

Received: 26 January 2026

Revised: 29 January 2026

Accepted: 29 January 2026

Available online: 29 January 2026

Kata kunci:

Gempa bumi seismisitas

Kerentanan lingkungan

Pulau Jawa

Analisis spasial

Pulau Jawa merupakan wilayah dengan tingkat aktivitas seismik yang tinggi akibat posisinya yang berdekatan dengan zona subduksi Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia. Aktivitas seismik tersebut tidak hanya berdampak pada aspek kebencanaan dan infrastruktur, tetapi juga memiliki implikasi signifikan terhadap kerentanan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik dan pola spasial seismisitas di Pulau Jawa dan sekitarnya serta mengkaji implikasinya terhadap kerentanan lingkungan sebagai dasar perencanaan wilayah berbasis risiko. Data gempa bumi diperoleh dari United States Geological Survey (USGS) Earthquake Catalog dengan periode waktu 18 Januari 2021 hingga 25 Januari 2026 dan magnitudo minimum $\geq 2,5$. Metode penelitian meliputi pengolahan data seismik, klasifikasi magnitudo dan kedalaman gempa, serta analisis spasial. Analisis spasial dilakukan menggunakan pendekatan Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan memanfaatkan data episentrum gempa bumi yang diekstraksi dari USGS dalam format KML dan divisualisasikan pada platform Google Earth. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas gempa bumi di wilayah studi didominasi oleh gempa bermagnitudo menengah (M 4,0–5,9) dan berkedalaman dangkal hingga menengah, dengan konsentrasi episentrum yang tinggi di sepanjang pesisir selatan Pulau Jawa. Pola sebaran tersebut berkaitan dengan zona subduksi aktif dan beberapa struktur sesar regional. Implikasi lingkungan dari kondisi ini meliputi peningkatan risiko longsor di

daerah berlereng, gangguan stabilitas lahan pesisir, serta tekanan terhadap ekosistem dan kawasan lindung.

ABSTRACT

Keywords:

Earthquake seismicity

Environmental vulnerability

Java Island

Spatial analysis

Java Island is a region with high seismic activity due to its proximity to the subduction zone between the Indo-Australian Plate and the Eurasian Plate. Seismic activity in this region not only poses risks to infrastructure and society but also has significant implications for environmental vulnerability. This study aims to analyze the characteristics and spatial patterns of seismicity in Java Island and its surrounding areas and to assess their implications for environmental vulnerability as a basis for risk-based regional planning. Earthquake data were obtained from the United States Geological Survey (USGS) Earthquake Catalog for the period from January 18, 2021, to January 25, 2026, with a minimum magnitude of ≥ 2.5 . The research methodology involved seismic data processing, classification of earthquake magnitude and depth, and spatial analysis. Spatial analysis was carried out using the Geographic Information System (GIS) approach by utilizing earthquake epicentre data extracted from the USGS in KML format and visualized on the Google Earth platform. The results indicate that seismic activity in the study area is dominated by moderate-magnitude earthquakes (M 4.0–5.9) with shallow to intermediate depths, concentrated mainly along the southern coast of Java Island. This spatial pattern strongly correlates with the active subduction zone and several regional fault structures. The environmental implications include increased landslide susceptibility in mountainous areas, land stability disturbances in coastal zones, and additional pressure on ecosystems and protected areas.

PENDAHULUAN

Pulau Jawa merupakan pusat kegiatan ekonomi, permukiman, dan infrastruktur nasional Indonesia, dengan tingkat kepadatan penduduk tertinggi dibandingkan wilayah lain di Indonesia. Intensitas pembangunan yang tinggi menjadikan Pulau Jawa sebagai wilayah dengan tekanan lingkungan yang signifikan, terutama di kawasan perkotaan, pesisir, dan daerah berlereng (Rudiarto et al., 2018). Secara fisiografis dan geotektonik, Pulau Jawa terletak pada zona tektonik aktif yang dipengaruhi oleh interaksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Proses subduksi yang berlangsung di sepanjang bagian selatan Pulau Jawa menjadikan wilayah ini memiliki tingkat aktivitas seismik yang relatif tinggi dan dinamis (Alfaris et al., 2025; Putri et al., 2025).

Aktivitas tektonik tersebut memicu kejadian gempa bumi dengan variasi magnitudo dan kedalaman yang beragam, yang secara langsung maupun tidak

langsung berdampak terhadap kondisi lingkungan. Gempa bumi selain menimbulkan kerusakan fisik pada infrastruktur dan permukiman juga berpotensi memicu perubahan lingkungan, seperti ketidakstabilan lereng, degradasi lahan, kerusakan ekosistem pesisir, serta perubahan morfologi permukaan bumi. Dampak lingkungan ini sering kali bersifat jangka panjang dan dapat memperburuk kerentanan wilayah terhadap bencana ikutan, seperti longsor, tsunami, dan kerusakan kawasan lindung (Fan et al., 2019; Mavroulis et al., 2023; Tetteh et al., 2025).

