EDUCTUM: Journal Research
Vol. 4, No. 2, Maret 2025, pp. 29~37

Spatial Analysis of Earthquake Distribution Patterns in North Sumatera in 2022 Using Moran's Test and Moran Scatter Plot Mapping

Risca Octaviyani Hutapea[1], May Rani Tabitha Sinaga[2], Muhammad Shadri Ismaun Lubis[3], Muhammad Fachri Aqil[4]
[1,2,3,4]Universitas Negeri Medan, Indonesia
Email: riscaoctaviyanihutapea@gmail.com; mayrani1805@gmail.com;
shadriismaun123@gmail.com; muhammadfachriaqil@gmail.com

ABSTRAK

Fenomena anak jalanan menjadi salah satu isu sosial yang rumit di Indonesia. Banyak faktor yang menyebabkan anak-anak tinggal di jalanan, seperti kemiskinan, ketidakstabilan keluarga, kurangnya akses pendidikan, dan eksploitasi oleh pihak tertentu. Penelitian ini ditujukan untuk menganalisis perlindungan dan pendidikan anak jalanan dalam perspektif Islam serta tantangan yang mereka hadapi dalam kehidupan sehari-hari. Metode yang digunakan adalah penelitian kualitatif dengan teknik wawancara dan observasi terhadap beberapa anak jalanan. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa anak-anak ini menghadapi berbagai kendala, termasuk stigma sosial, kurangnya perhatian keluarga, serta keterbatasan akses pendidikan dan kesehatan. Dalam perspektif Islam, anak-anak memiliki hak untuk menerima perlindungan, kasih sayang, dan pendidikan yang layak. Oleh karena itu, diperlukan kolaborasi antara keluarga, masyarakat, lembaga agama, dan pemerintah dalam memberikan solusi yang berkelanjutan bagi anak jalanan.

Keyword: Autokorelasi Spasial; Moran's I; LISA; Distribusi Gempa; Sumatera Utara

ABSTRACT

This study aims to analyze the spatial distribution patterns of earthquake occurrences in North Sumatra during 2022 using spatial statistical approaches, namely the global Moran's I autocorrelation test and Local Indicators of Spatial Association (LISA), visualized through a Moran Scatter Plot. The data used in this study are secondary data obtained from the official earthquake catalog released by the Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency (BMKG), including information on geographic location, time of occurrence, magnitude, and depth of earthquakes. The analysis was conducted using R and QGIS software, applying three types of spatial weighting: inverse distance, k-nearest neighbors (KNN), and adaptive Gaussian kernel functions. The results of the Moran's I test revealed significant global spatial autocorrelation, indicating that earthquakes with similar magnitudes tend to cluster geographically. In contrast, the LISA analysis showed that most points did not exhibit significant local spatial association, although a few clusters of high-high, low-low, high-low, and low-high types were identified. These findings confirm the presence of spatial patterns in the distribution of earthquakes in North Sumatra, which are relevant for supporting mitigation efforts and spatially-based disaster management planning.

Keyword: Spatial Autocorrelation; Moran's I; LISA; Earthquake Distribution; North Sumatra

Corresponding Author:
Risca Octaviyani Hutapea,
Universitas Negeri Medan,
Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan,
Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20221, Indonesia
Email: riscaoctaviyanihutapea@gmail.com

1. INTRODUCTION

Indonesia terletak pada geografi pertemuan 3 tiga lempeng, yaitu Indo-Australia di bagian Selatan, Eurasia dibagian Barat dan Utara, dan Pasifik di bagian Timur. Secara umum, Indonesia berada di daerah cincin

api yang terbentang dari Pulau Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, Maluku, dan Papua, karena itu, wilayah Indonesia sangat rawan terhadap bencana gempa bumi (Amri et al., 2022). "Sebagai salah satu dari beberapa negara yang terletak di kawasan Zona Seismic Asia Tenggara, Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki aktivitas seismik teraktif di dunia. Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng besar yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik." (Lubis et al., 2022, hal. 92). Hal ini sejalan dengan Harini et al. (2022) yang menyatakan bahwa pemetaan daerah rawan gempa merupakan langkah awal penting dalam upaya mitigasi risiko bencana geologi.

