

ANALISA DAN SEGMENTASI WILAYAH RAWAN GEMPA DI SUMATERA UTARA MENGGUNAKAN K-MEANS CLUSTERING

Roni Pashla Ritonga¹, Rizaldy khair²

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Kota Medan, Indonesia^{1,2}

Corresponding Author: ronyritonga1708@gmail.com¹, Rizaldykhair@umsu.ac.id²

Info Artikel

Submitted: 30 Maret 2026

Revised : 24 April 2026

Accepted: 08 Mei 2026

Published: 21 Mei 2026

Keywords: Earthquake, K-Means, clustering, mitigation

Kata Kunci: Gempa bumi, K-Means, clustering, mitigasi

Abstract

This study aims to segment earthquake-prone areas in North Tapanuli using the K-Means Clustering method. The data were obtained from the United States Geological Survey (USGS) for the period 2000–2025, including latitude, longitude, magnitude, and depth parameters. The research stages include data cleaning, normalization, and determining the optimal number of clusters using the Elbow Method and Silhouette Score. The results indicate that the optimal number of clusters is five. The clustering results show that earthquake distribution is not uniform and forms distinct groups. Clusters with shallow earthquakes tend to have higher risk compared to others. This study is expected to support understanding of earthquake-prone patterns and contribute to disaster mitigation efforts.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan segmentasi wilayah rawan gempa bumi di Kabupaten Tapanuli Utara menggunakan metode K-Means Clustering. Data yang digunakan berasal dari United States Geological Survey (USGS) periode 2000–2025 dengan parameter latitude, longitude, magnitudo, dan kedalaman. Tahapan penelitian meliputi pembersihan data, normalisasi, serta penentuan jumlah cluster menggunakan metode Elbow dan Silhouette Score. Hasil menunjukkan bahwa jumlah cluster optimal adalah lima. Hasil clustering menunjukkan bahwa persebaran gempa tidak merata dan membentuk kelompok dengan karakteristik berbeda. Cluster dengan kedalaman gempa dangkal memiliki potensi risiko lebih tinggi dibandingkan cluster lainnya. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam memahami pola kerawanan gempa serta mendukung upaya mitigasi bencana di wilayah penelitian.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Publisher: Lembaga Penerbit Penelitian Nusantara

Pendahuluan

Indonesia terletak pada jalur *Pacific Ring of Fire* sehingga memiliki aktivitas tektonik yang sangat tinggi. Kondisi ini disebabkan oleh pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia, yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik.. Kondisi tersebut menyebabkan Indonesia sering mengalami gempa bumi dengan intensitas yang beragam. Salah satu wilayah yang memiliki tingkat kerawanan gempa cukup tinggi adalah Provinsi Sumatera Utara, khususnya Kabupaten Tapanuli

Utara yang dilalui oleh jalur sesar aktif Sumatra Fault Zone (SFZ). Aktivitas seismik yang tinggi di Kabupaten Tapanuli Utara menyebabkan perlunya upaya identifikasi dan pemetaan wilayah rawan gempa bumi secara lebih sistematis (Wulandari et al., 2021). Informasi mengenai pola persebaran gempa bumi sangat penting dalam mendukung mitigasi bencana, perencanaan pembangunan infrastruktur tahan gempa, serta peningkatan kesiapsiagaan masyarakat terhadap potensi bencana. Salah satu cara yang bisa diterapkan untuk meneliti pola distribusi gempa bumi adalah dengan menggunakan metode pengelompokan. Pengelompokan adalah sebuah teknik dalam pengolahan data yang dimanfaatkan untuk mengelompokkan data berdasarkan kesamaan dalam beberapa ciri tertentu (Panggabean et al., 2023), Penelitian ini menggunakan algoritma K-Means Clustering karena mampu mengelompokkan data dalam jumlah besar secara efektif dan efisien berdasarkan kedekatan terhadap centroid cluster. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan segmentasi wilayah rawan gempa bumi di Kabupaten Tapanuli Utara menggunakan metode K-Means Clustering berdasarkan parameter latitude, longitude, magnitudo, dan kedalaman gempa bumi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran pola kerawanan gempa bumi serta mendukung pengambilan keputusan dalam mitigasi bencana.

