

Cluster Analysis of Earthquakes on the Island of Sumatera in 2024 Using the DBSCAN Method

Zahrani Asyati Zulika, dan Yenni Kurniawati*

Departemen Statistika, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia

*Corresponding author: yennikurniawati@fmipa.unp.ac.id

Submitted : 20 Januari 2026

Revised : 02 Februari 2026

Accepted : 03 Februari 2026

ABSTRACT

Earthquakes are one of the most destructive and unpredictable natural disasters. Sumatera Island, being located along the Semangko Fault, typically experiences seismic movement due to contact between the Indo-Australian plate and the Eurasian plate. In this study, the DBSCAN method classifies earthquake incidents in Sumatera in 2024 into magnitude and depth categories. The data set, collected by the Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency (BMKG), includes 163 earthquake events that occurred in Sumatera Island during 2024. The clustering process identified two main clusters: one representing deep earthquakes in inland areas and another consisting of shallow earthquakes along the western offshore region, near the megathrust zone. The Silhouette Coefficient was used to verify the clustering outcome, and the result was 0,58, which verifies a good formation of clusters. These findings provide insights into seismic patterns in Sumatera and can support disaster mitigation efforts.

Keywords: DBSCAN, Earthquake Clustering, Sumatera, Silhouette Coefficient.



This is an open access article under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2022 by author and Universitas Negeri Padang.

I. PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah suatu peristiwa dimana lapisan batu di permukaan bumi bergerak atau berpindah secara tiba-tiba yang disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik atau aktivitas vulkanik. Indonesia terletak di kawasan yang dikenal sebagai Cincin Api Pasifik yang merupakan jalur seismik aktif di dunia. Negara ini dikelilingi oleh tiga lempeng tektonik yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Pasifik. Lempeng Eurasia dan Australia bertumbukan di lepas pantai barat Pulau Sumatera, lepas pantai selatan pulau Jawa, lepas pantai selatan kepulauan Nusantara, dan mengarah ke utara menuju perairan Maluku bagian selatan. Antara lempeng Australia dan Pasifik terjadi tumbukan di sekitar Pulau Papua. Sedangkan tempat di mana pertemuan ketiga lempeng itu terjadi di sekitar Sulawesi. Karena itu sebabnya mengapa pulau-pulau di sekitar pertemuan ketiga lempeng ini sering terjadi gempa bumi. Keberadaan lempeng-lempeng tersebut membuat Indonesia sering mengalami gempa bumi yang berpotensi merusak bangunan akibat getaran tanah. Korban jiwa umumnya terjadi akibat tertimpa puing-puing bangunan, tanah longsor, dan kebakaran. Jika sumber gempa bumi berada di dasar laut, maka dapat memicu gelombang tsunami (Murtianto, 2016).

Pulau Sumatera adalah pulau yang besar di Indonesia. Pulau ini juga termasuk dalam daerah yang sering mengalami aktivitas tektonik aktif di dunia. Menurut kementerian ESDM, enam dari dua puluh lima daerah yang rawan terjadi gempa di Indonesia terletak di Pulau Sumatera diantaranya yaitu Aceh, Jambi, Bengkulu, Lampung, Sumatera Barat, dan Sumatera Utara. Tingginya risiko gempa bumi di pulau ini dipengaruhi oleh kondisi geografisnya, di mana sepanjang pulau Sumatera dilalui oleh sesar aktif, jalur gunung berapi, dan zona subduksi (Metrikasari & Choiruddin, 2021). Aktivitas seismo-tektonik zona subduksi *megathrust* menghasilkan tekanan tektonik selama waktu geologis yang dikelola oleh Sesar Mentawai sebagai bagian dari zona seismik aktif busur depan dan Sesar Besar yang melintang dengan Palung Sumatera serta pegunungan Bukit Barisan. Ketiga struktur geologi ini (zona subduksi, busur depan, dan Sesar Besar Sumatera) adalah sumber potensial pemicu bahaya bencana geologi (gempa bumi dan tsunami) yang mengancam dari utara sampai selatan Pulau Sumatera. Oleh karena itu, pemantauan dan analisis gempa bumi di Pulau Sumatera sangat penting untuk mitigasi risiko (Sari & Prastowo, 2022)

