

## Penerapan Metode Dbscan untuk Identifikasi Kluster Gempa Bumi di Daerah Yogyakarta

**Wahyu Ajitomo<sup>1\*</sup>, Irfan Pratama<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Jurusan Sistem Informasi , Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Mercu Buana Yogyakarta  
Email: 191210096@student.mercubuana-yogya.ac.id

### ABSTRAK

*Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia, termasuk di daerah Yogyakarta. Pemahaman yang mendalam tentang pola dan karakteristik gempa bumi di daerah ini sangat penting dalam upaya mitigasi risiko dan persiapan menghadapi bencana tersebut. Metode clustering, seperti Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN), dapat menjadi pendekatan yang efektif dalam mengidentifikasi kluster gempa bumi dengan kepadatan tinggi di daerah Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk menggunakan metode DBSCAN untuk mengidentifikasi kluster gempa bumi yang memiliki kekuatan magnitude tertentu di daerah Yogyakarta. Data sebaran gempa bumi dari tahun 2017 hingga 2022 digunakan sebagai sampel penelitian. Proses clustering dilakukan dengan memperhatikan parameter epsilon dan jumlah minimum sampel dalam suatu kluster. Hasil analisis menunjukkan adanya kluster gempa bumi dengan kepadatan tinggi yang terkonsentrasi pada lokasi-lokasi tertentu di daerah Yogyakarta. Kluster-kluster ini mencerminkan pola spasial yang jelas dan mengindikasikan adanya aktivitas seismik yang signifikan di wilayah tersebut. Kesimpulan dari penelitian ini adalah adanya pola dan kluster gempa bumi yang dapat diidentifikasi menggunakan metode DBSCAN. Kluster-kluster ini memberikan pemahaman tentang sebaran gempa bumi yang berdampak untuk daerah Yogyakarta dan dapat digunakan sebagai acuan dalam mitigasi risiko gempa bumi di masa depan. Hasil penelitian ini dapat digunakan kepentingan dalam pengambilan keputusan dan perencanaan tindakan respons terhadap gempa bumi di daerah Yogyakarta.*

**Kata kunci:** DBSCAN, Gempa Bumi, Klustering, Kekuatan Magnitude, Sebaran Gempa.

### ABSTRACT

*Earthquakes are one of the natural disasters that frequently occur in Indonesia, including the Yogyakarta region. A profound understanding of earthquake patterns and characteristics in this area is crucial for risk mitigation efforts and disaster preparedness. Clustering methods, such as Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN), can provide an effective approach to identifying earthquake clusters with high density in the Yogyakarta region. This research used the DBSCAN method to identify earthquake clusters with specific magnitude strengths in the Yogyakarta region. Earthquake distribution data from 2017 to 2022 was used as the research sample. The clustering process considered the epsilon parameter and the minimum number of samples within a cluster. The analysis results revealed the existence of earthquake clusters with high density concentrated in specific locations in the Yogyakarta region. These clusters reflect clear spatial patterns and indicate significant seismic activity in the area. The conclusion of this study confirms the presence of earthquake patterns and clusters that can be identified using the DBSCAN method. These clusters provide further insight into the distribution of earthquakes in the Yogyakarta region and can serve as a reference for earthquake risk mitigation in the future. The findings of this research offer valuable insights for stakeholders in decision-making and planning responsive actions to earthquakes in the Yogyakarta region.*

**Keywords:** Earthquake, Clustering, Magnitude Strength, Earthquake Distribution, Yogyakarta

### **PENDAHULUAN**

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia, termasuk di daerah Yogyakarta. Berdasarkan kajian seismogenetik, pulau jawa merupakan daerah rawan gempa dengan sistem satuan

seismotektonik busur sangat aktif yang meliputi Jawa Barat dan sumatra, serta busur aktif bagian Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur (Soehaimi, 2008). Berdasarkan pemetaan daerah rawan bencana, terdapat 4 provinsi yang memiliki tingkat kerawanan yang tinggi yaitu

Aceh, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Jawa Barat (Supriyadi et al., 2018). Yogyakarta terletak di wilayah yang aktif secara seismik, yang membuat pemahaman yang mendalam tentang pola dan karakteristik gempa bumi di daerah ini menjadi sangat penting dalam upaya mitigasi risiko dan persiapan menghadapi bencana tersebut.