Metode Penelitian

Penelitian ini mengaplikasikan metode kuantitatif melalui teknik data mining yang berfokus pada berbasis *unsupervised learning* menggunakan algoritma K-Means Clustering. Data penelitian diperoleh dari United States Geological Survey (USGS) periode 2000–2025 yang mencakup parameter latitude, longitude, magnitudo, dan kedalaman gempa bumi di Kabupaten Tapanuli Utara. Tahapan penelitian dimulai dari pengumpulan dan pembersihan data untuk menghapus data duplikat, *missing value*, serta data di luar wilayah penelitian. Kemudian dilakukan normalisasi data menggunakan metode Min-Max Scaling agar setiap variabel memiliki skala yang sebanding. Menentukan jumlah kluster yang paling tepat dilakukan melalui Elbow Method dan Silhouette Score.

Proses clustering dilakukan dengan algoritma K-Means menggunakan perhitungan jarak Euclidean Distance. Data kemudian dikelompokkan berdasarkan kedekatan terhadap centroid hingga mencapai kondisi konvergen. Hasil pengelompokan dinilai dengan menggunakan Koefisien Silhouette untuk menilai kualitas kelompok yang terbentuk. Kemudian, hasil pengelompokan ditampilkan dalam bentuk peta yang menunjukkan area berisiko gempa untuk mendukung analisis pola kerentanan gempa di Kabupaten Tapanuli Utara.

Hasil dan Pembahasan

1. Dataset

Dataset yang diterapkan dalam studi ini diambil dari United States Geological Survey (USGS), yaitu institusi pemerintah Amerika Serikat yang menyuplai informasi tentang gempa bumi di seluruh dunia.

Tabel 1. 1 Dataset Gempa Bumi Tapanuli Utara

No	Tanggal	Latitude	Longitude	Depth (Km)	Mag
1	2024-11-26	1.8627	99.2067	138.998	4.4
2	2024-09-14	1.8932	99.0554	127.607	5
...
...
166	2001-05-03	1.855	99.046	33	4
167	2000-09-29	2.233	99.386	183.9	4.2

2. Persiapan data

Tahap persiapan data dilakukan untuk memastikan dataset gempa bumi yang digunakan berada dalam kondisi siap dianalisis dan memiliki kualitas data yang baik. Dataset gempa bumi dari USGS periode tahun 2000–2025 yang telah dikumpulkan selanjutnya melalui beberapa tahapan persiapan data sebelum digunakan pada proses analisis.

2.1 Pembersihan data

Data yang memiliki nilai kosong (missing value) pada atribut utama seperti magnitudo, kedalaman gempa, serta koordinat lokasi gempa dihapus karena dapat memengaruhi hasil analisis. Selain itu, dilakukan pengecekan terhadap data duplikat untuk memastikan bahwa setiap kejadian gempa bumi hanya tercatat satu kali dalam dataset. Melalui proses pembersihan data ini, diperoleh dataset yang lebih bersih dan konsisten sehingga dapat digunakan secara optimal pada tahap analisis selanjutnya.