Salah satu tantangan utama dalam analisis gempa bumi modern adalah mengelola dan menafsirkan data gempa yang besar dan kompleks, yang terus bertambah seiring kemajuan teknologi pencatatan seismik. Oleh karena itu,

dibutuhkan pendekatan komputasi dan metode analitik seperti *clustering* untuk mengidentifikasi pola tersembunyi dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat dalam mitigasi risiko gempa (Mauluda dkk., 2025). Metode DBSCAN (*Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise*) merupakan algoritma yang masuk dalam kategori *density-based clustering*, yaitu proses pembentukan kluster dilakukan berdasarkan tingkat kedekatan/kepadatan jarak antar objek dalam dataset tersebut (Rahman & Wijayanto, 2021). Hal ini memungkinkan identifikasi area dengan kepadatan gempa yang tinggi serta deteksi titik-titik gempa yang tidak biasa, atau disebut pencilan (*outlier*). Metode ini memungkinkan peneliti untuk menemukan kelompok-kelompok yang mungkin terlewatkan dengan metode pengelompokan lain, seperti metode K-Means.

Studi sebelumnya oleh Arafat dkk (2023) membahas penerapan algoritma pengelompokan DBSCAN untuk menganalisis data seismik dari wilayah tektonik aktif Jawa Tengah, Yogyakarta, dan Jawa Timur, dengan fokus pada kejadian gempa bumi dari tahun 2017 hingga 2021. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa DBSCAN secara efektif mengidentifikasi antara 2 hingga 6 kluster dan satu titik *noise*, dengan nilai *silhouette coefficient* maksimum 0,499 untuk tahun 2020. Penelitian oleh Hidayati dkk (2022) mengevaluasi empat metode pengelompokan K-Means, Fuzzy C-Means, Fuzzy Gustafson Kessel, dan DBSCAN untuk mengklasifikasikan desa-desa di Surabaya, berdasarkan indikator kemiskinan. Temuan utama mengungkapkan bahwa K-Means berkinerja terbaik dalam hal jumlah kuadrat dalam kluster, sementara DBSCAN unggul dalam pemisahan kluster, ditunjukkan oleh nilai *silhouette coefficient* tertinggi yaitu 0.454

Pengelompokan data gempa bumi di Pulau Sumatera menggunakan metode DBSCAN dapat membantu dalam memahami pola distribusi dan karakteristik kejadian gempa. Penelitian ini akan mengelompokkan data titik lokasi kejadian gempa ke dalam beberapa cluster. Metode untuk menguji validitas hasil kluster adalah dengan menggunakan *Silhouette Coefficient*. Dengan mengidentifikasi kluster gempa bumi, peneliti dan pihak berwenang dapat mengembangkan strategi mitigasi yang lebih efektif dan tepat untuk mengurangi risiko bencana gempa bumi di Pulau Sumatera.

II. METODE PENELITIAN

Algoritma DBSCAN adalah metode klusterisasi yang dikembangkan berdasarkan kepadatan data (*density-based*). Konsep kepadatan ini membagi data ke dalam 3 kategori yaitu inti (*core*), batas (*border*) dan *noise*. Algoritma ini membentuk kluster dengan cara mengidentifikasi dan memperluas area yang memiliki tingkat kepadatan tinggi. Proses ini bergantung pada dua parameter utama yaitu radius pencarian yang ditunjukkan sebagai input disebut sebagai epsilon (ϵ) dan jumlah minimum objek dalam satu kluster disebut MinPts, akan menjadi batas kepadatan untuk menentukan apakah suatu area termasuk tingkat yang dianggap padat atau tidak (Taufiq dkk., 2024).

