

Spatial Pattern Analysis and Spatial Regression of Geological Disaster Risk in Indonesia

Fanny Novika^{1*}, Dedi Kusdani²

¹Prodi Aktuaria, STMA Trisakti, Jakarta-Indonesia 13210

Email: ¹novikafanny@gmail.com, ²dedikusdani@yahoo.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara dengan tingkat kerentanan tinggi terhadap bencana geologi seperti gempa bumi, tanah longsor, dan letusan gunung berapi karena posisinya yang berada di zona pertemuan tiga lempeng tektonik aktif. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan pola spasial bencana geologi Local Indicators of Spatial Association (LISA) serta menganalisis pengaruh variabel spasial terhadap jumlah korban menggunakan pendekatan analisis regresi spasial. Data diperoleh dari BNBP dan dianalisis menggunakan metode OLS serta tiga model regresi spasial yaitu Spatial Autoregressive Model (SAR), Spatial Error Model (SEM), dan General Spatial Model (GSM). Hasil LISA menunjukkan bahwa beberapa provinsi termasuk dalam kategori high-high dan outlier spasial yang rawan bencana. Analisis regresi menunjukkan bahwa untuk bencana gempa bumi, model SEM merupakan model terbaik dengan pseudo-R² sebesar 0.888 dan AIC terendah. Untuk bencana tanah longsor, model GSM memberikan hasil terbaik (pseudo-R² = 0.7860 dan AIC = 78.389), sementara untuk letusan gunung berapi, model spasial tidak menunjukkan signifikansi efek spasial, sehingga model OLS cukup mewakili hubungan variabel. Variabel jumlah kejadian terbukti berpengaruh paling signifikan terhadap jumlah korban di seluruh jenis bencana. Temuan ini menegaskan pentingnya pendekatan spasial dalam pemetaan risiko dan perencanaan mitigasi bencana geologi di Indonesia.

Kata kunci: bencana geologi, LISA, regresi spasial, gempa bumi, tanah longsor, letusan gunung

ABSTRACT

Indonesia is a country with a high level of vulnerability to geological disasters such as earthquakes, landslides, and volcanic eruptions due to its position in the meeting zone of three active tectonic plates. This study aims to map the spatial pattern of geological disasters Local Indicators of Spatial Association (LISA) and analyze the effect of spatial variables on the number of victims using a spatial regression analysis approach. Data were obtained from BNBP and analyzed using the OLS method and three spatial regression models, namely the Spatial Autoregressive Model (SAR), Spatial Error Model (SEM), and General Spatial Model (GSM). The LISA results show that several provinces are included in the high-high and spatial outlier categories that are prone to disasters. Regression analysis shows that for earthquakes, the SEM model is the best model with a pseudo-R² of 0.888 and the lowest AIC. For landslides, the GSM model gives the best results (pseudo-R² = 0.7860 and AIC = 78.389), while for volcanic eruptions, the spatial model does not show significant spatial effects, so the OLS model is sufficient to represent the relationship between variables. The variable number of events proved to have the most significant influence on the number of victims across all types of disasters. This finding emphasizes the importance of a spatial approach in risk mapping and geological disaster mitigation planning in Indonesia.

Keywords: geological disaster, LISA, spatial regression, earthquake, landslide, volcanic eruption

A. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki tingkat kerawanan tinggi terhadap bencana geologi (Khusna et al., 2022), seperti gempa bumi, letusan gunung berapi, dan tanah longsor (Baldah et al., 2023). Hal ini disebabkan oleh letak geografis Indonesia yang berada di pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik (Metrikasari &

Choiruddin, 2021). Akibatnya, aktivitas seismik dan vulkanik di wilayah ini sangat tinggi, meningkatkan risiko terjadinya bencana geologi yang dapat berdampak pada keselamatan manusia, infrastruktur, dan perekonomian (Wekke, 2021).

Menurut data dari Badan Pusat Statistik, jumlah kejadian bencana alam geologis sepanjang tahun 2023, terdapat 31 bencana alam gempa bumi yang bersifat merusak dan paling

sering terjadi di Jawa Barat yaitu sebanyak 13 kejadian. Selain itu, terdapat 4 bencana alam letusan gunung api yaitu di provinsi Sumatera Barat, Jawa Tengah, Nusa Tenggara Timur dan Sulawesi Utara. Ada pula kejadian bencana alam tanah longsor sebanyak 591 kejadian dan paling sering terjadi di provinsi Jawa Barat yaitu 185 kejadian dan Jawa tengah yaitu sebanyak 125 kejadian.