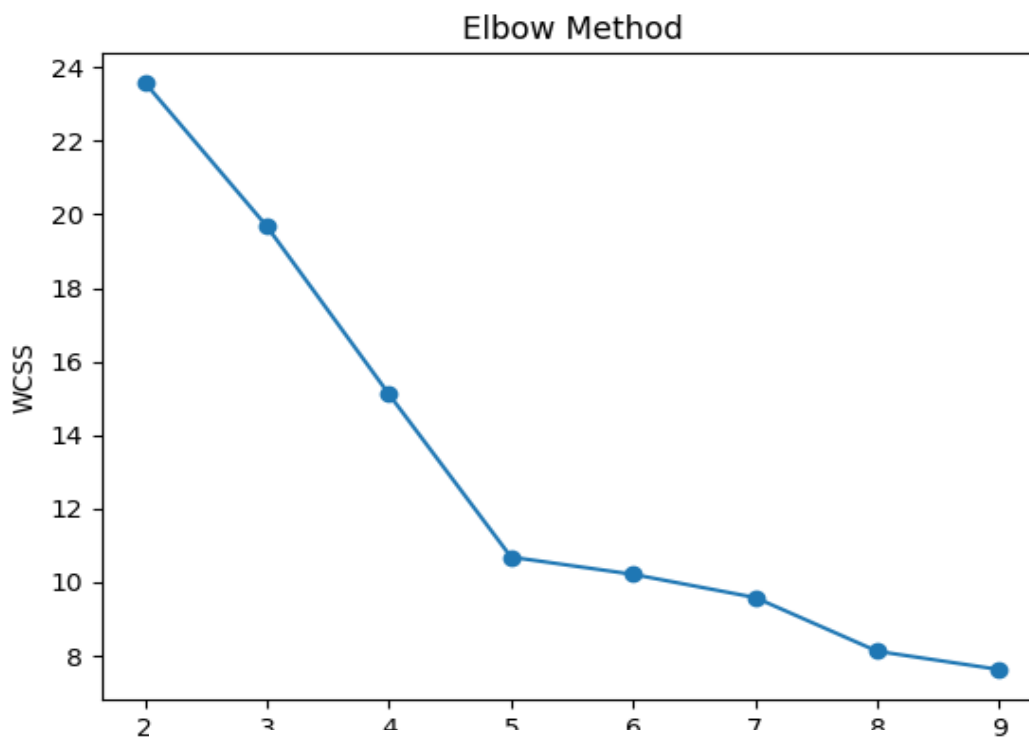
2.2 Transformasi Data

Transformasi data merupakan tahap lanjutan dalam proses persiapan data yang dilakukan untuk menyesuaikan dataset ke dalam format yang sesuai dengan kebutuhan analisis. Pada tahap ini, dilakukan penyeragaman format waktu kejadian gempa serta konversi atribut numerik seperti magnitudo, kedalaman, dan koordinat lokasi gempa agar dapat diproses dengan baik.

Selain itu, dilakukan normalisasi data untuk mengatasi perbedaan skala antar atribut dengan mengubah nilai setiap atribut ke dalam rentang 0 hingga 1. Normalisasi ini bertujuan agar setiap atribut memiliki kontribusi yang seimbang dalam proses analisis. Setelah tahap transformasi dan normalisasi data dilakukan, dataset siap digunakan pada tahap analisis selanjutnya.