Gempa bumi perlu dipahami tidak semata-mata sebagai peristiwa geologi, tetapi juga sebagai faktor tekanan lingkungan (environmental stressor) yang memengaruhi daya dukung dan daya tampung wilayah. Wilayah dengan tingkat seismisitas tinggi, terutama yang beririsan dengan kawasan padat penduduk dan aktivitas pembangunan intensif, memiliki tingkat kerentanan lingkungan yang lebih besar (Foulger et al., 2018; Grozdanić & Cvetković, 2024). Kejadian gempa bumi besar yang pernah melanda wilayah ini telah menimbulkan kerugian signifikan. Sebagai contoh gempa bumi berkekuatan magnitudo 5,6 yang mengguncang Cianjur, Jawa Barat pada akhir November 2022 menyebabkan korban tewas mencapai ratusan jiwa, termasuk sekitar seratus anak-anak di bawah usia 15 tahun, serta menyebabkan ribuan orang luka-luka dan puluhan ribu jiwa mengungsi sementara karena kerusakan bangunan dan fasilitas umum yang meluas. Kerusakan tersebut mencakup puluhan ribu rumah, fasilitas pendidikan, fasilitas kesehatan, dan tempat ibadah, yang secara langsung memperlihatkan keterkaitan antara aktivitas seismik dan degradasi lingkungan fisik serta tekanan sosial-ekonomi di kawasan padat penduduk seperti Pulau Jawa. Dengan merujuk pada contoh tersebut, menjadi jelas bahwa gempa bumi di Pulau Jawa tidak hanya merupakan fenomena geofisika semata, tetapi memiliki implikasi lingkungan dan sosial yang kompleks dan luas. Oleh karena itu, pemahaman mengenai pola spasial seismisitas menjadi penting sebagai dasar dalam pengelolaan lingkungan dan perencanaan tata ruang wilayah yang berorientasi pada pengurangan risiko bencana.

Perkembangan teknologi geospasial dan ketersediaan data terbuka memungkinkan dilakukannya analisis seismisitas secara lebih komprehensif dan sistematis. United States Geological Survey (USGS) menyediakan data gempa bumi global yang bersifat terbuka, terstandar, dan terverifikasi, sehingga banyak dimanfaatkan dalam kajian kebencanaan dan geosains (Sechi et al., 2022; Shafapourtehrany et al., 2023; Wilson et al., 2024). Pemanfaatan data seismik USGS dalam kajian lingkungan berbasis spasial di Pulau Jawa dapat dimanfaatkan khususnya dalam mengkaji pola seismisitas. Kajian yang menempatkan gempa bumi sebagai salah satu faktor penentu kerentanan lingkungan masih diperlukan. Pendekatan geografis yang mengintegrasikan analisis spasial seismisitas dengan konteks lingkungan wilayah sangat penting untuk menghasilkan informasi yang relevan bagi perencanaan dan pengambilan kebijakan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola spasial dan karakteristik gempa bumi di Pulau Jawa dan sekitarnya serta mengkaji implikasinya terhadap kerentanan lingkungan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan kajian lingkungan berbasis geospasial

serta menjadi dasar pertimbangan dalam perencanaan wilayah dan mitigasi bencana yang berkelanjutan.

BAHAN DAN METODE

Wilayah Studi

Wilayah studi dalam penelitian ini meliputi Pulau Jawa dan wilayah sekitarnya, yang ditetapkan berdasarkan batasan spasial pada custom rectangle di portal United States Geological Survey (USGS). Secara geografis, wilayah ini dibatasi oleh rentang koordinat lintang antara 13,112° Lintang Selatan hingga 1,274° Lintang Selatan, serta bujur antara 103,359° Bujur Timur hingga 124,453° Bujur Timur. Penetapan batasan tersebut dimaksudkan untuk mencakup secara menyeluruh wilayah daratan Pulau Jawa beserta perairan sekitarnya yang memiliki keterkaitan langsung dengan sistem tektonik aktif di kawasan tersebut.

Batasan wilayah ini mencakup zona subduksi di selatan Pulau Jawa, jalur sesar aktif di daratan, serta perairan sekitarnya yang merupakan bagian dari sistem tektonik regional. Dengan cakupan wilayah tersebut, analisis diharapkan mampu menggambarkan pola seismisitas secara komprehensif dan relevan terhadap kondisi lingkungan Pulau Jawa. Pemilihan Pulau Jawa sebagai wilayah studi didasarkan pada tingginya intensitas aktivitas manusia dan kepadatan penduduk, sehingga dampak aktivitas seismik terhadap lingkungan memiliki implikasi yang signifikan dalam konteks perencanaan wilayah dan pembangunan berkelanjutan.