Selain itu kepulauan Indonesia juga kerap dianggap kepulauan istemewa karena kaya akan sumber daya alam nya dan sering dijuluki dengan "untaian jamrud khatulistiwa". Secara astronomis Kepulauan Indonesia berada pada suatu wilayah dengan posisi Lintang Bumi 07o LU – 12o LS dan posisi Bujur Bumi 95o BT – 141o BT. Hampir seluruh wilayah di Indonesia pernah terdampak bencana alam, salah satunya adalah gempa bumi. "Bencana alam gempa bumi adalah sebuah fenomena yang tidak dapat dihindari. Usaha yang dapat dilakukan adalah mencegah terjadinya korban jiwa dalam jumlah besar dan ini merupakan sebuah tantangan bagi masyarakat dan pemerintahannya." (Lubis et al., 2022, hal. 92)

Wilayah Sumatera Utara merupakan zona aktif seismik di Indonesia karena posisinya yang berada dekat dengan pertemuan beberapa lempeng tektonik utama dunia yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Interaksi kompleks antar lempeng ini menyebabkan terbentuknya berbagai struktur geologi seperti sesar aktif dan zona subduksi, yang menjadi sumber utama gempa bumi di wilayah ini. Gempa bumi dapat menimbulkan kerugian besar, baik dari segi ekonomi, sosial, maupun lingkungan. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai pola sebaran gempa bumi sangat penting untuk mitigasi dan pengurangan risiko bencana.

"Wilayah Sumatera bagian Utara terletak pada 0° - 4° Lintang Utara dan 96° - 101° Bujur Timur, dengan luas daratan adalah 72.981,23 km². Pada tahun 2020 penduduk Sumatera Utara berjumlah 15.136.522 jiwa dengan kepadatan penduduk 207,40 jiwa/km²." (Lubis et al., 2022, hal. 92). "Pemetaan daerah rawan bencana perlu dilakukan untuk mengetahui secara khusus daerah yang rawan bencana alam gempa bumi. Potensi kekuatan atau seberapa besar efek yang ditimbulkan dari guncangan gempa bumi berbeda-beda untuk setiap wilayah, tergantung pada kondisi geologi dan magnitudo kegempaannya." (Lubis et al., 2022, hal. 92). Tingginya jumlah penduduk di wilayah ini menuntut perhatian serius dari pemerintah dalam upaya mitigasi bencana gempa bumi. Oleh karena itu, pemetaan daerah rawan gempa sangat penting untuk mengidentifikasi wilayah-wilayah yang memiliki potensi tinggi terhadap bencana. Tingkat dampak guncangan gempa bumi di setiap lokasi berbeda-beda, tergantung pada karakteristik geologi dan besar kecilnya magnitudo yang terjadi. Melalui pemetaan pola seismik, informasi penting mengenai risiko bencana dapat disampaikan kepada masyarakat dan menjadi dasar bagi pemerintah dalam mengambil langkah antisipatif.

Dalam analisis spasial, referensi keruangan digunakan untuk memahami pola, proses, dan hubungan antara variabel-variabel yang terkait dengan lokasi geografis. Dengan demikian, analisis spasial dapat membantu dalam mengidentifikasi pola spasial, memodelkan proses spasial, dan membuat prediksi tentang fenomena geografis.

Dalam konteks gempa bumi, analisis spasial dapat membantu mendeteksi klaster atau pola sebaran yang tidak acak, yang memberikan informasi berharga mengenai faktor-faktor yang memengaruhi aktivitas seismik. Salah satu metode yang umum digunakan dalam analisis spasial adalah uji Moran's I, yang mengukur tingkat autokorelasi spasial suatu variabel. Hasil dari uji Moran's I dapat divisualisasikan dalam bentuk Moran Scatter Plot, yang memungkinkan identifikasi Local Indicators of Spatial Association (LISA) seperti klaster High-High, Low-Low, serta outlier High-Low dan Low-High. Dengan demikian, pemanfaatan uji Moran's I dan Moran Scatter Plot dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pola sebaran gempa bumi dan implikasinya terhadap risiko bencana di Sumatera Utara.

2. LITERATURE REVIEW

A. Analisis Spasial

Analisis spasial merupakan salah satu teknik formal yang mempelajari entitas berdasarkan sifat-sifat topologis, geometris, atau geografisnya. Teknik ini banyak digunakan dalam bidang perencanaan dan desain perkotaan untuk memahami pola dan hubungan spasial antar objek dalam suatu wilayah.

Analisis spasial mencakup beragam metode dengan pendekatan analitik yang bervariasi, terutama melalui penerapan statistik spasial. Teknik ini memiliki cakupan yang luas dan dapat diterapkan di berbagai bidang, seperti dalam astronomi untuk mengkaji distribusi galaksi di alam semesta, serta dalam bidang rekayasa fabrikasi chip melalui algoritma "place and route" dalam penyusunan struktur kabel yang kompleks.

Dalam konteks yang lebih sempit, analisis spasial sering diidentikkan dengan analisis geospasial, yaitu teknik yang difokuskan pada struktur-struktur dalam skala manusia, terutama melalui pengolahan dan

interpretasi data geografis. Selain itu, teknik ini juga dapat diterapkan dalam bidang genomik, misalnya pada analisis data transkriptomik yang memiliki dimensi spasial.