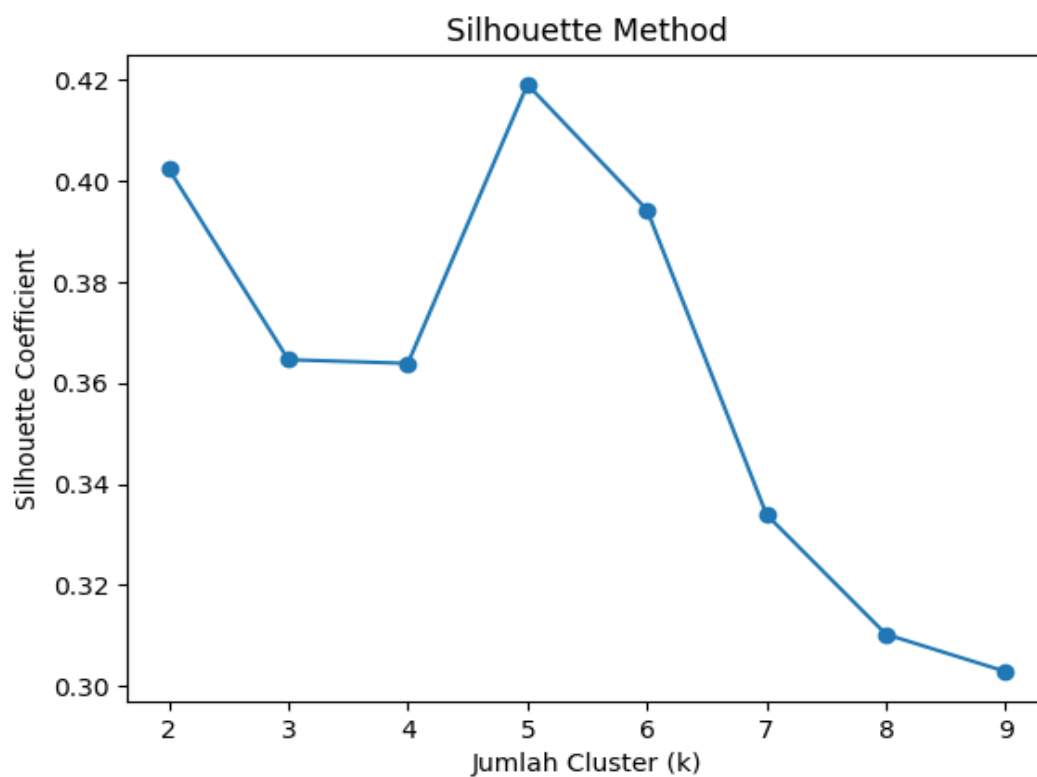
3. Penentuan Jumlah Cluster Optimal

Tahap ini bertujuan untuk menentukan jumlah cluster yang paling sesuai agar hasil pengelompokan data gempa bumi bersifat optimal dan representatif. Pada penelitian ini, penentuan jumlah cluster optimal dilakukan dengan melakukan iterasi K-Means pada nilai k dari 2 hingga 10. Hasil dari setiap iterasi kemudian dievaluasi menggunakan *Elbow Method* dan *Silhouette Score*. *Elbow Method* digunakan untuk mengamati perubahan nilai *within-cluster sum of squares* (WCSS) guna menemukan titik siku (*elbow*), sedangkan *Silhouette Score* digunakan untuk mengukur kualitas pemisahan antar cluster. Nilai k yang memberikan hasil terbaik berdasarkan kedua metode tersebut ditetapkan sebagai jumlah cluster optimal. Pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan struktur cluster yang stabil dan memiliki tingkat pemisahan yang baik. Hasil evaluasi penentuan jumlah cluster optimal menggunakan *Elbow Method* dan *Silhouette Score* dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.



Gambar 3. 1 Hasil elbow method

Berdasarkan Gambar 3.1 yang menampilkan hasil evaluasi menggunakan Elbow Method, terlihat bahwa nilai within-cluster sum of squares (WCSS) mengalami penurunan yang cukup signifikan dari $k = 2$ hingga $k = 5$. Setelah nilai $k = 5$, penurunan WCSS cenderung melandai dan tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Kondisi ini mengindikasikan adanya titik siku (elbow) pada $k = 5$, yang menunjukkan bahwa penambahan jumlah cluster di atas nilai tersebut tidak lagi memberikan peningkatan kualitas pengelompokan yang berarti. Oleh karena itu, berdasarkan Elbow Method, jumlah cluster yang paling efisien berada pada $k = 5$.



Gambar 3. 2 Hasil silhouette score

Selanjutnya, Gambar 3.2 menunjukkan hasil evaluasi menggunakan Silhouette Score. Dari grafik tersebut, dapat diamati bahwa nilai Silhouette Coefficient tertinggi diperoleh pada $k = 5$, dengan nilai sekitar 0,42. Nilai ini menunjukkan bahwa pada $k = 5$, data dalam setiap cluster memiliki tingkat kemiripan yang tinggi dan pemisahan antar cluster yang cukup baik dibandingkan dengan nilai k lainnya. Setelah $k = 5$, nilai Silhouette Score cenderung menurun, yang menandakan bahwa kualitas pemisahan cluster semakin berkurang.

4. Clustering

Tahap ini melibatkan proses clustering terhadap data gempa bumi di wilayah Kabupaten Tapanuli Utara menggunakan metode K-Means. Clustering digunakan untuk mengelompokkan kejadian gempa bumi ke dalam beberapa kelompok yang memiliki karakteristik serupa, sehingga pola kejadian gempa bumi dapat dianalisis secara lebih terstruktur dan informatif.

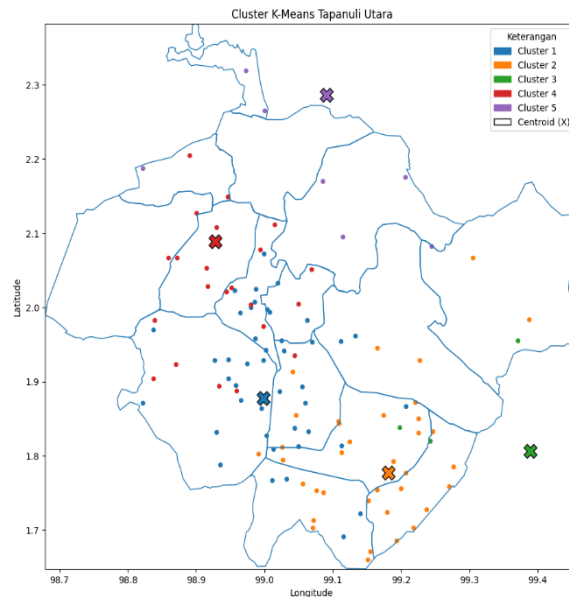
Jumlah cluster yang digunakan pada proses ini ditentukan berdasarkan hasil evaluasi pada tahap sebelumnya menggunakan Elbow Method dan Silhouette Score. Berdasarkan hasil kedua metode tersebut, diperoleh jumlah cluster optimal sebanyak lima ($k = 5$). Penentuan jumlah cluster ini diharapkan mampu menghasilkan pengelompokan data yang optimal dan representatif.