Sumber dan Kriteria Data

Data gempa bumi yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari United States Geological Survey (USGS) melalui Earthquake Catalog yang bersifat terbuka dan terstandar secara internasional. USGS menyediakan data seismik global yang telah melalui proses verifikasi dan pengendalian kualitas, sehingga dapat dijadikan sumber data yang andal untuk analisis ilmiah. Data yang digunakan dalam penelitian ini dibatasi pada kejadian gempa bumi dengan magnitudo minimum sebesar 2,5 untuk memastikan bahwa kejadian yang dianalisis memiliki signifikansi seismik yang relevan terhadap kajian lingkungan.

Periode waktu pengambilan data ditetapkan dari 18 Januari 2021 hingga 25 Januari 2026, sehingga mencerminkan kondisi seismisitas terkini di Pulau Jawa dan sekitarnya dalam kurun waktu lima tahun terakhir. Parameter data yang digunakan meliputi waktu kejadian gempa, koordinat episentrum berupa lintang dan bujur, kedalaman hiposentrum, serta magnitudo gempa. Seluruh data yang dianalisis merupakan data yang telah berstatus reviewed oleh USGS, sehingga meminimalkan potensi kesalahan akibat data yang belum tervalidasi.

Pengolahan Data

Tahap pengolahan data diawali dengan proses seleksi dan pembersihan data untuk memastikan kelengkapan dan konsistensi atribut utama yang digunakan dalam analisis.

Data yang memiliki nilai atribut tidak lengkap atau tidak valid pada parameter kunci, seperti magnitudo atau kedalaman, dikeluarkan dari proses analisis. Tahap ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi hasil analisis spasial dan statistik yang dilakukan pada tahap selanjutnya.

Selanjutnya, data gempa bumi diklasifikasikan berdasarkan magnitudo menjadi tiga kelas, yaitu gempa kecil dengan magnitudo kurang dari 4,0, gempa menengah dengan magnitudo antara 4,0 hingga 5,9, serta gempa besar dengan magnitudo sama dengan atau lebih dari 6,0. Klasifikasi ini digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik intensitas seismik dan potensi dampaknya terhadap lingkungan. Selain itu, data juga diklasifikasikan berdasarkan kedalaman hiposentrum menjadi gempa dangkal dengan kedalaman kurang dari 70 km, gempa menengah dengan kedalaman antara 70 hingga 300 km, dan gempa dalam dengan kedalaman lebih dari 300 km. Klasifikasi kedalaman ini penting karena gempa dangkal umumnya memiliki potensi dampak lingkungan yang lebih besar dibandingkan gempa dengan kedalaman lebih dalam.

Analisis Spasial

Analisis spasial dalam penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan Sistem Informasi Geografis untuk mengkaji distribusi dan pola seismisitas di wilayah studi. Analisis spasial dilakukan dengan memanfaatkan data episentrum gempa bumi yang diekstraksi dari USGS dalam format KML dan divisualisasikan pada platform Google Earth. Platform ini digunakan sebagai media analisis dan interpretasi spasial untuk mengidentifikasi pola sebaran, konsentrasi, dan keterkaitan kejadian gempa dengan kondisi fisiografi serta struktur tektonik regional. Pendekatan ini memungkinkan eksplorasi spasial secara detail dan kontekstual terhadap karakteristik lingkungan Pulau Jawa dan sekitarnya. Data gempa bumi yang telah diolah kemudian dipetakan berdasarkan lokasi episentrum untuk menggambarkan sebaran spasial kejadian gempa bumi di Pulau Jawa dan sekitarnya. Pemetaan ini bertujuan untuk mengidentifikasi konsentrasi aktivitas seismik serta keterkaitannya dengan kondisi geotektonik wilayah. Analisis kepadatan kejadian gempa dilakukan untuk mengidentifikasi zona-zona dengan intensitas seismisitas tinggi. Hasil analisis kepadatan ini digunakan sebagai dasar interpretasi terhadap potensi tekanan lingkungan di wilayah studi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Seismisitas di Pulau Jawa

Karakteristik seismisitas di Pulau Jawa dan sekitarnya dianalisis berdasarkan data gempa bumi yang diperoleh dari United States Geological Survey (USGS) Earthquake Catalog pada periode 18 Januari 2021 hingga 25 Januari 2026. Data yang dianalisis mencakup 2.015 kejadian gempa bumi dengan magnitudo minimum 2,5, yang merepresentasikan aktivitas seismik terkini di wilayah studi. Cakupan spasial data meliputi wilayah daratan Pulau Jawa dan perairan sekitarnya yang berada dalam pengaruh sistem tektonik aktif, khususnya zona subduksi di selatan Pulau Jawa dan jalur sesar di daratan. Parameter query selengkapnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Query Data Gempa Bumi dari USGS