B. Moran's

Moran's I merupakan alat statistik yang digunakan untuk menguji adanya autokorelasi spasial, yaitu keterkaitan antar lokasi berdasarkan variabel yang berbeda. Pengujian ini berbasis kovarian dan bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat pola spasial yang berulang pada lokasi-lokasi yang berdekatan.

Beberapa penelitian telah menerapkan Moran's I dalam kajian-kajian sosial. Misalnya, Puspitasari dan Susanto (2011) menggunakan Moran's I untuk menganalisis penyebaran kasus demam berdarah dengue di Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah, guna mengetahui apakah kasus tersebut menunjukkan pola spasial tertentu. Selanjutnya, Wuryandari, Hoyyi, Kusumawardani, dan Rahmawati (2014) mengkaji autokorelasi spasial terhadap jumlah pengangguran di Provinsi Jawa Tengah untuk melihat kemungkinan adanya pengelompokan wilayah dengan tingkat pengangguran yang tinggi. Selain itu, Kumboro, Martha, dan Prihandono (2016) juga memanfaatkan Moran's I dalam analisis sosial lainnya yang berkaitan dengan fenomena spasial.

C. LISA

Local Indicators of Spatial Association (LISA) merupakan pengukuran autokorelasi spasial secara lokal yang digunakan untuk menganalisis hubungan spasial antara suatu lokasi pengamatan dengan lokasi-lokasi pengamatan di sekitarnya. LISA berfungsi sebagai statistik yang memberikan indikasi adanya pengelompokan spasial yang signifikan berdasarkan kemiripan nilai antar lokasi yang berdekatan.

Melalui pendekatan ini, LISA mampu mengidentifikasi lokasi-lokasi yang memiliki nilai tinggi atau rendah secara konsisten di antara wilayah sekitarnya, sehingga dapat menunjukkan pola spasial yang berulang, seperti klaster atau outlier lokal. Jumlah dari nilai-nilai LISA untuk seluruh wilayah akan sebanding dengan nilai indeks Moran secara keseluruhan, yang menunjukkan bahwa LISA merupakan bentuk lokal dari statistik autokorelasi spasial global Moran's I.

D. Konsep Autokorelasi Spasial dan Indeks Moran

Autokorelasi spasial adalah ukuran keterkaitan antara nilai suatu variabel dengan nilai variabel yang sama di lokasi yang berdekatan secara spasial. Autokorelasi spasial positif mengindikasikan bahwa nilai-nilai yang berdekatan cenderungSimilar, sedangkan autokorelasi spasial negatif mengindikasikan bahwa nilai-nilai yang berdekatan cenderung berbeda. Indeks Moran (Moran's I) adalah statistik yang umum digunakan untuk mengukur tingkat autokorelasi spasial suatu variabel. Indeks Moran berkisar antara -1 hingga +1, di mana nilai positif menunjukkan autokorelasi spasial positif, nilai negatif menunjukkan autokorelasi spasial negatif, dan nilai mendekati nol menunjukkan tidak adanya autokorelasi spasial.

E. Fungsi dan Interpretasi Moran Scatter Plot

Moran Scatter Plot adalah grafik yang memvisualisasikan hubungan antara nilai suatu variabel di suatu lokasi dengan nilai rata-rata variabel tersebut di lokasi-lokasi tetangganya. Grafik ini terdiri dari empat kuadran yang masing-masing merepresentasikan jenis asosiasi spasial yang berbeda:

1) Kuadran I (High-High): Lokasi dengan nilai tinggi yang dikelilingi oleh tetangga dengan nilai tinggi.
2) Kuadran II (Low-High): Lokasi dengan nilai rendah yang dikelilingi oleh tetangga dengan nilai tinggi.
3) Kuadran III (Low-Low): Lokasi dengan nilai rendah yang dikelilingi oleh tetangga dengan nilai rendah.
4) Kuadran IV (High-Low): Lokasi dengan nilai tinggi yang dikelilingi oleh tetangga dengan nilai rendah.

Dengan menganalisis distribusi titik-titik pada Moran Scatter Plot, kita dapat mengidentifikasi klaster spasial (High-High dan Low-Low) serta outlier spasial (High-Low dan Low-High).

F. Riwayat Aktivitas Seismik di Sumatera Utara

Wilayah Sumatera bagian Utara berada pada koordinat 0° hingga 4° Lintang Utara dan 96° hingga 101° Bujur Timur, dengan luas daratan mencapai sekitar 72.981,23 km². Pada tahun 2020, jumlah penduduk di provinsi ini tercatat sebanyak 15.136.522 jiwa, dengan tingkat kepadatan sekitar 207,40 jiwa per kilometer persegi. Tingginya jumlah populasi tersebut menjadikan wilayah ini perlu mendapatkan perhatian khusus dari pemerintah, terutama dalam upaya kesiapsiagaan dan penanganan terhadap potensi bencana gempa bumi.