Seringnya muncul bencana alam yang tidak dapat diprediksi membuat perlunya dilakukan pemetaan bencana geologi. Hal ini menjadi langkah penting dalam upaya mitigasi dan penanggulangan risiko bencana (Tumpu et al., 2023). Dengan adanya pemetaan yang akurat, pemerintah dan pihak terkait dapat mengambil kebijakan yang lebih tepat dalam perencanaan tata ruang, pembangunan infrastruktur, serta penanggulangan bencana. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan Local Indicators of Spatial Association (LISA) untuk mengidentifikasi kluster spasial dengan yang terbagi ke dalam 4 nilai risiko yaitu *high-high*, *high-low*, *low-high*, dan *low-low*. Analisis ini akan mengetahui provinsi mana yang rentan terhadap bencana geologi tertentu, berada pada *outlier spatial* atau relatif aman.

Selanjutnya, akan dilakukan analisis regresi spasial untuk memahami hubungan antara variabel-variabel yang berpengaruh terhadap bencana geologi di berbagai wilayah di Indonesia (Bertazzon et al., 2022). Dengan menggunakan analisis ini, dapat diidentifikasi pola-pola spasial yang tidak hanya mempertimbangkan faktor lokal, tetapi juga hubungan dengan wilayah sekitarnya (Toköz et al., 2023). Hal ini memungkinkan perumusan model risiko bencana yang lebih akurat dan berbasis data. Beberapa penelitian terdahulu telah membahas deteksi klaster spasial bencana di beberapa daerah Indonesia. Telah ditemukan bahwa adanya klaster signifikan untuk banjir di daerah Bekasi dan Tangerang serta longsor di Bogor (Pravitasari et al., 2014). Selain itu sudah ditemukan pula bahwa daerah lawan longsor dan banjir cenderung berkelompok secara spasial (Amelia & Guswandi, 2023). Penelitian lainnya sudah membahas juga adanya risiko tinggi bencana geologi seperti longsor dan banjir bandang di lahan bekas tambang (Tahir et al., 2023). Namun, berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini akan

mempertimbangkan indikasi peningkatan jumlah korban bencana geologi (yaitu tanah longsor, erupsi gunung dan gempa) berdasarkan jumlah kejadian bencana, jumlah kerusakan rumah dan jumlah kerusakan fasilitas yang dilihat pola spasialnya dan dilakukan pemetaan risiko bencana geologi di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola spasial kejadian bencana geologi di Indonesia dengan menggunakan indeks moran berdasarkan jumlah kejadian bencana lalu dilanjutkan dengan menerapkan regresi spasial dalam pemetaan risiko bencana geologi.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif non eksperimental menggunakan desain deskriptif khusus dengan melakukan pemodelan matematis yang dilanjutkan dengan pemetaan daerah-daerah di Indonesia yang tergolong pada kategori rawan bencana geologis, yang dibatasi pada bencana gempa bumi, letusan gunung api dan tanah longsor. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak RStudio untuk menghasilkan peta sebaran bencana dan identifikasi pola spasial kejadian bencana.

Langkah-langkah analisis yang harus dilakukan adalah:

1. Pengumpulan data yaitu, data yang ingin dicari adalah riwayat terjadinya bencana gempa bumi, longsor dan erupsi gunung di Indonesia dari situs resmi BNPB geoportal data bencana di Indonesia pada yang akan mengumpulkan data jumlah kejadian, jumlah korban, kerusakan tempat tinggal (rumah) dan kerusakan fasilitas (pendidikan, kesehatan, peribadatan dan umum) pada periode tahun 2020-2024 berdasarkan provinsi (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2025). Selain itu diperlukan pula data Shapefile (SHP) Indonesia yang berisikan data geografis Indonesia terdiri dari longitude dan latitude setiap provinsi di Indonesia (Indonesia Geospasial, 2025).
2. Pengolahan Data: Pada data SHP yang disambungkan dengan data geoportal BNPB, dilakukan pencarian sentroid dengan matriks pembobot spasial (yang dapat ditentukan dengan pemilihan Area/ketetapan/titik/jarak). Lalu diperlukan juga uji asumsi analisis yaitu autokorelasi spasial menggunakan LISA