Parameter	Keterangan
Sumber data	United States Geological Survey (USGS) – Earthquake Catalog
Wilayah studi	Pulau Jawa dan sekitarnya
Batas lintang	13,112° LS – 1,274° LS
Batas bujur	103,359° BT – 124,453° BT
Periode waktu	18 Januari 2021 – 25 Januari 2026
Magnitudo minimum	≥ 2,5
Magnitudo maksimum	Tidak dibatasi
Jenis data	Gempa bumi terverifikasi (<i>reviewed events</i>)
Parameter utama	Waktu kejadian, lintang, bujur, kedalaman, magnitudo
Format data	CSV
Jumlah kejadian	± 2.000 kejadian gempa bumi

Sumber: Olah data dari USGS, 2026

Berdasarkan rekapitulasi data, aktivitas seismik di Pulau Jawa dan sekitarnya didominasi oleh gempa bumi bermagnitudo kecil hingga menengah (Tabel 2). Gempa bermagnitudo menengah (M 4,0–5,9) merupakan kejadian yang paling sering terjadi dengan jumlah 1.994 kejadian, jauh lebih besar dibandingkan gempa bermagnitudo kecil ($M < 4,0$) dan gempa bermagnitudo besar ($M \geq 6,0$). Dominasi gempa bermagnitudo menengah ini mencerminkan aktivitas seismik yang relatif intens namun bersifat berulang, yang secara kumulatif dapat memberikan tekanan terhadap kondisi lingkungan wilayah studi.

Tabel 2. Rekapitulasi Kejadian Gempa Bumi Berdasarkan Magnitudo di Pulau Jawa dan Sekitarnya (2021–2026)

Kelas Magnitudo	Jumlah Kejadian
Kecil ($M < 4,0$)	11
Menengah (M 4,0–5,9)	1.994
Besar ($M \geq 6,0$)	10
Total	2.015

Sumber: Olah data dari USGS, 2026

Gempa bermagnitudo besar relatif jarang terjadi selama periode pengamatan, dengan jumlah 10 kejadian. Meskipun frekuensinya rendah, gempa bermagnitudo besar memiliki potensi dampak lingkungan yang signifikan, terutama apabila terjadi pada kedalaman dangkal atau berdekatan dengan kawasan pesisir dan permukiman padat. Oleh karena itu, keberadaan gempa bermagnitudo besar tetap menjadi perhatian penting dalam kajian kerentanan lingkungan meskipun jumlah kejadiannya terbatas.

Ditinjau dari kedalaman hiposentrum (Tabel 3), gempa dangkal (< 70 km) mendominasi kejadian gempa bumi di Pulau Jawa dan sekitarnya dengan jumlah 1.299 kejadian. Dominasi gempa dangkal menunjukkan bahwa sebagian besar aktivitas seismik berpotensi memberikan dampak langsung terhadap permukaan bumi. Gempa dengan kedalaman dangkal umumnya memiliki efek getaran yang lebih kuat di permukaan, sehingga meningkatkan risiko terjadinya kerusakan lingkungan seperti

longsor, retakan tanah, dan gangguan stabilitas lereng, khususnya di wilayah pegunungan dan perbukitan di Pulau Jawa.

Tabel 3. Rekapitulasi Kejadian Gempa Bumi Berdasarkan Kedalaman Hiposentrum

Kelas Kedalaman	Jumlah Kejadian
Dangkal (< 70 km)	1.299
Menengah (70–300 km)	596
Dalam (> 300 km)	120
Total	2.015