Sumatera Utara memiliki sejarah panjang aktivitas seismik yang terkait dengan keberadaan sistem sesar aktif dan zona subduksi di wilayah tersebut. Beberapa gempa bumi besar telah terjadi di Sumatera Utara pada masa lalu, menyebabkan kerusakan dan kerugian jiwa yang signifikan. Pemahaman mengenai riwayat aktivitas seismik di wilayah ini penting untuk mengidentifikasi zona-zona rawan gempa dan mengembangkan strategi mitigasi yang tepat.

G. Tantangan dalam Penelitian Spasial Gempa

Penelitian spasial gempa menghadapi beberapa tantangan, antara lain:

1) Ketersediaan data yang akurat dan lengkap mengenai lokasi, magnitudo, dan waktu kejadian gempa.
2) Penentuan bobot spasial yang tepat untuk merepresentasikan hubungan ketetanggaan antar lokasi.
3) Pengaruh faktor-faktor lain seperti kondisi

3. RESEARCH METHOD

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini diklasifikasikan sebagai penelitian deskriptif kuantitatif dengan pendekatan analisis spasial. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis data numerik seperti magnitudo dan posisi geografis gempa, sementara pendekatan spasial bertujuan untuk mengeksplorasi dan memvisualisasikan pola persebaran kejadian gempa secara geografis. Melalui penerapan uji autokorelasi spasial global dan lokal (Moran's I dan LISA), penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan adanya hubungan spasial antara satu peristiwa gempa dengan peristiwa lainnya di wilayah Sumatera Utara selama tahun 2022. Dengan demikian, fokus utama dari penelitian ini adalah memahami pola distribusi gempa dan keterkaitannya secara spasial antarlokasi. Penelitian ini memanfaatkan data sekunder yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) melalui situs resminya di https://www.bmkg.go.id. Data yang digunakan berupa katalog kejadian gempa bumi sepanjang tahun 2022 yang terjadi di wilayah Sumatera Utara, meliputi informasi mengenai waktu kejadian, koordinat geografis (lintang dan bujur), kedalaman gempa, serta besaran magnitudo.

B. Alat Analisis

Analisis pada penelitian ini dilakukan menggunakan bahasa pemrograman R dan perangkat lunak QGIS sebagai perangkat utama dalam pemrosesan serta visualisasi data spasial. Dalam lingkungan R, digunakan beberapa paket pendukung, antara lain:

1) sp dan sf untuk manajemen dan pemrosesan data berbasis spasial,
2) spdep untuk melakukan analisis autokorelasi spasial, baik global maupun lokal,
3) GWmodel untuk perhitungan bobot spasial berbasis fungsi kernel adaptif,
4) ggplot2 sebagai alat bantu visualisasi data dalam bentuk grafik maupun peta tematik,
5) dan dplyr untuk kebutuhan manipulasi dan transformasi data.

Sementara itu, QGIS dimanfaatkan untuk tahap praproses data seperti pengecekan posisi geografis, konversi sistem koordinat, serta penampilan visual spasial.

Prosedur analisis utama mencakup:

1) Uji Autokorelasi Spasial Global menggunakan fungsi moran.test() untuk mengetahui apakah variabel magnitudo menunjukkan pola distribusi yang terstruktur secara spasial,
2) Uji Autokorelasi Spasial Lokal (LISA) melalui localmoran(), untuk mendeteksi keberadaan pengaruh spasial signifikan di tiap titik, yang selanjutnya dikelompokkan ke dalam kuadran High-High, Low-Low, High-Low, dan Low-High,
3) serta Moran Scatter Plot, yang digunakan untuk memvisualisasikan hubungan spasial antara nilai magnitudo suatu titik dengan rata-rata tetangganya dalam bentuk grafik kuadran.

C. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini mencakup beberapa langkah utama yang dimulai dari pengumpulan data hingga analisis spasial dan interpretasi hasil. Tahapan-tahapan tersebut dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

1) Pengumpulan Data

Peneliti mengunduh data katalog gempa bumi tahun 2022 untuk wilayah Sumatera Utara dari situs resmi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) di https://www.bmkg.go.id. Data yang dikumpulkan mencakup informasi tentang waktu kejadian, koordinat lokasi (lintang dan bujur), kedalaman, serta magnitudo gempa.

2) Pra-pemrosesan Data

Data yang diperoleh kemudian dibersihkan dan dipilih untuk memastikan hanya mencakup wilayah Sumatera Utara dan variabel yang relevan. Selanjutnya, data dikonversi ke format spasial menggunakan perangkat lunak QGIS dan diproses lebih lanjut dengan bahasa pemrograman R.