(Local Indicators of Spatial Autocorrelation) yang divisualisasikan menggunakan Indeks Moran's. LISA merupakan alat spasial yang digunakan untuk mengidentifikasi pola spasial dalam suatu fenomena geografis. Pada penelitian ini LISA dapat diinterpretasikan mengetahui bagaimana kejadian bencana geologi tersebar dan berinteraksi secara spasial di berbagai wilayah. Ada 4 kategori utama berdasarkan nilai dan signifikansi statistik, yaitu:

- a. High-High: Kelompok ini mengindikasikan area dengan frekuensi tinggi bencana geologi yang dikelilingi oleh area yang juga mempunyai frekuensi yang tinggi.
- b. Low-Low: Kelompok ini mengindikasikan area dengan frekuensi bencana geologi rendah yang dikelilingi area lainnya dengan frekuensi rendah bencana geologi
- c. High-Low: Kelompok ini mengindikasikan area dengan frekuensi tinggi bencana geologi yang dikelilingi area yang mempunyai frekuensi rendah bencana geologi, hal ini menandakan adanya outlier spasial
- d. Low-High: Kelompok ini mengindikasikan area dengan frekuensi rendah bencana geologi yang dikelilingi area yang mempunyai frekuensi tinggi bencana geologi, hal ini juga menandakan adanya outlier spasial.

Provinsi yang dikategorikan dalam kelompok *High-High* adalah provinsi yang sangat rawan bencana dan perlu diperhatikan, provinsi dalam kategori *High – Low* dan *Low-High* adalah provinsi yang perlu perhatian khusus sedangkan provinsi dalam kategori *Low-Low* adalah provinsi yang relatif aman bencana.

3. Analisis Regresi Spasial: Merupakan analisis yang memasukkan pengaruh spasial ke dalam model. Pada penelitian ini akan menggunakan model regresi spasial dengan tiga pendekatan yaitu Spatial Autoregressive Model (SAR), Spatial Error Model (SEM) dan General Spatial Model (GSM) untuk mengidentifikasi hubungan antara variabel spasial yang berpengaruh terhadap tingkat risiko bencana geologi. Variabel yang

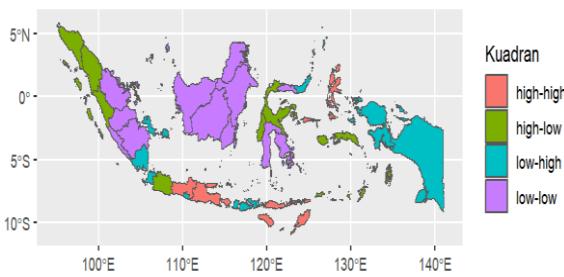
digunakan adalah jumlah korban, jumlah kejadian, kerusakan tempat tinggal (rumah), dan kerusakan fasilitas (pendidikan, kesehatan, peribadatan dan umum),

4. Validasi Model: Hasil analisis dibandingkan dengan data historis dan dikaji keakuratannya untuk memastikan model yang dihasilkan dapat menggambarkan pola risiko bencana dengan baik. Model yang dipilih adalah model yang mempunyai (Akaike Information Criterion) AIC yang paling kecil.
5. Interpretasi dan Visualisasi Data: Hasil akhir dianalisis untuk memahami faktor dominan dalam risiko bencana geologi serta divisualisasikan dalam bentuk peta tematik yang mudah dipahami oleh pemangku kebijakan dan masyarakat.