Adapun Kerusakan yang ditimbulkan tidak main-main. Karena gempa bumi tidak hanya terjadi di darat, namun terjadi di dasar laut yang menyebabkan gelombang tsunami. Jika daerah potensi rawan gempa berada didaerah puncak maka akan terjadi letusan gunung api yang diawali dengan adanya gempa vulkanik sedangkan jika daerah potensi gempa berada dibawah dan terjadi patahan pada lempengan maka akan terjadi gempa tektonik (Artatia & Hakim, 2015).

Menurut (Tanzil Furqon & Muflikhah, 2016) diantara beberapa penelitian tersebut lebih fokus pada penyebab terjadinya tsunami dan tidak melakukan pengelompokan wilayah terdampak tsunami berdasarkan potensi resiko yang ditimbulkan.

*Clustering* (pengelompokan) merupakan proses mempartisi suatu kumpulan titik data ke dalam kelompok-kelompok sehingga nantinya objek-objek pada kelompok yang sama memiliki persamaan yang banyak dan memiliki objek-objek yang berbeda dalam kelompok lainnya. Persamaan dan perbedaan tersebut umumnya didasarkan pada nilai atribut objek-objek tersebut dan bisa pula merupakan perhitungan jarak (Han et al., 2012). Prinsip dasar dari *clustering* adalah memaksimalkan kesamaan antar anggota satu klaster dan meminimumkan kesamaan antar anggota cluster yang berbeda.

Adapun penelitian terkait dengan penelitian ini, yaitu penelitian oleh (Hartatik & Cahya, 2020) yang melakukan “Clusterisasi Kerusakan Gempa Bumi di Pulau Jawa Menggunakan SOM”, (Setiawan et al., 2022) “Klasterisasi Wilayah Rentan Bencana Alam Berupa Gerakan Tanah Dan Gempa Bumi Di Indonesia”, dan (Wahyu & Rushenda, 2022) “Klasterisasi Dampak Bencana Gempa Bumi Menggunakan Algoritma K-Means di Pulau Jawa”. Dari penelitian tersebut memiliki persamaan, namun memiliki beberapa perbedaan dari jenis Sumber data dan jenis metode klasterisasi.

Dengan menerapkan metode DBSCAN dalam identifikasi kluster gempa bumi di Yogyakarta, penelitian ini dapat memperkaya pengetahuan tentang seismologi dan geologi wilayah. Hasil penelitian ini dapat membantu memvalidasi model seismik dan memperkaya basis data gempa bumi, yang dapat digunakan untuk penelitian lanjutan tentang perilaku patahan dan dinamika gempa bumi.

Dengan demikian, memberikan pemahaman yang lebih baik tentang pola spasial gempa bumi dan identifikasi kluster dengan kepadatan tinggi di Yogyakarta, serta memberikan kontribusi nyata dalam upaya mitigasi risiko bencana gempa bumi dan pengembangan strategi adaptasi yang lebih efektif.

## TINJAUAN PUSTAKA

Studi sebelumnya oleh (Artatia & Hakim, 2015) menggunakan pendekatan K-Means-Clustering untuk mengidentifikasi dampak gempa bumi dari segi kerusakan fasilitas pada provinsi-provinsi yang berpotensi gempa di Indonesia. Metode ini digunakan untuk mengelompokkan data kerusakan fasilitas akibat gempa bumi dan mengevaluasi pola kerusakan di berbagai wilayah. Sementara itu, penelitian terbaru menggunakan metode DBSCAN untuk menganalisis pola aktivitas gempa bumi di daerah Yogyakarta. DBSCAN adalah metode clustering yang memungkinkan identifikasi kluster dengan bentuk dan ukuran yang tidak terdefinisi sebelumnya, serta mampu menangani noise dan outlier dengan baik. Dengan membandingkan kedua metode tersebut, dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang keunggulan dan keterbatasan masing-masing pendekatan dalam analisis risiko gempa bumi serta implikasinya dalam pengelolaan dan mitigasi bencana di daerah yang rentan terhadap gempa bumi.