Sumber: Olah data dari USGS, 2026

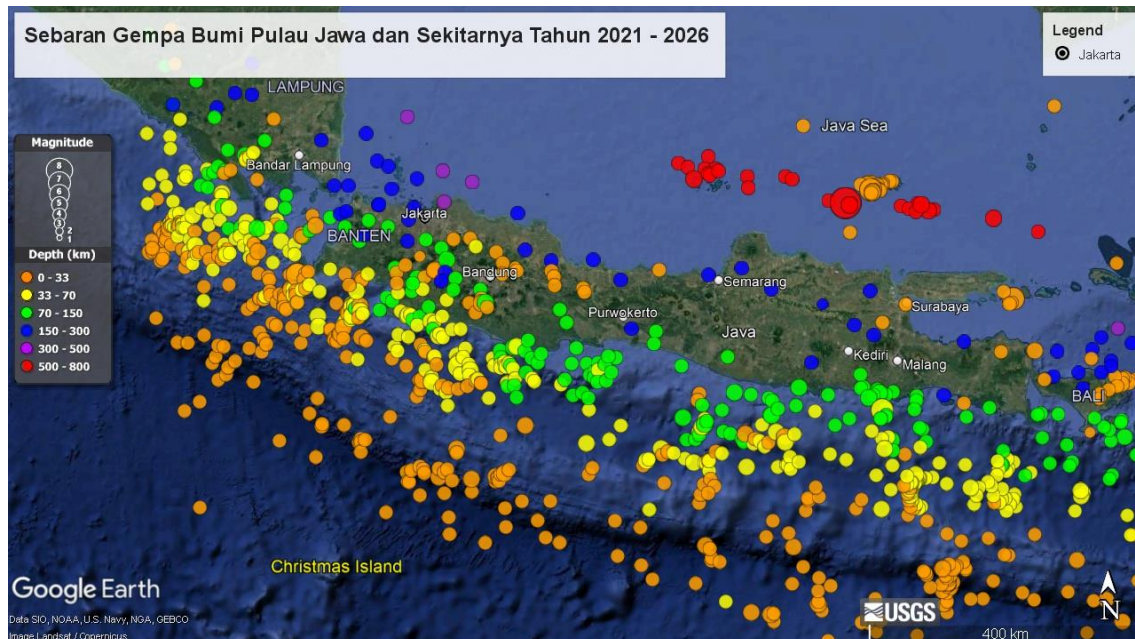
Selain gempa dangkal, gempa dengan kedalaman menengah (70–300 km) juga menunjukkan jumlah kejadian yang cukup signifikan, yaitu sebanyak 596 kejadian. Keberadaan gempa kedalaman menengah ini berkaitan erat dengan aktivitas subduksi Lempeng Indo-Australia di bawah Lempeng Eurasia. Meskipun dampaknya terhadap permukaan relatif lebih kecil dibandingkan gempa dangkal, gempa kedalaman menengah tetap berkontribusi terhadap dinamika seismik regional dan dapat memicu respons geodinamik yang memengaruhi kestabilan lingkungan dalam jangka panjang.

Gempa dengan kedalaman dalam (>300 km) tercatat sebanyak 120 kejadian dan merupakan jenis gempa dengan frekuensi paling rendah. Gempa dalam umumnya memiliki dampak lingkungan yang lebih terbatas di permukaan, namun keberadaannya menunjukkan kompleksitas proses tektonik di bawah Pulau Jawa dan sekitarnya. Secara keseluruhan, distribusi magnitudo dan kedalaman gempa bumi di wilayah studi mengindikasikan bahwa Pulau Jawa berada dalam kondisi seismik aktif dengan dominasi kejadian gempa dangkal hingga menengah.

Karakteristik seismisitas tersebut menunjukkan bahwa Pulau Jawa dan sekitarnya memiliki tingkat tekanan geodinamik yang relatif tinggi, yang berpotensi meningkatkan kerentanan lingkungan, terutama pada kawasan pesisir selatan, daerah berlereng curam, dan wilayah dengan aktivitas pembangunan intensif. Oleh karena itu, pemahaman terhadap karakteristik seismisitas menjadi dasar penting dalam analisis kerentanan lingkungan dan perencanaan wilayah yang berorientasi pada pengurangan risiko bencana.

Pola Spasial Sebaran Gempa Bumi

Pola spasial sebaran gempa bumi di Pulau Jawa dan sekitarnya menunjukkan konfigurasi yang sangat jelas dan konsisten dengan kerangka tektonik regional Indonesia bagian selatan. Berdasarkan peta sebaran episentrum gempa bumi periode 2021–2026 (Gambar 1), terlihat bahwa konsentrasi gempa paling dominan berada di sepanjang wilayah selatan Pulau Jawa, membentang dari Selat Sunda hingga perairan selatan Jawa Timur dan Bali. Pola ini mencerminkan keberadaan zona subduksi aktif antara Lempeng Indo-Australia yang menunjam ke bawah Lempeng Eurasia.



Gambar 1. peta Sebaran Episentrum Gempa Bumi di Pulau Jawa dan Sekitarnya Periode 2021–2026 (Sumber: Olah data dari USGS, 2026)

Sebaran episentrum di zona selatan Pulau Jawa membentuk jalur memanjang dengan orientasi barat–timur, sejajar dengan Palung Jawa (Java Trench). Kepadatan titik gempa di wilayah ini relatif tinggi, terutama di perairan lepas pantai Jawa Barat bagian selatan, Jawa Tengah bagian selatan, dan Jawa Timur bagian selatan. Kondisi ini menunjukkan bahwa aktivitas seismik di wilayah studi didominasi oleh mekanisme tektonik subduksi, yang secara kontinu melepaskan energi dalam bentuk gempa bumi dengan variasi magnitudo dan kedalaman.