C. Hasil dan Pembahasan

1. Pola Spasial Gempa Bumi

Pola spasial gempa bumi dari masing-masing provinsi di Indonesia terdapat pada Gambar 1. Provinsi yang berada pada kuadran *high-high* adalah Bali, Jawa Tengah, Jawa Timur, Maluku Utara dan Nusa Tenggara Timur. Provinsi ini adalah provinsi yang mempunyai frekuensi tinggi gempa bumi yang dikelilingi oleh area yang juga mempunyai frekuensi yang tinggi. Selanjutnya, provinsi yang berada pada kuadran *high-low* adalah Aceh, Jawa Barat, Maluku, Selawesi Barat, Sulawesi Tengah, Sumatera Barat dan Sumatera Utara. Provinsi ini mengindikasikan area dengan frekuensi bencana gempa tinggi yang dikelilingi area lainnya dengan frekuensi rendah. Provinsi yang berada pada kuadran *low-high* adalah Bangka Belitung, Banten, DKI Jakarta, Lampung, Nusa Tenggara Barat, Papua, Papua Barat, Sulawesi Utara dan DI Yogyakarta. Provinsi ini adalah provinsi yang mempunyai frekuensi rendah gempa bumi yang dikelilingi oleh area yang juga mempunyai frekuensi yang tinggi. Provinsi yang tergolong pada kategori *low-low* adalah Bengkulu, Gorontalo, Jambi, Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur, Kalimantan Utara, Kepulauan Riau, Riau, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara dan Sumatera Selatan. Provinsi ini adalah provinsi yang mempunyai frekuensi gempa paling kecil.

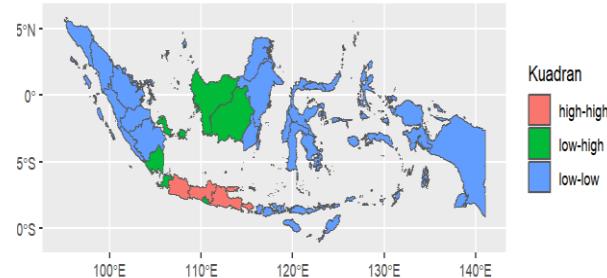


Gambar 1 Pola Spasial Gempa Bumi di Indonesia

2. Pola Spasial Tanah Longsor

Pola spasial tanah longsor dari masing-masing provinsi dapat dilihat pada Gambar 2. Provinsi yang berada pada kuadran *high-high* dengan frekuensi tanah longsor yang tinggi dan dikelilingi yang mempunyai frekuensi tinggi adalah Bali, Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur. Tidak terdapat provinsi yang berada pada kuadran *high-low*. Provinsi yang berada pada kuadran *low-high* adalah Bangka Belitung, Banten, DKI Jakarta, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Lampung, DI Yogyakarta. Provinsi yang tergolong pada kategori *low-low* adalah Aceh, Bengkulu, Gorontalo, Jambi, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, Kalimantan Utara, Kepulauan Riau, Maluku, Maluku Utara, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Papua, Papua Barat, Riau, Sulawesi Barat, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Utara,

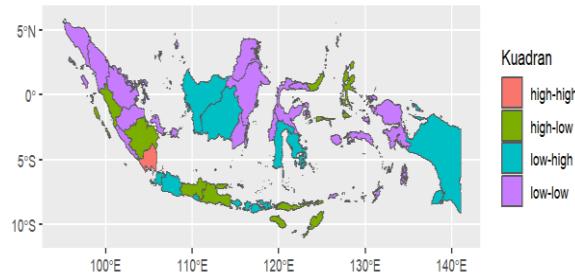
Sumatera Barat, Sumatera Selatan dan Sumatera Utara.



Gambar 2 Pola Spasial Tanah Longsor di Indonesia

3. Pola Spasial Erupsi Gunung Berapi

Pola spasial Erupsi Gunung Berapi dari masing-masing provinsi dapat dilihat pada Gambar 3. Provinsi yang berada pada kuadran *high-high* adalah Lampung. Selanjutnya, provinsi yang berada pada kuadran *high-low* adalah Jawa Tengah, Jawa Timur, Maluku Utara, Nusa Tenggara Timur, Sulawesi Utara, Sumatera Barat dan Sumatera Selatan. Provinsi yang berada pada kuadran *low-high* adalah Bali, Banten, Yogyakarta, DKI Jakarta, Jawa Barat, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Nusa Tenggara Barat, Papua, Sulawesi Selatan dan Sulawesi Tenggara. Provinsi yang tergolong pada kategori *low-low* adalah Aceh, Bangka Belitung, Bengkulu, Gorontalo, Jambi, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, Kalimantan Utara, Kepulauan Riau, Maluku, Papua Barat, Riau, Sulawesi Barat, Sulawesi Tengah, Sumatera Utara.