Tahapan Clustering dilakukan melalui menerapkan algoritma K-Means terhadap data yang telah melalui tahap pra-pemrosesan. Algoritma K-Means diawali dengan pemilihan pusat cluster (*centroid*) awal, kemudian mengelompokkan setiap data gempa bumi ke dalam cluster dengan jarak terdekat terhadap centroid tersebut. Selanjutnya, posisi centroid diperbarui secara iteratif hingga proses konvergen dan tidak terjadi perubahan signifikan pada hasil pengelompokan.

Hasil pengelompokan data gempa bumi menggunakan metode K-Means kemudian divisualisasikan dalam bentuk peta persebaran spasial untuk mempermudah pemahaman terhadap pola clustering yang terbentuk. Visualisasi ini menampilkan lokasi episenter gempa bumi berdasarkan koordinat lintang (*latitude*) dan bujur (*longitude*), di mana setiap data gempa diberi warna yang berbeda sesuai dengan cluster hasil pengelompokan. Melalui visualisasi ini, perbedaan

pola spasial antar cluster dapat diamati secara lebih jelas. Hasil visualisasi dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.

Gambar 4 memperlihatkan hasil pengelompokan data gempa bumi di wilayah Kabupaten



Gambar 4. Hasil Clustering Kabupaten Tapanuli Utara

Tapanuli Utara menggunakan metode K-Means dengan jumlah cluster sebanyak lima. Setiap titik pada peta menunjukkan lokasi episenter gempa bumi, sedangkan perbedaan warna menandakan cluster tempat gempa tersebut tergolong. Tanda silang (X) pada masing masing warna menunjukkan posisi centroid atau pusat cluster hasil perhitungan K-Means.

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa gempa bumi di Tapanuli Utara tidak tersebar secara acak, melainkan membentuk beberapa kelompok spasial. Cluster 1 dan Cluster 4 tampak terkonsentrasi di bagian tengah wilayah penelitian, sedangkan Cluster 2 dan Cluster 3 lebih banyak tersebar di bagian selatan dan timur. Sementara itu, Cluster 5 cenderung muncul di wilayah bagian utara dengan jumlah kejadian yang relatif lebih sedikit.

Perbedaan persebaran spasial antar cluster menunjukkan adanya variasi pola kejadian gempa bumi di wilayah penelitian. Keberadaan centroid yang terpisah satu sama lain menandakan bahwa setiap cluster memiliki pusat aktivitas gempa yang berbeda. Visualisasi ini memperkuat hasil clustering bahwa metode K-Means mampu mengelompokkan kejadian gempa bumi berdasarkan kemiripan karakteristik spasialnya. Gambar hasil clustering ini kemudian akan digunakan sebagai dasar untuk analisis lebih lanjut mengenai karakteristik masing-masing cluster.

5. Karakteristik Clustering

Pada bagian ini dilakukan analisis terhadap karakteristik dari setiap cluster yang terbentuk berdasarkan hasil *clustering* menggunakan metode K-Means. Analisis karakteristik bertujuan untuk mengetahui perbedaan pola kejadian gempa bumi pada masing-masing cluster, khususnya berdasarkan parameter kedalaman (*depth*) dan magnitudo (*magnitude*) gempa bumi. Perbedaan nilai rata-rata kedalaman dan magnitudo menunjukkan adanya variasi tingkat aktivitas serta potensi dampak gempa bumi antar cluster yang terbentuk. Analisis ini menjadi dasar dalam menginterpretasikan karakteristik dominan pada setiap cluster. Dengan demikian, hasil analisis karakteristik cluster dapat memberikan gambaran awal mengenai tingkat kerawanan gempa bumi di wilayah penelitian. Hasil rata-rata tiap cluster dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Tabel Hasil Rata Rata Cluster

Cluster	Depth (km)	Mag
1	128,370	4,395
2	29,960	4,558
3	160,960	4,37
4	20,70	4,50
5	152,390	4,40

Berdasarkan tabel 5 dapat dilihat dimana setiap kelompok data memiliki karakteristik yang berbeda. Perbedaan ini menunjukkan bahwa proses clustering menggunakan metode K-Means berhasil mengelompokkan data gempa bumi ke dalam kelompok-kelompok dengan pola kejadian yang khas.