A. Jenis Penelitian dan Sumber Data

Penelitian dilakukan bersifat penelitian terapan. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari website resmi Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Indonesia. Data dalam penelitian mencakup informasi titik gempa bumi di seluruh Pulau Sumatera berjumlah 163 kejadian selama tahun 2024. Adapun atribut dalam data ini adalah kedalaman, magnitudo dan titik koordinat (latitude dan longitude). Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah kedalaman dan magnitudo gempa bumi dengan magnitudo $\geq 4,0$ Skala Richter (SR). Gempa bumi dengan magnitudo $\leq 4,0$ SR tidak dilakukan analisis karena peristiwa dengan magnitudo kecil tersebut umumnya menghasilkan getaran yang lemah dan kurang signifikan secara seismik. Dengan membatasi magnitudo minimum $\geq 4,0$ SR, analisis lebih fokus pada kejadian gempa yang memiliki dampak geodinamik yang jelas dan relevan terhadap pola seismik wilayah penelitian.

B. Teknik Analisis Data

Penelitian dilakukan menggunakan bantuan software Rstudio 4.3.1.

1. Eksplorasi data menggunakan boxplot untuk mendeteksi *outlier* pada data.
2. *Preprocessing data*. Untuk menghindari interaksi antara variabel, proses standarisasi perlu dilakukan dalam analisis kluster. Metode standarisasi yang paling umum digunakan yaitu mengkonversi setiap variabel menjadi nilai standar atau disebut *z-score* (Luthfiah dkk, 2025). Menurut Kaufman & Rousseeuw (2005), Rumus untuk standarisasi data dapat dilihat pada Persamaan (1).

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (1)$$

dengan:

z_i : Nilai standarisasi amatan ke- i

- x_i : Data ke-i
 $\bar{x}$: Rataan data
 s : Simpangan baku
3. Melakukan analisis kluster menggunakan metode DBSCAN. Adapun algoritma DBSCAN adalah sebagai berikut.
 - a. Inisiasi nilai parameter yang dibutuhkan dalam pengelompokan menggunakan metode DBSCAN yaitu minimum points (MinPts) dan epsilon (ϵ). MinPts adalah jumlah minimum titik data yang berada dalam radius yang telah ditentukan (epsilon). Sedangkan parameter epsilon (ϵ) adalah jarak maksimum antar objek yang menjadi dasar pembentukan suatu kluster. Menurut Nasution & Rakhmawati (2023), Penentuan nilai parameter epsilon pada metode DBSCAN diperoleh dengan menggunakan *k-dist graph*. Pada *k-dist graph* akan dilakukan perhitungan jarak antar setiap objek dan *k-neighborhood*, dimana nilai k yang akan digunakan akan bernilai sama dengan nilai MinPts yang digunakan. Kemudian jarak k yang diperoleh akan diplotkan dalam urutan menaik pada grafik *k-dist*. Untuk nilai epsilon yang akan digunakan dipilih berdasarkan kelengkungan maksimum (kemiringan terbesar pada grafik).
 - b. Menentukan objek x_{ik} atau titik awal secara acak.
 - c. Menghitung jarak setiap objek terhadap titik x_{ik} dan menentukan objek yang *density-reachable* terhadap objek x_{ik} dengan menggunakan perhitungan jarak *Euclidean*. Sebagai contoh, terdapat nilai dua amatan pada variabel ke-i yaitu x_{ik} dan x_{jk} , maka untuk menghitung jarak dengan menggunakan perhitungan jarak *Euclidean* bagi kedua amatan tersebut dapat dinyatakan pada Persamaan (2) (Kaufman & Rousseeuw, 2005).