Gambar 3 Pola Spasial Erupsi Gunung Berapi di Indonesia

4. Analisis Regresi Spasial Gempa Bumi

Sebagai langkah awal, dilakukan pemodelan menggunakan *Ordinary Least Square* (OLS) dan menghitung kenormalan dari

nilai galat menggunakan Sapiro Wilk Normality Test, yang menghasilkan nilai *p-value* $1.317 * 10^{-7}$. Karena kurang dari 0.05, maka diasumsikan data menyebar normal. Hasil OLS terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil OLS Untuk Bencana Gempa Bumi

	Estimasi	Std. Error	Pr(> t)
(Intercept)	26.58588	30.3345	0.388
Jumlah.Kejadian	12.42411	7.98863	0.13
Kerusakan.Rumah	0.01173	0.06365	0.855
Kerusakan.Fasilitas	0.16656	0.16137	0.31

Nilai R^2 pada model ini adalah 0.3879 tergolong kecil serta $p\text{-value}$ pada masing-masing variabel bernilai lebih dari 0.05 dan mempunyai AIC 180.75. Sehingga perlu dilakukan analisis lanjut yang mempertimbangkan aspek spasial dengan melakukan pengujian model spasial untuk

mengakomodasi potensi efek spasial yang *marginally significant*. Selanjutnya ditentukan tiga model spasial: SAR (Spatial Lag Model), SEM (Spatial Error Model), dan GSM (General Spatial Model) yang hasilnya terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2 Analisis Model Spasial Gempa Bumi

Model	AIC	Signifikansi	Nilai R^2	Keterangan
OLS	180.75	-	0.3879	Model dasar, tanpa mempertimbangkan efek spasial, dan model signifikan namun nilai R^2 rendah.
SAR	182.183	Tidak signifikan ($p\text{-value} = 0.1473$)	0.8784	Efek spasial tidak signifikan
SEM	179.288	Marginal ($p\text{-value} = 0.0627$)	0.8883	Performa terbaik dari sisi AIC
GSM	181.14	Tidak signifikan ($p\text{-value} \rho=0.46$)	0.889	Kompleks, tapi tidak lebih baik dari SEM

Berdasarkan pada Tabel 2 model SAR tidak signifikan ($p = 0.1473$), menunjukkan model tidak cukup kuat untuk diinterpretasikan. Model SEM signifikan ($p \approx 0.0627$) dengan kepercayaan 90%. Model ini memiliki nilai AIC terendah (179.29) dan R^2 tertinggi (0.88829), menandakan model yang paling baik secara relatif dibandingkan model lainnya. Model GSM menyatakan tidak signifikan ($p > 0.05$) dan nilai AIC lebih tinggi dari SEM. Dengan demikian, model SEM dapat digunakan sebagai model alternatif yang memberikan hasil terbaik secara performa (AIC dan R^2). Model SEM dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Model SEM Gempa Bumi

	Estimate	Std. Error	Pr(> z)
(Intercept)	1.2801	0.37486	0.000637
Log (Jumlah.Kejadian)	0.5450	0.11981	5.34*10 ⁻⁶
log(Kerusakan..Rumah)	0.0317	0.07883	0.68747

log(Kerusakan.Fasilitas) 0.5174 0.09160 1.6*10⁻⁸

Interpretasi hasil koefisien dari model SEM sebagai model terbaik adalah dipercayai 99% bahwa Jumlah Kejadian berpengaruh positif dan signifikan ($p < 0.001$), artinya, peningkatan jumlah kejadian gempa akan meningkatkan jumlah korban dan Kerusakan Fasilitas juga berpengaruh positif signifikan ($p < 0.001$), menunjukkan bahwa semakin besar kerusakan fasilitas publik (seperti rumah sakit dan sekolah), semakin besar pula jumlah korban. Kerusakan Rumah tidak signifikan ($p > 0.6$), menunjukkan bahwa kerusakan rumah tidak memiliki pengaruh langsung yang signifikan terhadap jumlah korban dalam model ini. Selanjutnya dari interpretasi estimasi variabel, dapat dikatakan bahwa peningkatan jumlah kejadian sebanyak 1% maka akan meningkatkan korban bencana gempa sebanyak 0.545048% dengan asumsi variabel lainnya tetap dan apabila

adanya peningkatan kerusakan rumah sebanyak 1% maka akan meningkatkan jumlah korban sebanyak 0.031713%. Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah kejadian mempunyai indikasi yang paling besar mempengaruhi peningkatan jumlah korban pada bencana gempa bumi yang diikuti dengan kerusakan fasilitas dan yang terakhir adalah jumlah kerusakan rumah.