3) Pembentukan Matriks Bobot Spasial

Tahap ini bertujuan untuk menentukan hubungan spasial antar titik lokasi gempa. Tiga metode pembobotan yang digunakan adalah:

a) Invers jarak antar titik (1/distance)
b) K-Nearest Neighbor (KNN) dengan k = 5
c) Fungsi kernel Gaussian adaptif

Matriks bobot ini dibentuk menggunakan fungsi-fungsi yang terdapat dalam paket spdep dan GWmodel.

4) Uji Autokorelasi Spasial Global

Uji Moran's I dilakukan menggunakan fungsi moran.test() untuk memeriksa adanya pola autokorelasi spasial global pada variabel magnitudo. Nilai statistik Moran I dan p-value digunakan untuk menilai signifikansi hasilnya.

5) Uji Autokorelasi Spasial Lokal (LISA)

Analisis autokorelasi spasial lokal dilakukan dengan fungsi localmoran() untuk mendeteksi hubungan spasial di tingkat lokal. Hasil analisis ini digunakan untuk mengklasifikasikan titik-titik gempa ke dalam kuadran High-High, Low-Low, High-Low, dan Low-High.

6) Uji Signifikansi Lokal

Tiap titik dianalisis berdasarkan p-value yang dihasilkan dari LISA. Titik dengan p-value $\leqslant$ 0,05 dianggap signifikan secara spasial.

7) Visualisasi dan Interpretasi Hasil

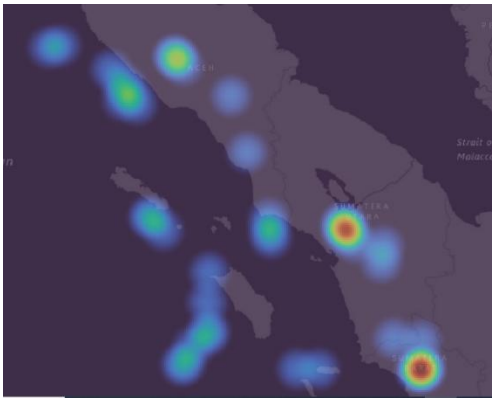
Hasil analisis divisualisasikan menggunakan ggplot2 dalam R untuk menghasilkan:

a) Moran Scatter Plot untuk melihat pola hubungan antara magnitudo dan tetangganya

b) Peta spasial tematik yang menggambarkan persebaran titik-titik gempa berdasarkan kategori kuadran dan tingkat signifikansi.

4. RESULTS AND DISCUSSION

A. Analisis Awal



Gambar 1. Tampilan Pada QGIS

```
dist_matrix <- as.matrix(dist(lonlat))

dist_matrix[dist_matrix == 0] <- .Machine$double.eps

w1 <- 1/dist_matrix

dlist1 <- mat2listw(w1, style = "W")
```

```
        Moran I test under normality

data:  data.mag
weights: dlist1

Moran I statistic standard deviate = 4.9566, p-value = 3.586e-07
alternative hypothesis: greater
sample estimates:
Moran I statistic       Expectation          Variance
       1.00000000       -0.02222222        0.04253218
```

Gambar 2. Pembobot 1/jarak

Kode tersebut digunakan untuk membentuk matriks bobot spasial berdasarkan kebalikan dari jarak antar koordinat lokasi gempa, yang kemudian digunakan dalam analisis Global Moran's I untuk mendeteksi adanya pola spasial. Hasil analisis menunjukkan nilai Moran's I sebesar 1.000 dengan deviasi standar 4.9566 dan p-value 3.586e-07, menandakan adanya autokorelasi spasial positif yang sangat kuat dan signifikan secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa gempa-gempa dengan magnitudo tinggi cenderung terjadi di lokasi-lokasi yang berdekatan, membentuk pola klaster dan tidak tersebar secara acak.

```
#pembobot kkn
k1 <- knn2nb(knearneigh(lonlat, k = 5))
w <- nb2mat(k1)
dlist1 =mat2listw(w,style="W")
```

```
        Moran I test under normality

data:  data.mag
weights: dlist1

Moran I statistic standard deviate = 0.83095, p-value = 0.203
alternative hypothesis: greater
sample estimates:
Moran I statistic       Expectation          Variance
      0.052124900      -0.022222222       0.008005248
```

Gambar 3. Pembobot KKN

Kode tersebut menggunakan metode pembobotan spasial berbasis k-nearest neighbors (KNN) dengan k = 5 untuk membentuk hubungan spasial antar lokasi gempa, yang kemudian dianalisis melalui uji Global Moran's I. Hasil analisis menunjukkan nilai Moran's I sebesar 0,0521 dengan deviasi standar 0,83095 dan p-value sebesar 0,203. Karena p-value lebih besar dari 0,05, dapat disimpulkan bahwa tidak ada autokorelasi spasial yang signifikan secara statistik. Dengan kata lain, tidak ditemukan bukti yang kuat bahwa magnitudo gempa memiliki pola spasial yang terklaster berdasarkan pendekatan KNN ini, sehingga distribusinya lebih bersifat acak.

```
w11<-gw.dist(dp.locat = lonlat)
w2 <- gw.weight(vdist = w11, bw = 2, kernel = "gaussian", adaptive = TRUE)
dlist1=mat2listw(w2,style="W")
```

```
        Moran I test under normality

data:  data.mag
weights: dlist1

Moran I statistic standard deviate = 4.4315, p-value = 4.679e-06
alternative hypothesis: greater
sample estimates:
Moran I statistic       Expectation          Variance
       0.49632801       -0.02222222        0.01369230
```