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (2)$$

dengan:

d_{ij} : Jarak *Euclidean* antar objek ke-i dengan objek ke-j

x_{ik} : Objek ke-i pada variabel ke-k

x_{jk} : Objek ke-j pada variabel ke-k

i, j : 1, 2, ..., n; $i \neq j$

k : 1, 2, ..., p

- d. Melakukan klusterisasi menggunakan nilai MinPts dan epsilon (ϵ) sebagai parameter input.
4. Melakukan uji validasi kluster menggunakan *Silhouette Coefficient*. Kaufman & Rousseeuw (2005) menyatakan bahwa Untuk memperoleh nilai *silhouette coefficient* dapat menggunakan Persamaan (3).

$$s(i) = \frac{(b(i) - a(i))}{\max\{a(i), b(i)\}} \quad (3)$$

dengan:

$s(i)$: nilai *Silhouette Coefficient*

$a(i)$: rata-rata jarak antara titik i dengan seluruh titik dalam A (kluster dimana titik i berada)

$b(i)$: rata-rata jarak antara titik i ke seluruh titik dalam kluster selain A

Kriteria pengukuran pengelompokan berdasarkan *silhouette coefficient* dapat dilihat pada Tabel 1.

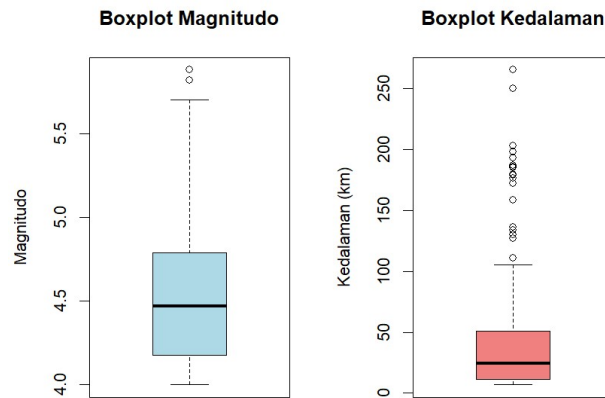
Tabel 1. Kriteria *Silhouette Coefficient*

<i>Silhouette Coefficient</i>	Kategori
$0,7 < SC \leq 1$	Struktur kluster kuat
$0,5 < SC \leq 0,7$	Struktur kluster baik
$0,25 < SC \leq 0,5$	Struktur kluster lemah
$SC \leq 0,25$	Struktur kluster buruk

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Deteksi Pencilan

Eksplorasi data yang berkaitan dengan pendeteksian *outlier* merupakan tahapan awal yang dilakukan sebelum analisis. Hasil pendeteksian *outlier* ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Boxplot Data

Berdasarkan gambar 1, analisis deskriptif menggunakan boxplot menunjukkan bahwa nilai magnitudo memiliki distribusi yang relatif homogen dengan median kekuatan gempa sekitar 4,5 SR. Rentang antar-kuartil (Q1–Q3) berada pada kisaran 4,3–4,8, menandakan bahwa sebagian besar gempa tergolong berkekuatan ringan hingga sedang. Beberapa outlier di atas nilai 5,0 SR menunjukkan adanya kejadian gempa dengan kekuatan yang lebih besar. Sementara itu, variabel kedalaman memperlihatkan sebaran yang lebih bervariasi dengan median kedalaman gempa berada kisaran 30 km dan rentang antar-kuartil pada 15–60 km. Mayoritas gempa tergolong tingkat dangkal, tetapi ditemukan sejumlah outlier dengan kedalaman melebihi 100 km, mengindikasikan adanya aktivitas gempa menengah hingga dalam. Dapat dilihat bahwa variabel kedalaman dan magnitudo memuat *outlier* yang ditandai oleh nilai yang berada diluar batas kuartil boxplot. Sehingga dengan demikian diperlukan metode kluster yang cocok digunakan dalam kondisi data yang memuat *outlier*. Adapun metode kluster yang digunakan dalam hal ini adalah metode DBSCAN. Algoritma DBSCAN merupakan salah satu metode yang efektif karena dalam menangani *outlier*, dengan mengidentifikasi area dengan kepadatan tinggi sebagai kluster, sementara titik data di area dengan kepadatan rendah dianggap sebagai *outlier* (Mahardika, 2024).