### 2.1. Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan getaran akibat pergerakan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan enersi secara tiba-tiba. Pelepasan enersi secara tiba-tiba menimbulkan gelombang seismik yang dapat merusak segala sesuatu di permukaan bumi, seperti bangunan, pohon-pohon, bahkan dapat menimbulkan korban jiwa. (Bahri & Mungkin, 2019)

## 2.2. Data Mining

Data mining adalah proses untuk menggali informasi berharga dan bermakna dari kumpulan data yang besar dan kompleks. Dalam data mining, menggunakan teknik-teknik seperti pola sosialisasi, statistik, dan matematika untuk menyortir, menganalisis, dan menginterpretasi data dalam repositori. (Larose & Larose, 2015)

## 2.3. Clustering

Pengelompokan data dianggap sebagai bidang yang penting penambangan data. Ini adalah proses partisi data. Elemen dikelompokkan ke dalam kelompok yang berbeda (disebut cluster). Dimiliki oleh elemen-elemen dalam kelompok sedemikian rupa sangat mirip, tetapi mereka berbeda dari elemen dikelompok yang berbeda. (Bora & Gupta, 2014)

## 2.4. DBSCAN

Algoritma DBSCAN pertama kali diusulkan oleh Ester, dan Bergantung pada konsep pengelompokan berbasis kepadatan. klaster adalah Identifikasi dengan melihat kerapatan titik. daerah dan Kepadatan titik yang tinggi menunjukkan adanya cluster sedangkan area dengan kepadatan titik rendah menunjukkan Grup kebisingan atau grup outlier. Algoritma ini adalah Sangat cocok untuk memproses dataset besar dengan noise, dan dapat mengidentifikasi cluster dengan ukuran yang berbeda membentuk. (Omran et al., 2007)

## 2.5. Python

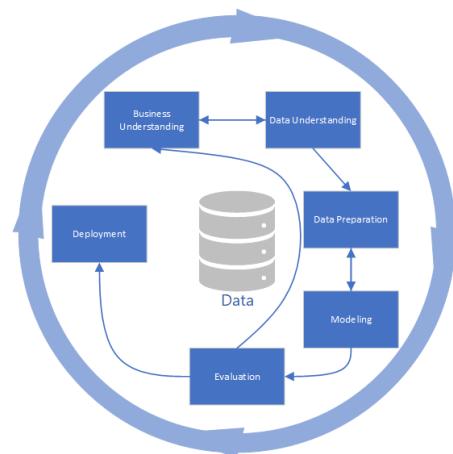
Python adalah bahasa pemrograman interpretatif, berorientasi objek dan semantik yang dinamis. Python memiliki high-level struktur data, dynamic typing dan dynamic binding. Python memiliki sintaks sederhana dan mudah dipelajari untuk penekanan pada kemudahan membaca dan mengurangi biaya perbaikan program. Python mendukung modul dan paket untuk mendorong kemodularan program dan kode reuse. Interpreter Python dan standard library-nya tersedia secara gratis untuk semua platform dan dapat secara bebas disebarluaskan. Bahasa pemrograman ini dibuat oleh Guido van Rossum. (Trappenberg, 2019)

## 2.6. Davies-Bouldin Indeks

Davies-Bouldin Index (DBI) adalah metrik evaluasi yang digunakan untuk mengukur kualitas klastering pada data. Indeks ini menggabungkan ukuran intra-klaster yang rendah dengan ukuran antara-klaster yang tinggi. Semakin rendah nilai DBI, semakin baik kualitas klasteringnya. (Pakuani & Kurniawan, 2021)

## METODE PENELITIAN

Dalam pengembangan jalannya suatu sistem ini peneliti menggunakan model CRISP-DM karena pengaplikasian menggunakan model ini dapat diimplementasikan dimana hal ini menggambarkan pendekatan yang sistematis dan sekuensial. Tahapan metode CRISP-DM dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. CRISP-DM

### 1. Pemahaman Bisnis

Identifikasi tujuan bisnis proyek. Yaitu deteksi pola anomali gempa bumi atau kekuatan gempa bumi, atau pengelompokan gempa bumi berdasarkan karakteristiknya. Identifikasi kebutuhan dan masalah yang ingin dipecahkan oleh proyek. Tentukan kriteria keberhasilan proyek dan definisikan deliverables yang diharapkan.