Ditinjau dari variasi kedalaman hiposentrum yang ditampilkan dalam peta, gempa dangkal (0–33 km dan 33–70 km) tampak mendominasi wilayah dekat palung dan perairan selatan Pulau Jawa. Gempa dangkal ini memiliki implikasi signifikan terhadap tingkat bahaya seismik karena potensi guncangan permukaan yang relatif lebih kuat. Keberadaan gempa dangkal di zona ini juga mengindikasikan deformasi aktif pada antarmuka subduksi maupun pada kerak atas di sekitar zona akresi.

Selain gempa dangkal, peta sebaran juga memperlihatkan distribusi gempa dengan kedalaman menengah hingga dalam (70–300 km, 300–500 km, hingga >500 km) yang cenderung bergeser ke arah utara dari garis palung. Pola ini menunjukkan geometri slab subduksi yang miring ke bawah Pulau Jawa, di mana gempa berkedalaman menengah dan dalam terjadi akibat proses deformasi internal lempeng yang tersubduksi. Gradien kedalaman gempa dari selatan ke utara menjadi indikator penting dalam memahami dinamika tektonik regional dan struktur bawah permukaan Pulau Jawa.

Di luar zona subduksi, peta juga memperlihatkan sebaran gempa di wilayah daratan Pulau Jawa, meskipun dengan kepadatan yang lebih rendah dibandingkan wilayah selatan. Sebaran ini berkaitan dengan aktivitas sesar aktif darat, seperti sesar-

sesar regional di Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur. Kejadian gempa darat umumnya memiliki kedalaman dangkal hingga menengah dan meskipun magnitudonya relatif lebih kecil, gempa jenis ini berpotensi memberikan dampak langsung terhadap wilayah permukiman padat, infrastruktur, serta kawasan berlereng yang rentan terhadap longsor.

Wilayah Laut Jawa juga menunjukkan sejumlah kejadian gempa, meskipun dengan frekuensi yang lebih rendah dan magnitudo yang relatif kecil hingga menengah. Aktivitas seismik di wilayah ini mencerminkan kompleksitas tektonik mikro di bagian utara Pulau Jawa, yang dipengaruhi oleh interaksi sesar-sesar lokal dan sisa deformasi tektonik regional. Meskipun tingkat bahayanya lebih rendah dibandingkan zona subduksi selatan, keberadaan gempa di Laut Jawa tetap relevan dalam konteks perencanaan wilayah pesisir utara.

Secara keseluruhan, pola spasial sebaran gempa bumi yang ditunjukkan pada peta mengindikasikan bahwa Pulau Jawa berada dalam sistem tektonik yang sangat aktif dan kompleks. Dominasi sebaran gempa di zona selatan menegaskan peran utama subduksi sebagai pengendali utama seismisitas regional, sementara keberadaan gempa darat dan di Laut Jawa mencerminkan kontribusi struktur tektonik sekunder. Pola ini menjadi dasar penting dalam analisis kerentanan lingkungan, terutama dalam mengidentifikasi wilayah-wilayah yang memiliki potensi bahaya seismik tinggi dan implikasinya terhadap stabilitas lingkungan serta keselamatan manusia.

Implikasi terhadap Kerentanan Lingkungan

Aktivitas seismik yang intens di Pulau Jawa memiliki implikasi yang signifikan terhadap tingkat kerentanan lingkungan, baik pada skala lokal maupun regional. Pulau Jawa yang memiliki kepadatan penduduk tinggi, topografi yang kompleks, serta kondisi geologi yang didominasi oleh batuan vulkanik dan sedimen muda menjadikan wilayah ini sangat sensitif terhadap gangguan geodinamik. Kejadian gempa bumi, khususnya yang berkedalaman dangkal hingga menengah, berpotensi memicu perubahan fisik lingkungan yang berdampak langsung terhadap kestabilan lahan dan ekosistem.

Di wilayah pegunungan dan perbukitan, terutama yang tersusun oleh material vulkanik lapuk dan memiliki kemiringan lereng yang curam, aktivitas seismik dapat meningkatkan risiko terjadinya longsor. Getaran gempa berperan sebagai faktor pemicu yang mempercepat kegagalan lereng, terutama pada daerah yang telah mengalami degradasi tutupan lahan atau tekanan antropogenik (Ehsan et al., 2025; Ji et al., 2026). Kondisi ini semakin didukung oleh tingginya intensitas curah hujan di Pulau Jawa, sehingga interaksi antara faktor seismik dan hidrometeorologis berpotensi menghasilkan bencana lingkungan yang bersifat multihazard (Farid et al., 2023).