Gambar 4. Pembobot fungsi kernel

Berdasarkan hasil uji Moran's I pada data spasial data.mag, diperoleh nilai Moran's I sebesar 0,4963 dengan p-value 4,679e-06, yang jauh lebih kecil dari tingkat signifikansi 0,05. Ini mengindikasikan adanya autokorelasi spasial positif yang signifikan, yang berarti nilai-nilai pada lokasi yang berdekatan cenderung memiliki kesamaan. Nilai ekspektasi sebesar -0,0222 dan standar deviasi sebesar 4,4315 semakin memperkuat bahwa hasil ini bukanlah kebetulan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa terdapat pola spasial dalam data tersebut, yang tidak tersebar secara acak.

- Syntax untuk menampilkan hasil

```
moran.test(data.mag,dlist1,randomisation = F)
```

- Menampilkan Scatter Plot

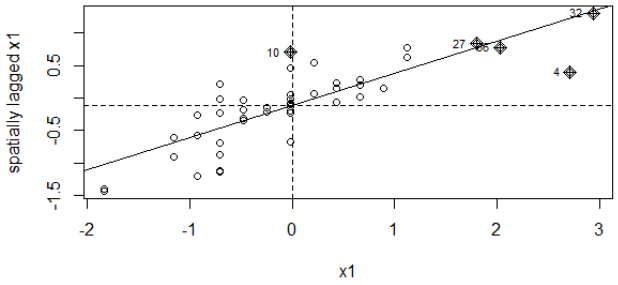
Dengan syntax R

```
#pemetaan moran
lmoran1 <- localmoran(data.mag,dlist1) %>% as.data.frame()
#
data$scale.data <- scale(data.mag) %>% as.vector()
#
data$lag.data <- lag.listw(dlist1, data$scale.data)
data$quad_sig <- NA
# high-high quadrant
data[(data$scale.data >= 0 &
      data$lag.data >= 0), "quad_sig"] <- "high-high"
#low-low quadrant
data[(data$scale.data <= 0 &
      data$lag.data <= 0), "quad_sig"] <- "low-low"
#high-low quadrant
data[(data$scale.data >= 0 &
      data$lag.data <= 0), "quad_sig"] <- "high-low"
#low-high quadrant
data[(data$scale.data <= 0 &
      data$lag.data >= 0), "quad_sig"] <- "low-high"
lmoran1$quad_sig=data$quad_sig
#moran scatterplot
x1 <- data$scale.data
moran.plot(x1,dlist1,labels = data$Sumut)
```