### 2. Pemahaman Data

Tahap ini dimulai dari mengumpulkan data gempa bumi 2017-2022 yang relevan dari BMKG. Eksplorasi data tersebut untuk memahami struktur, format, dan karakteristiknya. Identifikasi fitur-fitur atau atribut-atribut yang relevan dalam data gempa

bumi. Evaluasi kualitas data, seperti keberadaan nilai yang hilang atau outliers.

### 3. Persiapan Data

Pada tahapan persiapan data untuk klastering gempa bumi, langkah-langkah yang dilakukan meliputi pembersihan data dengan menangani nilai yang hilang pada atribut latitude, longitude, kedalaman, dan magnitude. Selain itu, penting juga untuk memilih kolom-kolom yang akan digunakan dalam klastering, dengan mempertimbangkan atribut seperti latitude, longitude, kedalaman, dan magnitude yang memberikan informasi penting tentang lokasi, kedalaman, dan kekuatan gempa. Melalui tahapan persiapan data yang cermat, dapat memastikan bahwa data yang digunakan dalam proses klastering gempa bumi telah bersih, terstruktur dengan baik, dan mengandung atribut-atribut yang relevan, sehingga dapat meningkatkan kualitas hasil klastering dan pemahaman terhadap pola dan karakteristik gempa bumi yang terjadi.

### 4. Pemodelan

Pemodelan menggunakan metode DBSCAN (*Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise*) melibatkan beberapa tahapan. Pertama, menentukan parameter seperti epsilon ( $\epsilon$ ) dan minimum data points (MinPts) yang akan digunakan dalam proses klastering. Selanjutnya, titik-titik acuan (core points) yang memiliki jumlah tetangga yang memenuhi batas minimum ditentukan. Kemudian, tetangga-tetangga dari titik-titik acuan ini diidentifikasi dan diperluas untuk membentuk kluster. Titik-titik yang tidak memenuhi batas minimum tetangga tetapi masih berada dalam jangkauan tetangga kluster akan diberi label sebagai noise points. Dengan menggunakan rumus jarak antara titik-titik dan konsep core distance serta reachability distance, DBSCAN mengelompokkan data berdasarkan kepadatan spasialnya. Proses klastering ini dapat diilustrasikan dalam grafik yang memvisualisasikan titik-titik data, tetangga-tetangga, radius  $\epsilon$ , dan kluster-kluster yang terbentuk. Dengan demikian, DBSCAN merupakan metode yang efektif untuk mengelompokkan data berdasarkan kepadatan spasialnya.

### 5. Evaluasi

Analisis dan interpretasikan hasil klastering menggunakan metode DBSCAN pada data gempa bumi menunjukkan adanya pola atau kelompok yang terbentuk dalam sebaran gempa. Dalam evaluasi kualitas dan kehandalan model klastering, Davies-Bouldin Index (DBI) digunakan sebagai metrik evaluasi. Namun, evaluasi yang komprehensif dengan menggunakan metrik lain dan validasi eksternal juga perlu dilakukan untuk memastikan kehandalan model klastering yang telah dibangun.

### 6. Penyajian

Hasil yang didapatkan berupa excel data gempa bumi yang sudah difilter berdasarkan cluster dan tahun. Rekomendasi yang dapat diberikan kepada pemangku kepentingan, seperti Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) atau pihak terkait. Dengan mengimplementasikan hasil *clustering*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan identifikasi kluster gempa bumi dengan kekuatan magnitude di daerah Yogyakarta menggunakan metode DBSCAN. Hasil analisis menunjukkan adanya kluster gempa bumi dengan kepadatan tinggi yang terkonsentrasi pada lokasi-lokasi tertentu di daerah tersebut. Kluster-kluster ini mencerminkan pola spasial yang jelas dan mengindikasikan adanya aktivitas seismik yang signifikan di wilayah tersebut.