5. Analisis Regresi Spasial Longsor

Hal yang sama dilakukan untuk bencana longsor, ditentukan OLS model kemudian diuji kenormalan galatnya, maka menggunakan Shapiro Wilk Normality Test, didapatkan nilai *p-value* adalah $1.161 * 10^{-6}$, hal ini di bawah batas kepercayaan $\alpha = 5\%$, maka bisa diasumsikan

galat menyebar menyebar normal. Hasil OLS terdapat pada Tabel 4

Tabel 4 Hasil OLS untuk Bencana Longsor

Variabel	Koefisien	Std. Error	p-value
Intercept	1939.724	1034.800	0.0706
Jumlah Kejadian	28.193	16.877	0.1052
Kerusakan Rumah	9.994	6.987	0.1629
Kerusakan Fasilitas	-301.673	210.653	0.1625

Nilai R^2 pada model ini adalah 0.6363 namun *p-value* pada masing-masing variabel bernilai lebih dari 0.05 dan mempunyai AIC bernilai yang besar yaitu 688.5314. Oleh karena itu dilanjutkan dengan menguji efek spasial pada model yang dapat dilihat pada Tabel 5

Tabel 5 Analisis Model Spasial Tanah Longsor

Model	AIC	Signifikan	Nilai $R^2/Pseudo-R^2$	Keterangan
OLS	688.531	-	0.6363	Sederhana, tapi AIC sangat besar
SAR	79.961	Signifikan (<i>p.value</i> = $5.8127 * 10^{-6}$)	0.76228	Ada ketergantungan spasial langsung antar lokasi
SEM	86.704	Signifikan (<i>p.value</i> = 0.00022726)	0.7101	Autokorelasi spasial dalam residual (faktor tersembunyi)
GSM	78.389	Signifikan (<i>p.value</i> =0.000339)	0.7860	Kombinasi pengaruh langsung error dan spasial

Model GSM adalah model terbaik untuk menjelaskan keterkaitan spasial karena memiliki nilai pseudo- R^2 tertinggi dan AIC terendah. Model SAR dan SEM juga memberikan hasil lebih baik dibandingkan OLS. Ditemukan adanya pengaruh spasial signifikan terhadap jumlah korban bencana longsor. Selanjutnya akan dilakukan interpretasi model GSM yang terdapat pada Tabel 6.

Tabel 6 Model GSM Longsor

Variabel	Estimate	Std. Error	Pr(> z)
Intercept	-1.24982	0.395549	0.001579
Jumlah Kejadian	0.130063	0.06438	0.043357
Kerusakan Rumah	0.289109	0.086027	0.000778
Kerusakan Fasilitas	0.042196	0.012766	0.000949

Interpretasi hasil koefisien dari model GSM sebagai model terbaik adalah dipercayai 95% bahwa Jumlah Kejadian berpengaruh

positif dan signifikan ($p < 0.05$), artinya, peningkatan jumlah kejadian gempa akan meningkatkan jumlah korban dan Kerusakan Fasilitas juga berpengaruh positif signifikan ($p < 0.001$), menunjukkan bahwa semakin besar kerusakan fasilitas publik (seperti rumah sakit dan sekolah), semakin besar pula jumlah korban. Kerusakan Rumah signifikan ($p < 0.001$), menunjukkan bahwa kerusakan rumah memiliki pengaruh langsung yang signifikan terhadap jumlah korban dalam model ini. Selanjutnya dari interpretasi estimasi variabel, dapat dikatakan bahwa peningkatan jumlah kejadian sebanyak 1% maka akan meningkatkan korban bencana gempa sebanyak 0.13% dengan asumsi variabel lainnya tetap dan apabila adanya peningkatan kerusakan rumah sebanyak 1% maka akan meningkatkan jumlah korban sebanyak 0.2891%, juga apabila ada peningkatan jumlah kerusakan fasilitas sebanyak 1% maka akan meningkatkan kerusakan fasilitas sebesar 0.04%. Dalam hal ini menunjukkan bahwa kerusakan rumah mempunyai kontribusi yang

lebih besar dalam meningkatkan jumlah korban yang diikuti dengan jumlah kejadian dan kerusakan fasilitas.