B. Standarisasi Data

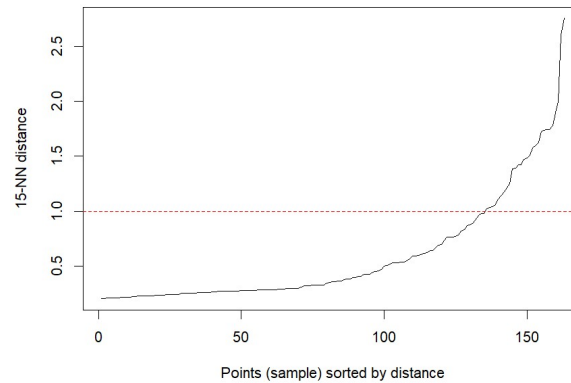
Variabel magnitudo biasanya dinyatakan dalam skala logaritmik berdasarkan kekuatan energi seismik. Sedangkan variabel kedalaman diukur dalam satuan kilometer (km). Perbedaan satuan ini menciptakan perbedaan skala data yang signifikan antara kedua variabel. Penerapan standarisasi data menjadi langkah penting dalam proses pra-pemrosesan (*preprocessing*). Melalui standarisasi, variabel magnitudo dan kedalaman diubah ke dalam skala yang sama, dengan mengonversi nilai asli menjadi skor baku (*z-score*) pada persamaan (1), yaitu nilai dengan nilai *mean* 0 dan simpangan baku 1. Dengan demikian, baik magnitudo maupun kedalaman memiliki pengaruh yang setara dalam proses pengelompokan, sehingga hasil klasterisasi yang diperoleh dari DBSCAN lebih representatif terhadap variasi nyata antar kejadian gempa. Hasil dari standarisasi data gempa dalam penelitian ini ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Standarisasi Data

Titik Lokasi Kejadian	Kedalaman	Magnitudo
1	-1,146	-0,470
2	-1,193	-0,635
3	-0,127	-0,671
4	1,294	-0,315
5	1,768	-0,671
⋮	⋮	⋮
163	0,773	-0,086

C. Klasterisasi Menggunakan DBSCAN

Pada penelitian ini, nilai ε yang akan digunakan dalam analisis ditentukan dengan menggunakan kemiringan pada *k-dist graph* yang dihasilkan dengan memilih nilai MinPts = 15 seperti yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. *K-Dist Graph*

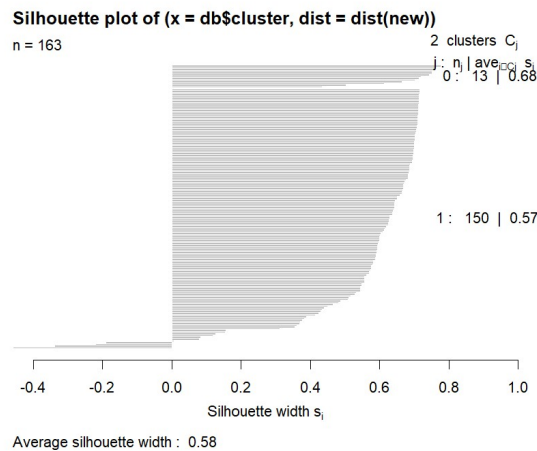
Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa jarak antar titik pada relatif kecil dan meningkat perlahan. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar titik data memiliki tetangga terdekat dalam jarak yang pendek mengindikasikan daerah dengan kepadatan tinggi (klaster). Namun, setelah melewati titik jarak 1, kurva mulai meningkat. Kenaikan yang signifikan ini menunjukkan adanya peralihan dari daerah padat ke daerah jarang yaitu batas antara anggota klaster dan *noise/outlier*. Berdasarkan hal ini, maka nilai ε yang akan digunakan dalam membentuk klaster adalah 1.