Wilayah pesisir selatan Pulau Jawa juga menunjukkan tingkat kerentanan lingkungan yang tinggi akibat kedekatannya dengan zona subduksi aktif. Gempa bumi yang terjadi di zona ini berpotensi menimbulkan guncangan kuat dan dapat memicu deformasi dasar laut dan perubahan morfologi pesisir (Karima et al., 2025). Gangguan stabilitas lahan pesisir, termasuk retakan tanah, likuefaksi lokal, serta abrasi, menjadi ancaman nyata bagi ekosistem pesisir dan aktivitas manusia. Selain itu, meskipun tidak

selalu terjadi, potensi tsunami akibat gempa bermagnitudo besar di zona subduksi tetap menjadi faktor risiko yang perlu diperhitungkan dalam analisis kerentanan lingkungan kawasan pesisir selatan.

Tekanan terhadap ekosistem dan kawasan lindung merupakan implikasi penting dari aktivitas seismik yang berkelanjutan di Pulau Jawa. Wilayah ini memiliki sejumlah kawasan konservasi strategis, termasuk hutan lindung, taman nasional, dan kawasan resapan air, yang sebagian di antaranya berada pada daerah berlereng curam serta berdekatan dengan zona tektonik aktif di bagian selatan dan tengah Pulau Jawa. Kejadian gempa bumi berpotensi mengubah kondisi fisik habitat melalui pergeseran tanah, rekahan permukaan, perubahan pola aliran air permukaan dan bawah tanah, serta kerusakan tutupan vegetasi. Gangguan terhadap kawasan lindung akibat aktivitas seismik berpotensi menurunkan kemampuan lingkungan dalam mengendalikan erosi, menjaga stabilitas lereng, mengatur tata air, serta melindungi keanekaragaman hayati. Kerusakan vegetasi dan perubahan morfologi lahan pascagempa dapat meningkatkan laju limpasan permukaan dan sedimentasi yang berdampak pada kualitas lingkungan di wilayah hilir (Fan et al., 2019; Xu et al., 2026). Kondisi ini menunjukkan bahwa implikasi gempa bumi memiliki efek berantai terhadap sistem lingkungan secara regional.

Aktivitas seismik yang berulang di Pulau Jawa berpotensi mempercepat proses degradasi lingkungan apabila tidak diimbangi dengan perencanaan tata ruang yang adaptif dan berbasis risiko kebencanaan. Pembangunan infrastruktur dan permukiman yang terus berkembang di wilayah rawan gempa, khususnya pada zona dengan kerentanan geologi dan ekologis tinggi, dapat memperbesar dampak lingkungan ketika terjadi kejadian seismik. Oleh karena itu, gempa bumi harus diposisikan sebagai faktor lingkungan yang berpengaruh langsung terhadap keberlanjutan wilayah dan efektivitas pengelolaan kawasan lindung.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa Pulau Jawa dan sekitarnya memiliki pola seismisitas yang jelas dan terkonsentrasi pada zona tektonik aktif, khususnya di wilayah selatan yang berasosiasi langsung dengan zona subduksi. Dominasi kejadian gempa bumi bermagnitudo kecil hingga menengah dengan kedalaman dangkal hingga menengah mengindikasikan potensi dampak lingkungan yang signifikan, terutama pada wilayah dengan kondisi geologi dan fisiografi yang rentan. Pola seismisitas tersebut berkontribusi terhadap meningkatnya kerentanan lingkungan, termasuk risiko longsor di daerah berlereng, gangguan stabilitas lahan pesisir, serta tekanan terhadap ekosistem dan kawasan lindung. Analisis spasial berbasis data gempa bumi USGS memberikan informasi penting dalam mengidentifikasi wilayah dengan tingkat kerentanan lingkungan yang lebih tinggi akibat aktivitas seismik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kawasan pesisir selatan Pulau Jawa dan wilayah perbukitan memiliki kerentanan lingkungan yang lebih besar karena intensitas kejadian gempa yang relatif tinggi dan