6. Analisis Regresi Spasial Gunung Berapi

Model pada bencana gunung berapi juga dilakukan dengan langkah yang sama, yaitu dicari model terbaik dengan terlebih dahulu menentukan OLS model kemudian diuji kenormalan galatnya. Berdasarkan Sapiro Wilk Normality Test, didapatkan nilai *p-value* adlah 3.24×10^{-9} . Karena kurang dari 0.05, maka diasumsikan data menyebar normal. Hasil OLS terdapat pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil OLS untuk Gunung Berapi

	Estimat e	Std. Error	Pr(> t)
(Intercept)	-	1357.12	0.395
Jumlah.Kejadian	1171.68 8413.95	1216.72	1.12* 10^{-7}
Kerusakan..Rumah	28.53	21.03	0.185
Kerusakan.Fasilitas	- 2711.92	1823.23	0.147

Nilai R^2 pada model ini adalah 0.6902 dan variabel Jumlah Kejadian dinyatakan signifikan namun kerusakan rumah dan kerusakan fasilitas tidak signifikan. Oleh karena itu, dilakukan eksplorasi dengan menganalisis pola spasial menggunakan SAR, SEM dan GSM yang hasilnya terdapat pada Tabel 8.

Tabel 8 Analisis Model Spasial Gunung Berapi

Model	AIC	Signifikan	Nilai R^2 /Pseudo- R^2	Keterangan
OLS	705.9026	-	0.6902	Sederhana, tapi AIC sangat besar
SAR	195.4742	Tidak signifikan (<i>p.value</i> = 0.57981)	0.80915	Efek spasial tidak signifikan
SEM	195.5601	Tidak signifikan (<i>p.value</i> = 0.8086)	0.80866	Efek spasial tidak signifikan
GSM	197.01	Tidak signifikan (<i>p.value</i> =0.7482)	0.81172	Efek spasial tidak signifikan

Berdasarkan hasil pada Tabel 8, model spasial pada data erupsi gunung berapi tidak menunjukkan efek spasial yang signifikan walaupun nilai R^2 cukup tinggi. Ketidaksignifikansiannya efek spasial menyarankan bahwa tidak ada pola spasial yang bermakna sehingga model OLS bisa tetap dipertahankan walaupun memiliki AIC yang besar. Berdasarkan hasil OLS, diketahui bahwa variabel Jumlah Kejadian memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap jumlah korban (Estimate = 8413.95, *p-value* = 1.12×10^{-7}), yang berarti setiap peningkatan satu unit pada jumlah kejadian diperkirakan meningkatkan jumlah korban sebesar 8413.95 orang. Sebaliknya, variabel Kerusakan Rumah dan Kerusakan Fasilitas tidak berpengaruh signifikan terhadap jumlah korban (*p-value* masing-masing 0.185 dan 0.147), meskipun arah koefisennya menunjukkan kecenderungan positif dan negatif. Intersep model (-1171.68) juga tidak signifikan (*p-value* = 0.395), menandakan bahwa ketika seluruh variabel prediktor bernilai nol, nilai

prediksi korban secara statistik tidak berbeda dari nol. Temuan ini menekankan bahwa jumlah kejadian merupakan faktor utama yang berkontribusi terhadap jumlah korban dalam konteks bencana yang dianalisis.

D. Kesimpulan dan Saran

1. Kesimpulan:

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi pola spasial dan hubungan variabel spasial yang memengaruhi jumlah korban bencana geologi di Indonesia. Pemetaan menggunakan LISA menunjukkan bahwa beberapa wilayah seperti Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Bali termasuk dalam kategori rawan tinggi (high-high) untuk jenis bencana tertentu. Dari hasil analisis regresi, ditemukan bahwa jumlah kejadian merupakan faktor paling dominan dalam memengaruhi jumlah korban di seluruh jenis bencana. Model SEM terbukti paling sesuai untuk bencana gempa bumi, sementara model GSM paling optimal untuk kasus tanah longsor. Untuk bencana letusan gunung berapi, tidak ditemukan

pengaruh spasial yang signifikan sehingga model OLS dinilai cukup. Secara keseluruhan, pendekatan spasial terbukti memberikan pemahaman yang lebih dalam terhadap distribusi risiko bencana dan penting untuk diintegrasikan dalam kebijakan mitigasi bencana.