### 4.1. Data Clustering

Untuk melakukan *clustering* gempa bumi tahun 2017 hingga 2022 adalah mengetahui data sebelumnya. Peneliti menggunakan data gempa bumi dari stasiun BMKG. Data berikut yang digunakan untuk per cluster an dapat dilihat ditabel Tabel 1

Tabel 1 Tabel Pulau Jawa

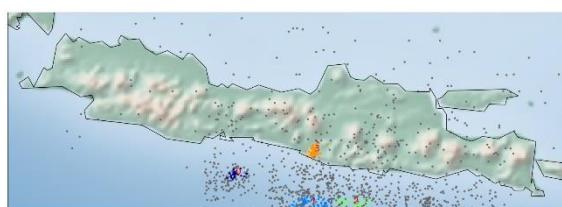
Datetime	Latitude	Longitude	Kedalaman	Magnitude
1/25/2017	-5.3	113.4934	12	0
1/26/2017	-7.99	111.2	10	3.2
1/27/2017	0.4	118.7292	12	0
1/28/2017	-9.44	113.06	10	4.7
1/29/2017	-9.73	112.87	10	4.9
1/30/2017	-8.34	108.54	103	3.5

Tabel 1 berisi data yang akan digunakan untuk melakukan *clustering* pada gempa bumi di Yogyakarta. Data tersebut mencakup informasi seperti tanggal dan waktu kejadian (*datetime*), koordinat lintang (*latitude*) dan bujur (*longitude*), kedalaman, magnitude terkait gempa. Data ini akan diolah menggunakan metode *clustering*, khususnya metode DBSCAN, untuk mengidentifikasi pola dan karakteristik kluster gempa bumi di daerah Yogyakarta.

#### 4.2. Clustering Berdasarkan Kedalaman

Algoritma DBSCAN diterapkan dengan menggunakan objek DBSCAN dari library scikit-learn. Parameter yang digunakan adalah  $\text{eps}=0.15$  yang menentukan jarak maksimum antara dua sampel agar dianggap tetangga, dan  $\text{min\_samples}=10$  yang menentukan jumlah minimum sampel dalam satu kluster.

Hasil dari *clustering* disimpan dalam variabel 'labels' dan ditambahkan sebagai kolom baru 'Clus\_Db' pada dataframe. Data gempa yang telah diberi label kluster ditampilkan dalam warna yang berbeda-beda untuk membedakan kluster satu dengan yang lainnya. Kluster dengan label -1 menunjukkan data yang dianggap sebagai noise atau tidak termasuk ke dalam kluster manapun. Hasil dari implementasi ini dapat dilihat pada gambar gambar 2



Gambar 2. Hasil Clustering Kedalaman

Menghitung nilai DBI dari *clustering* menggunakan rumus sebagai berikut:

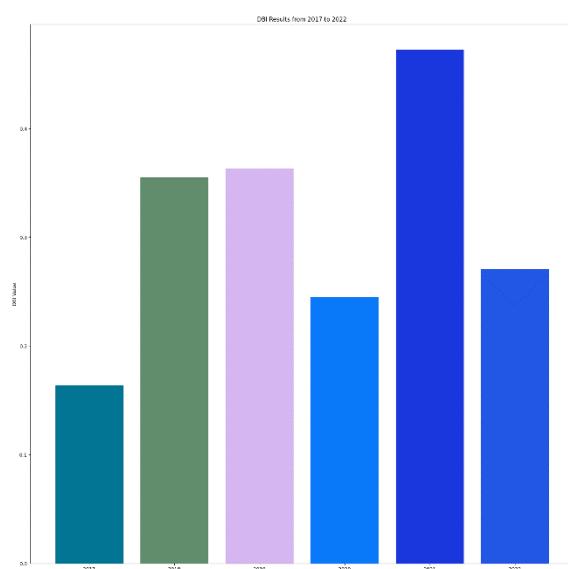
$$DBI = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \max_{i \neq j} (R_{i,j}) \quad (1)$$

Dari persamaan tersebut,  $k$  merupakan jumlah cluster yang digunakan. Semakin kecil nilai DBI yang diperoleh (non-negatif  $\geq 0$ ), maka semakin baik cluster yang diperoleh.