Setelah menentukan nilai parameter MinPts dan ε , tahapan selanjutnya adalah menentukan objek awal secara acak serta menghitung jarak objek awal tersebut terhadap setiap objek lainnya pada data dengan menggunakan jarak *Euclidean* pada Persamaan (2). Metode DBSCAN melakukan pengelompokan secara iteratif, dimana ketika seluruh objek telah diproses, maka proses pengelompokan akan berakhir. Hasil klastering dengan metode DBSCAN ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Klaster Menggunakan DBSCAN

Klaster	Jumlah Titik Gempa
Klaster 0	13
Klaster 1	150

Berdasarkan Tabel 3, metode DBSCAN menghasilkan dua bentuk klaster yaitu klaster 0 dan klaster 1. Klaster 0 merupakan klaster dengan kategori *noise*. Klaster ini terbentuk karena objek tidak memenuhi *minimum points* yang telah ditetapkan. Sedangkan klaster 1 merupakan hasil pengelompokan titik objek yang berhasil memenuhi *minimum points* yang telah ditetapkan. Pengelompokan menggunakan metode DBSCAN menghasilkan struktur klaster yang baik, hal ini ditunjukkan oleh nilai *silhouette coefficient* yang didapat menggunakan persamaan (3). Nilai *silhouette coefficient* yang diperoleh pada metode DBSCAN ini yaitu sebesar 0,58. Nilai *silhouette coefficient* juga dapat dilihat berdasarkan Gambar 3 berikut.



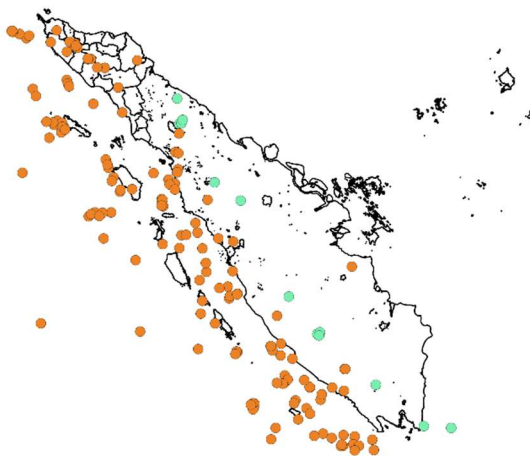
Gambar 3. Nilai *Silhouette Coefficient*

Gambar 3 diatas menampilkan plot *silhouette coefficient* klaster dari metode DBSCAN. Adapun hasil nilai *silhouette coefficient* pada gambar 3 dapat dirinci ke dalam tabel 4 berikut. Tabel 4 menampilkan nilai *silhouette coefficient* untuk masing-masing klaster.

Tabel 4. Nilai *Silhouette Coefficient* Klaster

Klaster	<i>Silhouette Coefficient</i>
0	0,68
1	0,57

Berdasarkan Tabel 4, diperoleh nilai *silhouette coefficient* sebesar 0,68 untuk klaster 0 dan 0,57 untuk klaster 1. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kedua klaster yang terbentuk memiliki struktur yang baik dan terdefinisi jelas, dengan tingkat kepadatan yang tinggi dan keterpisahan antar-klaster yang cukup signifikan. Klaster 0 memiliki nilai *silhouette coefficient* lebih tinggi menunjukkan bahwa klaster ini lebih homogen, di mana anggota-anggota klaster memiliki karakteristik magnitudo dan kedalaman yang relatif serupa serta jauh dari klaster lain. Sementara itu, nilai *silhouette coefficient* pada klaster 1 mengindikasikan bahwa terdapat sebagian titik data yang berada di batas antar-klaster atau memiliki kedekatan karakteristik dengan anggota klaster lain. Secara umum nilai *silhouette coefficient* secara keseluruhan yaitu sebesar 0,58 menandakan bahwa hasil pengelompokan dengan metode DBSCAN menghasilkan struktur klaster yang valid dan reliabel.