Cluster 1 memiliki rata-rata kedalaman gempa sebesar 128,37 km dengan magnitudo rata-rata 4,40. Karakteristik ini menunjukkan bahwa cluster tersebut didominasi oleh gempa bumi dengan kedalaman menengah hingga dalam, yang umumnya berkaitan dengan aktivitas tektonik di zona subduksi dan cenderung memiliki dampak yang relatif kecil di permukaan.

Cluster 2 menunjukkan rata-rata kedalaman sebesar 29,96 km dan magnitudo rata-rata 4,56. Cluster ini merepresentasikan gempa bumi dangkal dengan magnitudo menengah. Gempa bumi dengan kedalaman dangkal berpotensi menimbulkan guncangan yang lebih kuat di permukaan, sehingga cluster ini memiliki potensi risiko yang lebih tinggi dibandingkan cluster dengan kedalaman yang lebih besar.

Cluster 3 memiliki rata-rata kedalaman paling besar dibandingkan cluster lainnya, yaitu

sebesar 160,96 km, dengan magnitudo rata-rata 4,38. Cluster ini tergolong sebagai gempa bumi dalam, yang umumnya terjadi pada lempeng yang tersubduksi dan jarang menimbulkan kerusakan signifikan di permukaan.

Cluster 4 merupakan cluster dengan rata-rata kedalaman paling dangkal, yaitu sebesar 20,71 km, dan magnitudo rata-rata 4,50. Karakteristik ini menunjukkan bahwa cluster 4 didominasi oleh gempa bumi dangkal yang berpotensi memberikan dampak lebih besar terhadap wilayah di sekitarnya, terutama jika terjadi di area permukiman.

Cluster 5 memiliki rata-rata kedalaman sebesar 152,39 km dengan magnitudo rata-rata 4,40. Karakteristik cluster ini menunjukkan kemiripan dengan cluster 2, yaitu gempa bumi dengan kedalaman dalam, namun dengan pola persebaran spasial yang berbeda sebagaimana ditunjukkan pada hasil clustering.

Secara keseluruhan, hasil analisis karakteristik menunjukkan bahwa parameter kedalaman gempa bumi menjadi faktor utama yang membedakan setiap cluster. Cluster dengan gempa bumi dangkal cenderung memiliki potensi dampak yang lebih besar di permukaan, sedangkan cluster dengan gempa bumi menengah hingga dalam umumnya memiliki dampak yang lebih kecil meskipun terjadi dengan magnitudo yang relatif serupa.

6. Interpretasi Hasil

Berdasarkan hasil clustering dan analisis karakteristik yang telah dilakukan, dapat diinterpretasikan bahwa kejadian gempa bumi di wilayah Kabupaten Tapanuli Utara memiliki pola spasial yang beragam dan tidak bersifat homogen. Pengelompokan data gempa bumi menggunakan metode K-Means berhasil membagi kejadian gempa ke dalam lima cluster yang memiliki karakteristik berbeda berdasarkan kedalaman dan magnitudo gempa bumi.

Cluster dengan karakteristik gempa bumi dangkal, yaitu Cluster 2 dan Cluster 4, diinterpretasikan sebagai kelompok gempa bumi yang memiliki potensi dampak paling besar terhadap permukaan. Berdasarkan hasil visualisasi spasial, cluster ini banyak terkonsentrasi di wilayah bagian tengah hingga selatan Kabupaten Tapanuli Utara. Beberapa kecamatan yang termasuk dalam sebaran cluster ini antara lain Kecamatan Tarutung, Sipoholon, Siborongborong, Pangaribuan, serta wilayah Pahae Jae dan Pahae Julu. Wilayah-wilayah tersebut dapat dikategorikan sebagai daerah dengan tingkat kerawanan gempa yang relatif lebih tinggi, karena dominasi gempa dangkal berpotensi menghasilkan guncangan yang lebih kuat dan lebih dirasakan oleh masyarakat.