Dari perhitungan tersebut telah diperoleh nilai DBI untuk Cluster berdasarkan Kedalaman adalah 1.699595733941462

#### 4.3. Clustering Berdasarkan Tahun

Pada bagian ini, akan dilakukan analisis berdasarkan tahun untuk mengeksplorasi pola dan kelompok data berdasarkan dimensi waktu. *Clustering* berdasarkan tahun bertujuan untuk mengidentifikasi adanya kemungkinan hubungan atau perubahan tertentu dalam data selama periode waktu yang diteliti. Berikut nilai DBI pada *Clustering* berdasarkan tahun pada gambar 3

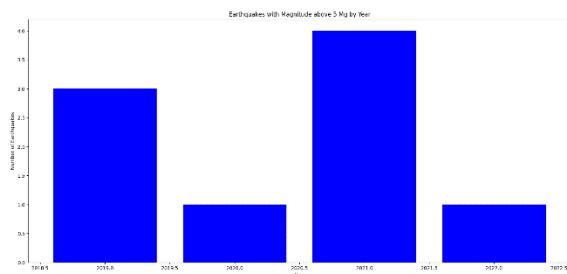


Gambar 3. Nilai DBI Per Tahun

Pada tahun 2017, hasil evaluasi *clustering* menggunakan Davies-Bouldin Index (DBI) menunjukkan nilai sebesar 0.16369220399911272. Dengan nilai DBI tersebut, dapat disimpulkan bahwa *clustering* pada data tahun 2017 relatif memiliki kualitas yang baik, dan pola kelompok data dalam periode tersebut dapat diidentifikasi dengan baik

#### 4.4. Clustering Berdasarkan Magnitude

Pada bagian ini, akan dilakukan analisis bertujuan untuk mengidentifikasi kelompok gempa dengan karakteristik kekuatan diatas 5 Magnitude. *Clustering* berdasarkan magnitude. Seperti pada gambar 4



Gambar 4. Jumlah Gempa diatas 5 Magnitude

Berdasarkan analisis data gempa dengan kekuatan lebih dari 5 magnitude, ditemukan bahwa pada tahun 2021 terdapat 4 kali kejadian gempa dengan tingkat kekuatan yang berpotensi menyebabkan kerusakan pada bangunan.

Informasi ini menyoroti pentingnya pemantauan dan kewaspadaan terhadap gempa bumi di wilayah tersebut, terutama pada tahun-tahun dengan jumlah kejadian yang signifikan.

## SIMPULAN

Berdasarkan analisis data gempa, dapat disimpulkan bahwa daerah laut selatan Pacitan merupakan daerah yang sangat aktif secara seismik. Kluster gempa terbentuk di daerah ini pada sebagian besar tahun, menunjukkan adanya aktivitas gempa yang terus berlangsung. Namun, terdapat pengecualian pada cluster tahun 2019, di mana aktivitas gempa di daerah ini menurun. Tercatat adanya sejumlah gempa dengan magnitudo 5 atau lebih yang terjadi di wilayah ini. Gempa-gempa tersebut memiliki potensi untuk menyebabkan kerusakan pada bangunan. Dan terdapat pula sejumlah gempa yang terjadi di sepanjang jalur antara laut selatan Cilacap dan Pacitan. Hasil clustering gempa bumi di Pulau Jawa sangat dipengaruhi oleh optimalisasi nilai epsilon dan min\_samples. Sebagai contoh, pada tahun 2017 dengan menggunakan nilai epsilon sebesar 0.15 dan min\_samples sebesar 20, didapatkan hasil clustering dengan nilai Davies-Bouldin Index (DBI) sebesar 0.16369220399911272. Nilai DBI yang rendah tersebut menunjukkan bahwa clustering tersebut memiliki kualitas yang baik, dengan kelompok-kelompok yang saling terpisah dengan baik dan kompak di dalamnya.