Gambar 4. Peta Sebaran Klaster

Berdasarkan peta sebaran klaster pada Gambar 4, terlihat bahwa klaster 1 (*orange*) mendominasi sebagian besar wilayah penelitian, terutama di sepanjang zona barat Pulau Sumatera yang berdekatan dengan zona subduksi lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Persebaran yang padat di wilayah ini menunjukkan bahwa aktivitas gempa bumi banyak terjadi pada area yang memiliki intensitas seismik tinggi. Klaster ini mencerminkan kelompok kejadian gempa yang memiliki karakteristik magnitudo menengah dan kedalaman relatif dangkal, sebagaimana teridentifikasi dalam analisis deskriptif sebelumnya. Sementara itu, klaster 0 (*green*) tersebar secara meluas dan berjumlah lebih sedikit, dengan lokasi cenderung berada di bagian tengah dan timur Pulau Sumatera. Pola sebaran ini menunjukkan bahwa klaster 0 merepresentasikan kejadian gempa dengan frekuensi lebih rendah dan bervariasi. Pola ini menunjukkan bahwa klaster 0 dapat dikaitkan dengan aktivitas seismik yang tidak langsung berhubungan dengan zona subduksi utama.

Pola klasterisasi ini mencerminkan dinamika tektonik di Sumatera, di mana zona subduksi menghasilkan gempa bumi dalam (Klaster 0) di daratan. Sementara zona megathrust menghasilkan gempa bumi dangkal (Klaster 1) di sekitar wilayah lepas pantai. Wilayah ini memiliki potensi gempa besar dan tsunami, terutama dari gempa dangkal di sepanjang zona megathrust. Pola ini dapat dilihat berdasarkan karakteristik masing-masing klaster yang ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik Klaster

No	Variabel	Klaster 0	Klaster 1
1	Kedalaman (km)	195	32,5
2	Magnitudo (SR)	4,29	4,57

Berdasarkan Tabel 5, klaster 0 memiliki rata-rata kedalaman sebesar 195 km dan magnitudo 4,29 SR. Nilai kedalaman yang tinggi menunjukkan bahwa kelompok gempa pada klaster ini tergolong dalam gempa menengah hingga dalam. Gempa jenis ini umumnya terjadi di bawah zona subduksi akibat aktivitas pergeseran lempeng pada kedalaman yang cukup jauh dari permukaan bumi. Meskipun kedalaman gempanya besar, magnitudo yang relatif kecil menunjukkan bahwa energi yang dirasakan di permukaan cenderung lebih lemah. Hal ini konsisten dengan sifat umum gempa dalam yang energinya terdisipasi sebelum mencapai permukaan.

Sementara itu, klaster 1 menunjukkan rata-rata kedalaman 32,5 km dan magnitudo 4,57 SR, menunjukkan klaster ini didominasi oleh gempa dangkal dengan magnitudo sedang. Gempa dangkal umumnya terjadi di dekat permukaan kerak bumi, terutama pada zona patahan aktif seperti Patahan Sumatera dan tepi zona subduksi Indo-Australia-Eurasia di bagian barat Sumatera. Karena kedalaman gempa yang dangkal, klaster ini memiliki potensi dampak kerusakan yang lebih besar meskipun magnitudonya tidak jauh berbeda dengan klaster 0.