2. Saran

Data yang digunakan bersifat agregat pada tingkat provinsi, sehingga dapat mengaburkan variasi lokal yang penting, terutama di wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi dalam skala lebih kecil seperti kabupaten atau kecamatan. Selanjutnya bisa dilakukan analisis data spasial dengan pembagian yang lebih detail. Pada beberapa jenis bencana seperti erupsi gunung berapi, model spasial tidak menunjukkan signifikansi yang memadai. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh jumlah kejadian yang relatif sedikit atau distribusi spasial yang tidak cukup kuat, sehingga efektivitas model spasial menjadi terbatas untuk tipe bencana tertentu, sehingga dapat dilakukan perkembangan data. Model regresi pada penelitian ini hanya mempertimbangkan variabel jumlah kejadian, kerusakan rumah, dan kerusakan fasilitas, tanpa memasukkan variabel penting lainnya seperti kondisi lingkungan (curah hujan, kemiringan lereng) maupun aspek sosial-ekonomi (kepadatan penduduk, tingkat kemiskinan).

E. Daftar Pustaka

- Amelia, S., & Guswandi. (2023). Spatiotemporal Distribution Pattern and Spatial Clustering of Landslide-and Flood-Prone Areas in Metropolitan Palapa, Indonesia. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 18(3), 909–918. <https://doi.org/10.18280/ijsdp.180326>
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2025). *Statistik Bencana, Korban dan Kerusakan Menurut Wilayah*. https://dibi.bnrb.go.id/statistik_menurut_wilayah
- Baldah, A., Duraisah, A. V., & Maulana, R. A. (2023). Clustering Daerah Rawan Bencana Alam Di Indonesia Berdasarkan Provinsi Dengan Metode K-Means. *Jurnal Ilmiah Informatika Global*, 14(2), 31–36. <https://doi.org/10.36982/jiig.v14i2.3186>
- Bertazzon, S., Couloigner, I., & Mirzaei, M. (2022). Spatial regression modelling of particulate pollution in Calgary, Canada. *GeoJournal*, 1–17.
- Indonesia Geospasial. (2025). *Kumpulan Shapefile (SHP) Terlengkap dan Terbaru Seluruh Indonesia*. <https://www.indonesia-geospasial.com/2020/05/download-data-peta.html>
- Khusna, N. I., Sumarmi, S., Bachri, S., Astina, I. K., & Aristin, N. F. (2022). Spatial and Ecological Approach on Marble Mining Land in Tulungagung Regency-Indonesia: Is it Suitable as an Assessment of Disaster Mitigation Efforts? *Indonesian Journal of Geography*, 55(1), 30. <https://doi.org/10.22146/ijg.72627>
- Metrikasari, R., & Choiruddin, A. (2021). Earthquake Risk Modeling on Sumatra Island Using the Inhomogeneous Neyman-Scott Cox Process Model. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 9(2), 102–107.
- Pravitasari, A. E., Saizen, I., Tsutsumida, N., & Rustiadi, E. (2014). Detection of Spatial Clusters of Flood- and Landslide- Prone Areas using Local Moran Index in Jabodetabek Metropolitan Area, Indonesia. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 40(4), 223–243.
- Tahir, Yusuf, D., & Hendra. (2023). Aspek Spasial Mitigasi dan Perkiraan Resiko Bencana Geologi Pada Eks Lahan Tambang Menggunakan Citra Landsat-8. *UNM Geographic Journal*, 6(2), 125–137. <https://doi.org/10.26858/ugj.v6i2.58967>
- Toköz, Ö. D., Avci, A. B., & Duran, H. E. (2023). Factors affecting tourist visits to archaeological sites in Turkey: A spatial regression analysis. *European Spatial Research and Policy*, 30(2), 133–156.
- Tumpu, M., Jamal, M., Syahrir, M., Pasanda, O. S. R., Lapian, F. E. P., Rustam, M. S. P. A., Adhimasta, I. K., Mustika, W., & Muliawan, I. W. (2023). *Infrastruktur berbasis mitigasi bencana*. TOHAR MEDIA.
- Wekke, I. S. (2021). *Mitigasi Bencana*. Penerbit Adab.