Sementara itu, Cluster 1, Cluster 3, dan Cluster 5 didominasi oleh gempa bumi dengan kedalaman menengah hingga dalam. Secara spasial, cluster-cluster ini cenderung tersebar di wilayah

bagian utara dan timur Kabupaten Tapanuli Utara, yang mencakup kecamatan seperti Muara, Sipahutar, Garoga, Adian Koting, dan Simangumban. Gempa bumi pada cluster ini umumnya berkaitan dengan aktivitas tektonik pada zona subduksi dan cenderung memiliki dampak yang lebih kecil di permukaan meskipun menunjukkan adanya aktivitas seismik yang signifikan.

Hasil interpretasi ini juga menunjukkan bahwa parameter kedalaman gempa bumi memiliki peran yang lebih dominan dibandingkan magnitudo dalam membedakan karakteristik antar cluster. Nilai magnitudo rata-rata pada setiap cluster relatif berada pada rentang yang sama, namun perbedaan kedalaman gempa bumi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap potensi dampak yang ditimbulkan di masing-masing wilayah kecamatan.

Secara keseluruhan, interpretasi hasil clustering ini memberikan gambaran segmentasi wilayah rawan gempa di Kabupaten Tapanuli Utara berdasarkan pola kejadian gempa bumi historis. Informasi mengenai kecamatan-kecamatan yang termasuk dalam cluster dengan tingkat kerawanan lebih tinggi diharapkan dapat menjadi dasar pendukung dalam pemetaan risiko gempa bumi, perencanaan mitigasi bencana, penataan ruang wilayah, serta peningkatan kesiapsiagaan masyarakat oleh pemerintah daerah dan lembaga terkait.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data gempa bumi di Kabupaten Tapanuli Utara, diperoleh bahwa pola persebaran gempa bumi memiliki karakteristik yang beragam dan tidak tersebar secara merata. Penerapan Metode K-Means Clustering berhasil mengelompokkan data gempa bumi dari masa lalu ke dalam lima kelompok berdasarkan kesamaan ciri-ciri, khususnya parameter magnitudo dan kedalaman gempa. Hasil pengelompokan menunjukkan adanya perbedaan aktivitas seismik antarwilayah, dimana beberapa daerah didominasi gempa dangkal yang berpotensi menimbulkan guncangan lebih kuat di permukaan, sedangkan wilayah lainnya dipengaruhi oleh gempa berkedalaman menengah hingga dalam. Visualisasi spasial hasil clustering memperlihatkan pola distribusi gempa yang berbeda pada setiap wilayah, sehingga dapat mengidentifikasi area dengan tingkat kerawanan gempa relatif lebih tinggi. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan gambaran yang lebih terstruktur mengenai pola aktivitas seismik di Kabupaten Tapanuli Utara. Hasil segmentasi wilayah tersebut dapat dimanfaatkan sebagai informasi pendukung dalam pemetaan risiko gempa bumi, perencanaan mitigasi bencana, penataan ruang wilayah, serta peningkatan Persiapan masyarakat untuk menghadapi kemungkinan terjadinya gempa bumi di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin Yusuf Permana, Hari Noer Fazri, M.Fakhrizal Nur Athoilah, Mohammad Robi, & Ricky Firmansyah. (2023). Penerapan Data Mining Dalam Analisis Prediksi Kanker Paru Menggunakan Algoritma Random Forest. *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika Dan Komunikasi*, 3(2), 27–41. <https://doi.org/10.55606/juitik.v3i2.472>
- Kristianto Anver, G., & Prasetyo, Y. J. (2025). Analysis of Earthquake Intensity on Java Island Using K-Means Clustering and GeoMap. *Indonesian Journal of Social Technology*, 6(1), 469. <http://jist.publikasiindonesia.id/>
- Laksono, B., Syahidin, Y., & Yunengsih, Y. (2024). Implementasi Data Mining Klasterisasi Data Pasien Rawat Inap dengan Algoritma K-Means Clustering. *Jurnal Teknologi Sistem Informasi Dan Aplikasi*, 7(2), 621–627. <https://doi.org/10.32493/jtsi.v7i2.39354>
- 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. <https://doi.org/10.33369/jkf.5.2.91-98>
- Magriaty, R., Murtilaksono, K., & Anwar, S. (2023). Analisis K-Means Cluster untuk Identifikasi Kawasan Pengelolaan Sampah di Kabupaten Tapin Provinsi Kalimantan Selatan. 2023(1), 79–90. <https://doi.org/10.29244/jp2wd.2022.7.1.79-90>
- Nababan, E., Refrizon, R., & Hadi, A. I. (2024). Study of earthquake recurrence in North Sumatra based on b-value earthquake data 1926-2023. *Journal of Aceh Physics Society*, 13(2), 9–15. <https://doi.org/10.24815/jacps.v13i2.37343>
- Panggabean, D. Y., Tarigan, P., & Halawa, D. E. (2023). *EINSTEIN (e-Journal) Sebaran Aktivitas Seismik di Sumatera Utara Periode Tahun 2022*. <http://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/einstene-issn:2407-747x,p-issn2338-1981>
- Prasetyawan, D., & Gatra, R. (2025). Analisis Cluster untuk Pengelompokan Kemampuan Penguasaan ICT Menggunakan K-Means dan Autoencoder. In *Jurnal Informatika Sunan Kalijaga* (Vol. 10, Issue 2). MEI.
- Priambodo, A., Nur, A. A., Sandri, D., Ahmada, N. H., & Septiandiani, F. (2023). TRAINING ON THE USE OF SOFTWARE ARCGIS AND AVENZA MAPS IN SPATIAL DATA