IV. KESIMPULAN

Penelitian analisis klaster gempa di Pulau Sumatera tahun 2024 menggunakan metode DBSCAN menghasilkan 2 wilayah klaster. Setiap klaster yang terbentuk adalah berdasarkan magnitudo dan kedalaman gempa dengan hasil karakteristik yang berbeda. Klaster 0 menghasilkan 13 titik kejadian gempa bumi dalam di sekitar wilayah daratan, sedangkan klaster 1 menghasilkan 150 titik kejadian gempa bumi dangkal di sekitar wilayah lepas pantai. Klasterisasi menggunakan DBSCAN menghasilkan nilai *silhouette coefficient* sebesar 0,58, artinya struktur klaster yang terbentuk pada penelitian ini baik. Analisis klaster gempa bumi penting dilakukan untuk memetakan zona rawan gempa bumi suatu wilayah untuk dapat dilihat dari sebaran gempa bumi yang ada. Penulis menyarankan untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan penelitian lanjutan, menambahkan jumlah data atau variabel yang digunakan dengan harapan dapat menambah nilai akurasi dan ketepatan lebih tinggi dari klaster yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arafat, I. B. F., Hariyadi, M. A., Santoso, I. B., & Crysdiyan, C. (2023). Clustering Gempabumi di Wilayah Regional VII Menggunakan Pendekatan DBSCAN. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer (JTIK)*, 10(4), 823–830. <https://doi.org/10.25126/jtiik.20241046918>
- Hidayati, S., Darmaliana, A. T., & Riski, R. (2022). Comparison of K-Means, Fuzzy C-Means, Fuzzy Gustafson

- Kessel, and DBSCAN for Village Grouping in Surabaya Based on Poverty Indicators. *Jurnal Pendidikan Matematika (Kudus)*, 5(2), 185. <https://doi.org/10.21043/jpmk.v5i2.16552>
- Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (2005). Finding Groups In Data (An Introduction to Cluster Analysis). In *A John Wiley & Sons, Inc.*
- Luthfiyah, F., Amelia, R., & Fahria, I. (2025). Analisis Cluster Wilayah Kecamatan Berdasarkan Faktor Penyebab Stunting Di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *MATH Unesa, Jurnal Ilmiah Matematika*, 13(02), 124–136.
- Mahardika, G. (2024). Clustering Data Sensor IOT Dengan Algoritma DBSCAN. *Duniadata.Org*, 1(5), 1–16.
- Mauluda, A. D., Kuncoro, A. K., & Aningsih, S. (2025). Analisis Pengelompokan Gempa Bumi Di Sumatra Indonesia Menggunakan Metode K-Means, DBSCAN, Agglomerative Clustering, dan Mean Shift. *JoP*, 10(3), 75–86.
- Metrikasari, R., & Choiruddin, A. (2021). Pemodelan Risiko Gempa Bumi di Pulau Sumatera Menggunakan Model Inhomogeneous Neyman-Scott Cox Process. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 9(2). <https://doi.org/10.12962/j23373520.v9i2.52318>
- Murtianto, H. (2016). Potensi Kerusakan Gempa Bumi Akibat Pergerakan Patahan Sumatera Di Sumatera Barat Dan Sekitarnya. *Jurnal Geografi Gea*, 10(1). <https://doi.org/10.17509/gea.v10i1.1667>
- Nasution, N., & Rakhmawati, F. (2023). Segmentasi Pengguna E-Wallet Dengan Menggunakan Metode DBSCAN (Density Based Spatial Clustering Application With Noise) Di Kota Medan. *Jurnal Lebesgue : Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika Dan Statistika*, 4(2), 1386–1392. <https://doi.org/10.46306/lb.v4i2.415>
- Rahman, R. R. A., & Wijayanto, A. W. (2021). Pengelompokan Data Gempa Bumi Menggunakan Algoritma Dbscan (Clustering Earthquake Data Using the Dbscan Algorithm). *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 22(1), 31.
- Sari, I. N., & Prastowo, T. (2022). Analisis Seismisitas Dan Potensi Bahaya Bencana Seismik Di Wilayah Selatan Pulau Sumatera. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 11(2), 12–19.
- Taufiq, R. M., Firdaus, R., Handayani, F., Muarif, P. F., & Rizqy, R. R. (2024). Density-Based Clustering untuk Pemetaan Daerah Rawan Gempa Bumi Di Wilayah Sumatera Barat Menggunakan Metode DBSCAN. *JURNAL FASILKOM*, 14(3), 817–822. <https://doi.org/10.37859/jf.v14i3.8833>