Gambar 5. Syntax hasil

	Ii	E.Ii	Var.Ii	Z.Ii	Pr(z != E(Ii))	quad_sig
1	-0.009269709	-8.867607e-06	1.274047e-04	-0.82046058	0.411953595	low-high
2	0.005514943	-9.951672e-03	1.004349e-01	0.04880373	0.961075711	high-high
3	-0.027317486	-4.291922e-03	3.511317e-02	-0.12287831	0.902203458	high-low
4	1.095597540	-1.664361e-01	9.594948e-01	1.28839678	0.197607878	high-high
5	0.002175440	-8.867607e-06	6.838835e-05	0.26413300	0.791677435	low-low
6	0.492374767	-1.117540e-02	1.279082e-01	1.40797060	0.159139776	low-low
7	0.716928601	-2.830762e-02	2.245408e-01	1.57270157	0.115787937	high-high
8	0.054154770	-1.385564e-03	1.789743e-02	0.41515774	0.678026433	low-low
9	0.875705574	-2.830762e-02	6.532888e-01	1.11846437	0.263368716	high-high
10	-0.014207616	-8.867607e-06	8.610054e-05	-1.53019623	0.125968163	low-high
11	0.164913396	-5.107741e-03	1.319706e-01	0.46801984	0.639770399	low-low
12	0.719528735	-3.034717e-02	3.108056e-01	1.34507022	0.178602560	low-low
13	0.553347216	-1.958854e-02	2.045044e-01	1.26693585	0.205178227	low-low
14	-0.150844244	-1.117540e-02	1.019768e-01	-0.43736982	0.661843169	low-high
15	0.000253547	-8.867607e-06	2.465606e-04	0.01671192	0.986666441	low-low
16	0.002869132	-8.867607e-06	9.870231e-05	0.28968575	0.772056661	low-low
17	0.114470121	-9.776536e-04	2.290317e-02	0.76284752	0.445554340	high-high
18	0.255794781	-1.958854e-02	4.174229e-01	0.42623540	0.669936325	low-low
19	2.645687081	-7.669593e-02	1.691603e+00	2.09314854	0.036335897	low-low
20	0.087721999	-5.107741e-03	6.854542e-02	0.35456669	0.722914238	low-low
21	0.102577678	-4.291922e-03	1.162025e-01	0.31350637	0.753895979	high-high
22	0.013569048	-8.867607e-06	1.265944e-04	1.20677390	0.227519229	low-low
23	0.003886435	-8.867607e-06	2.112459e-04	0.26800757	0.788693490	low-low
24	0.810403477	-1.117540e-02	2.639552e-01	1.59913142	0.109791404	low-low
25	0.801383841	-1.117540e-02	2.668085e-01	1.57309603	0.115696585	low-low
26	0.065250196	-4.291922e-03	1.147430e-01	0.20529801	0.837339301	high-high
27	1.530967777	-7.343265e-02	1.041947e+00	1.57177326	0.116003146	high-high
28	0.004653533	-8.867607e-06	1.243964e-04	0.41802838	0.675926364	low-low
29	0.015097232	-9.776536e-04	2.091574e-02	0.11115045	0.911497040	high-high
30	1.077450933	-3.034717e-02	2.461963e-01	2.23264600	0.025572298	low-low
31	0.623798069	-1.117540e-02	9.231347e-02	2.08988815	0.036627848	low-low
32	3.902106842	-1.955507e-01	2.034261e+00	2.87297828	0.004066221	high-high

Gambar 6. Output Inmoran1



Gambar 7. Output scatter plot

Grafik di atas merupakan Moran Scatterplot yang memperlihatkan keterkaitan antara nilai variabel x1 dengan rata-rata nilai tetangganya (spatially lagged x1). Garis regresi yang terlihat menandakan adanya hubungan positif antara keduanya, yang sejalan dengan hasil uji Moran's I dan mengindikasikan autokorelasi spasial positif dalam data. Penyebaran titik-titik pada keempat kuadran menunjukkan variasi pola spasial, namun dominasi di kuadran I dan III mengisyaratkan bahwa lokasi-lokasi dengan nilai tinggi cenderung berdekatan dengan lokasi bernilai tinggi lainnya, dan sebaliknya untuk nilai rendah.

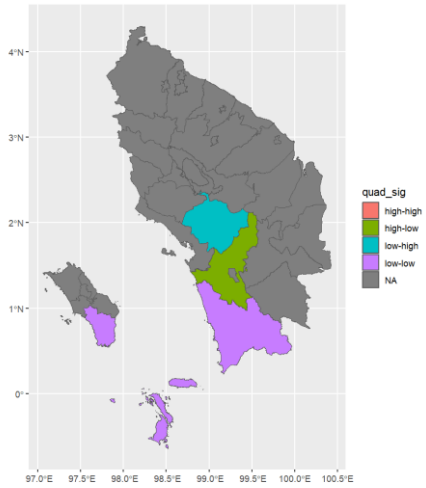
Syntax R

```
#pemetaan
library(ggplot2)
shp.negara=read_sf("inidia")


library(dplyr)
data_sf <- st_as_sf(data, coords = c("lon", "lat"), crs = st_crs(shp.negara))
gabung.negara <- st_join(shp.negara, data_sf)

plot.negara.2022 = ggplot(data=gabung.negara) +
  geom_sf(mapping = aes(fill = quad_sig))
  geom_sf_text(aes(label = Kabupaten), size = 3)
  scale_fill_manual(values = c("red", "green", "yellow"))
  labs(fill="category")
plot.negara.2022
maka Output:
```

Gambar 8. Syntax R pemetaan scatter plot



Gambar 9. Syntax R pemetaan scatter plot

Peta tersebut menampilkan hasil analisis Local Indicators of Spatial Association (LISA) yang memetakan pola spasial lokal berdasarkan klasifikasi quad_sig. Setiap warna merepresentasikan jenis klaster yang berbeda: wilayah berwarna cyan menunjukkan area dengan nilai rendah yang berada di antara area bernilai tinggi (low-high), sedangkan wilayah hijau menggambarkan area dengan nilai tinggi yang dikelilingi oleh area bernilai rendah (high-low). Sementara itu, warna ungu mengindikasikan adanya klaster nilai rendah yang berdekatan satu sama lain (low-low). Mayoritas wilayah tampak berwarna abu-abu, yang berarti tidak menunjukkan signifikansi spasial lokal dan tidak termasuk dalam kategori klaster tertentu. Visualisasi ini berguna untuk mengidentifikasi area yang berpotensi menjadi pusat perhatian (hotspot) atau penyimpangan (outlier) spasial, yang relevan dalam perumusan kebijakan wilayah.