MANAGEMENT AND DIGITAL MAP FOR VILLAGE APPARATUS IN PURBALINGGA DISTRICT. In *Abdimas Galuh* (Vol. 5, Issue 1).

Prihantara, D., Oktaviani, M., & Sj, M. I. (2023). *IMPLEMENTASI DECISION SUPPORT SYSTEM DI BIDANG DATA SPASIAL: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW*. <http://sosains.greenvest.co.id>

Rafflesia, U., Rosadi, D., Sari, D. P., & Novianti, P. (2025). Analysis of Seismic Data in Sumatra using Robust K-Means Clustering. *Journal of Applied Data Sciences*, 6(1), 391–404. <https://doi.org/10.47738/jads.v6i1.523>

Rahadi, I., Aryani Novianti, B., Syahidi, K., Mandala Putra, H., Gazali, M., Haiban Hirzi, R., Rahadi, I., Novianti, B. A., Syahidi, K., Putra, H. M., Gazali, M., & Hirzi, R. H. (2022). Applying K-Means Algorithm for Clustering Analysi Earthquakes Data in West Nusa Tenggara. *Indonesian Physical Review*, 5(3), 197–207. <https://doi.org/10.29303/ip>

Saputri, E. (2025). Teknik dan aplikasi data mining di Indonesia: tinjauan literatur satu dekade (2015-2024). *IT-Explore: Jurnal Penerapan Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 4(2), 138–149. <https://doi.org/10.24246/itexplore.v4i2.2025.pp138-149>

Simamora, S., Manalu, A., Hasugian, P. M., & Thomas, S. (2024). Performance of K-Means Algorithm for Ground Acceleration Clustering-Siska Simamora, et.al Performance of K-Means Algorithm for Ground Acceleration Clustering. In *Journal Majelis Paspama* (Vol. 2, Issue 2). Online.

Siregar, U. K., Sirait, R., & Lubis, L. H. (2023). IDENTIFIKASI TINGKAT KERAPUHAN BATUAN (B-VALUE) DENGAN MENGGUNAKAN METODE LIKELIHOOD DI WILAYAH SUMATERA UTARA PERIODE 1990-2021. *Jurnal Kumparan Fisika*, 6(1), 37–46. <https://doi.org/10.33369/jkf.6.1.37-46>

Tania, A., Handhayani, T., & Hendryli, J. (2023). *PERBANDINGAN+ANTARA+ALGORITMA+K-MEANS+DAN+ALGORITMA+BISECTING+K-MEANS+DALAM+MENGANALISIS+GEMPA+BUMI+DI+INDONESIA*.

Wulandari, S., Parera, A. F. T., Lailatul, D., & Lubis, H. (2021). Relokasi Gempabumi Di Sesar Renun A, B, Dan C Dengan Menggunakan Metode Double Difference (Hypo-DD). In *GRAVITASI Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains* (Vol. 4, Issue 2).

<https://ejournalunsam.id/index.php/JPFS>

Yulianti, Y., Purnama, R., & Sandi, T. (2025). PEMETAAN DAN KLASIFIKASI WILAYAH RAWAN GEMPA DI INDONESIA DENGAN METODE K-MEANS DAN LIGHTGBM. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3Sud 1).
<https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3S1.8152>