kondisi fisik wilayah yang sensitif terhadap gangguan geodinamik. Oleh karena itu, integrasi informasi seismisitas dalam perencanaan lingkungan dan tata ruang wilayah di Pulau Jawa menjadi sangat penting sebagai bagian dari upaya pengurangan risiko bencana dan pengelolaan lingkungan berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Institut Teknologi Yogyakarta atas dukungan akademik dan fasilitas yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada United States Geological Survey (USGS) atas ketersediaan data gempa bumi yang bersifat terbuka dan terverifikasi, yang sangat mendukung proses analisis dan penyusunan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfaris, L., Wahyudi, A., Anjar Ginanjar, M., Nyuswantoro, U. I., & Laeiq, N. (2025). Correlation Between Seismicity Rates and Earthquake Return Periods in the Southern Offshore of West Java, Indonesia. *Jurnal Penelitian Geografi (GeoJPG)*, 4(Desember), 532–542. <https://doi.org/10.37905/geojpg.v4i2.36433>
- Ehsan, M., Anees, M. T., Bakar, A. F. B. A., & Ahmed, A. (2025). A review of geological and triggering factors influencing landslide susceptibility: artificial intelligence-based trends in mapping and prediction. In *International Journal of Environmental Science and Technology* (Vol. 22, Number 16, pp. 17347–17382). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s13762-025-06741-6>
- Fan, X., Scaringi, G., Korup, O., West, A. J., van Westen, C. J., Tanyas, H., Hovius, N., Hales, T. C., Jibson, R. W., Allstadt, K. E., Zhang, L., Evans, S. G., Xu, C., Li, G., Pei, X., Xu, Q., & Huang, R. (2019). Earthquake-Induced Chains of Geologic Hazards: Patterns, Mechanisms, and Impacts. In *Reviews of Geophysics* (Vol. 57, Number 2, pp. 421–503). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1029/2018RG000626>
- Farid, M., Sihombing, Y. I., Kuntoro, A. A., Adityawan, M. B., Syuhada, M. M., Januriyadi, N. F., Moe, I. R., & Nurhakim, A. (2023). Development of flood hazard index under climate change scenarios in Java Island. *Progress in Disaster Science*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2023.100302>
- Foulger, G. R., Wilson, M. P., Gluyas, J. G., Julian, B. R., & Davies, R. J. (2018). Global review of human-induced earthquakes. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 178, pp. 438–514). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.07.008>
- Grozđanić, G., & Cvetković, V. M. (2024). *Exploring Multifaceted Factors Influencing Community Resilience to Earthquake Induced Geohazards: Insights from Montenegro*. www.upravljanje-rizicima.com

- Ji, F., Yu, J., Shen, J., Chen, X., Bai, X., & Lv, Q. (2026). Stability evolution and failure mechanism of debris slope under seismic load. *Results in Engineering*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.108554>
- Karima, I., Martha, A. A., Hudayat, N., & Zera, T. (2025). Identification of Earthquake and Tsunami Risk Zones in Southern Java Using Gravity Method. *Bulletin of the Marine Geology*, 40(2), 103–111. <https://doi.org/10.32693/bomg.40.2.2025.934>
- Mavroulis, S., Mavrouli, M., Lekkas, E., & Tsakris, A. (2023). Managing Earthquake Debris: Environmental Issues, Health Impacts, and Risk Reduction Measures. In *Environments - MDPI* (Vol. 10, Number 11). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/environments10110192>
- Putri, D. M., Maharani, N., Ilham, I., & Yulinda, R. (2025). Spatial Analysis of the Seismic Gap Zone Based on Multiparameter Seismotectonics in Southern East Java as an Indicator of Megathrust Earthquake Potential. *Jurnal Geoelebes*. <https://doi.org/10.70561/geoelebes.v9i2.44633>
- Rudiarto, I., Handayani, W., & Setyono, J. S. (2018). A regional perspective on urbanization and climate-related disasters in the northern coastal region of central Java, Indonesia. *Land*, 7(1). <https://doi.org/10.3390/land7010034>
- Sechi, G. J., Lopane, F. D., & Hendriks, E. (2022). Mapping seismic risk awareness among construction stakeholders: The case of Iringa (Tanzania). *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103299>
- Shafapourtehrany, M., Batur, M., Shabani, F., Pradhan, B., Kalantar, B., & Özener, H. (2023). A Comprehensive Review of Geospatial Technology Applications in Earthquake Preparedness, Emergency Management, and Damage Assessment. In *Remote Sensing* (Vol. 15, Number 7). MDPI. <https://doi.org/10.3390/rs15071939>
- Tetteh, F. K., Abbey, S. J., Booth, C. A., & Nukah, P. D. (2025). Current understanding and uncertainties associated with climate change and the impact on slope stability: A systematic literature review. In *Natural Hazards Research* (Vol. 5, Number 3, pp. 563–595). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2025.01.011>
- Wilson, D. C., Hutt, C. R., Gee, L. S., Ringler, A. T., & Anthony, R. E. (2024). Global Seismic Networks Operated by the U.S. Geological Survey. *Seismological Research Letters*, 95(3), 1578–1590. <https://doi.org/10.1785/0220230178>
- Xu, L., Tan, S., & Li, R. (2026). Landslide Disaster Vulnerability Assessment and Prediction Based on a Multi-Scale and Multi-Model Framework: Empirical Evidence from Yunnan Province, China. *Land*, 15(1), 119. <https://doi.org/10.3390/land15010119>