5. CONCLUSION

Melalui analisis spasial terhadap data katalog gempa tahun 2022 di wilayah Sumatera Utara dengan penerapan berbagai metode pembobotan spasial seperti invers jarak, K-Nearest Neighbors, dan fungsi kernel Gaussian, ditemukan adanya autokorelasi spasial global yang signifikan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai Moran's I sebesar 0.4963 dengan p-value yang sangat rendah, menandakan bahwa lokasi-lokasi gempa dengan magnitudo serupa cenderung berkelompok secara geografis baik itu kelompok dengan magnitudo tinggi maupun rendah. Hasil ini diperkuat oleh Moran Scatterplot, yang memperlihatkan dominasi titik-titik pada kuadran high-high dan low-low, mencerminkan adanya keteraturan spasial. Sementara itu, analisis LISA (Local Indicators of Spatial Association) menunjukkan bahwa tidak terdapat autokorelasi spasial yang signifikan secara lokal, karena hampir seluruh titik observasi diklasifikasikan sebagai "tidak signifikan". Pemetaan LISA mengungkapkan sejumlah kecil klaster seperti low-high, high-low, dan low-low, meskipun mayoritas wilayah tidak menunjukkan kekuatan spasial lokal yang mencolok. Dengan demikian, meskipun terdapat pola spasial secara umum, kekuatan tersebut tidak merata di setiap lokasi. Temuan ini sangat berguna dalam memahami distribusi geografis gempa dan dapat dijadikan dasar awal dalam merumuskan kebijakan mitigasi bencana yang berbasis wilayah.

REFERENCES

Amin, D. A., Sholawati, A., Riswanti, N., & Irsyad, A. (2023). Aplikasi sistem informasi geografis dalam pemetaan rumah sakit Saskatchewan, Kanada. *Kreatif Teknologi dan Sistem Informasi (KRETISI)*, *1*(1), 23–25.

Amri, M. A., Rahmawan, S., Nuryana, S. D., Assegaf, A., Adhitama, R., Setyorini, D. A., & Herdiansyah, F. (2022). Sosialisasi mitigasi bencana geologi kepada masyarakat Sekolah Dasar Islam Ay-Yusufiah, Banten. *Jurnal AKAL: Abdimas dan Kearifan Lokal*, *3*(2), 182–192. https://doi.org/10.25105/akal.v3i2.13880

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2022). *Katalog gempa Indonesia tahun 2022*.

Kurnia, A. (2019). *Analisis spasial untuk statistik dengan R*. Deepublish.

Lubis, L. H., Ayundita, A. A., Sari, N., & Wardono, W. (2022). Aktivitas seismisitas di wilayah Sumatera bagian utara menggunakan Arc-GIS periode 2020–2021. *Jurnal Kumparan Fisika*, *5*(2), 91–98.

Mailanda, R., Kusnandar, D., & Huda, N. A. M. (2022). Analisis autokorelasi spasial kasus positif Covid-19 menggunakan Indeks Moran dan LISA. *Bimaster: Buletin Ilmiah Matematika, Statistika dan Terapannya*, *11*(3).

QGIS Development Team. (2024). *QGIS geographic information system*. Open Source Geospatial Foundation Project.

R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.

Septiana, T., Ramadhan, F. A. S., Muda, M. A., & Larasati, A. (2024). Sistem informasi geografis dalam pemetaan risiko bencana di sekitar Selat Sunda / Geographic information systems in disaster risk mapping around the Sunda Strait. *Inovasi Pembangunan: Jurnal Kelitbangan*, *12*(2), 141-152.

Sukarna, S., & Sanusi, W. (2019). Analisis Moran's I, Geary's C, dan Getis-Ord G pada penerapan jumlah penderita kusta di Kabupaten Gowa. *Journal of Mathematics, Computations, and Statistics*, *2*(2), 151–163.

Susilo, B., Afani, M. R., & Hidayah, S. I. (2021). Integrasi analisis spasial dan statistik untuk identifikasi pola dan faktor determinan perkembangan Kota Yogyakarta. *Majalah Geografi Indonesia*, *35*(2), 156–162.

Sutadiwja, Y., Ronoatmojo, I. S., Triany, N., Nugroho, B., & Mahendra, M. Y. I. (2022). Pengenalan ilmu kebumian dan potensi serta mitigasi bencana geologi di daerah Jakarta. *Jurnal AKAL: Abdimas dan Kearifan Lokal*, *3*(2), 122–140.

Zhou, Q., & Wu, J. (2018). Spatial autocorrelation analysis of ecological indicators in a GIS environment: A case study in China's ecoregions. *Ecological Indicators*, *93*, 1044–1056.