Untuk penelitian selanjutnya yaitu pengembangan model prediktif yaitu menggunakan data historis gempa bumi untuk

mengembangkan model prediktif yang dapat membantu dalam meramalkan potensi gempa bumi di masa depan. Model ini dapat memperhitungkan faktor-faktor seperti pola aktivitas seismik, perubahan geologi, dan faktor lingkungan lainnya. Penelitian selanjutnya yang kedua yaitu analisis detail terhadap cluster tahun 2019 mengenai Penurunan aktivitas gempa di daerah laut selatan Pacitan pada tahun 2019 perlu diteliti lebih lanjut untuk memahami penyebabnya. Analisis ini dapat mencakup perubahan geologi lokal, aktivitas manusia yang memengaruhi stres tektonik, atau faktor-faktor alam lainnya yang dapat mempengaruhi aktivitas seismik. Evaluasi Potensi Kerusakan dan Dampak: Melakukan evaluasi lebih lanjut terhadap gempa-gempa dengan magnitudo 5 atau lebih yang terjadi di wilayah tersebut. Penelitian ini dapat memperkirakan potensi kerusakan pada bangunan dan infrastruktur serta dampak sosial ekonomi yang mungkin terjadi sebagai akibat dari gempa-gempa tersebut. Penelitian selanjutnya yang ketiga yaitu optimasi parameter DBSCAN dengan melakukan studi lebih lanjut tentang pengaruh parameter DBSCAN (seperti nilai epsilon dan min\_samples) terhadap hasil clustering. Penelitian ini dapat membantu dalam menentukan parameter optimal yang dapat menghasilkan cluster-cluster yang paling representatif dan informatif untuk memahami pola aktivitas gempa bumi secara lebih baik. Penelitian selanjutnya yang keempat yaitu perbaikan sistem pemantauan gempa mengenai peningkatan infrastruktur pemantauan gempa bumi di wilayah tersebut, termasuk peningkatan jumlah dan distribusi stasiun pemantauan serta pengembangan teknologi pemantauan yang lebih canggih untuk mendapatkan data gempa yang lebih akurat dan real-time.

## DAFTAR PUSTAKA

- Artatia, H., & Hakim, R. F. (2015). Pengelompokan Dampak Gempa Bumi dari Segi Kerusakan Fasilitas pada Provinsi yang Berpotensi Gempa di Indonesia Menggunakan K-Means-Clustering. *Prosiding Seminar Nasional Matematika Dan Pendidikan Matematika UMS*, 742–748.
- Bahri, Z., & Mungkin, M. (2019). Penggunaan SCR sebagai alarm peringatan dini pada saat terjadi gempa bumi. *JET (Journal of*

- Electrical Technology), 4(3), 101–105.*
- Bora, D. J., & Gupta, D. A. K. (2014). A Comparative study Between Fuzzy Clustering Algorithm and Hard Clustering Algorithm. *International Journal of Computer Trends and Technology, 10(2), 108–113.*  
<https://doi.org/10.14445/22312803/ijctt-v10p119>
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). Data Mining: Concepts and Techniques: Concepts and Techniques (3rd Edition). In *Data Mining*. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123814791000010>
- Hartatik, H., & Cahya, A. S. D. (2020). Clusterisasi Kerusakan Gempa Bumi di Pulau Jawa Menggunakan SOM. *Jurnal Ilmiah Intech : Information Technology Journal of UMUS, 2(02), 25–34.*  
<https://doi.org/10.46772/intech.v2i02.286>
- Larose, D. T., & Larose, C. D. (2015). *Data Mining and Predictive Analytics*. John Wiley & Sons, Inc.
- Omran, M. G. H., Engelbrecht, A. P., & Salman, A. (2007). An overview of clustering methods. *Intelligent Data Analysis, 11(6), 583–605.*  
<https://doi.org/10.3233/ida-2007-11602>
- Pakuani, K. W., & Kurniawan, R. (2021). Kajian Penentuan Nilai Epsilon Optimal Pada Algoritma DMDSCAN Dan Pemetaan Daerah Rawan Gempa Bumi Di Indonesia Tahun 2014-2020. *Seminar Nasional Official Statistics, 2021(1), 991–1000.*  
<https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2021i1.847>
- Setiawan, I. N., Krisnawati, D., Pramana, S., & Tanur, E. (2022). Klasterisasi Wilayah Rentan Bencana Alam Berupa Gerakan Tanah Dan Gempa Bumi Di Indonesia. *Seminar Nasional Official Statistics, 2022(1), 669–676.*  
<https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2022i1.1538>
- Soehaimi, A. (2008). Seismotektonik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa. *Indonesian Journal on Geoscience, 3(4), 227–240.*  
<https://doi.org/10.17014/ijog.vol3no4.20085>
- Supriyadi, B., Windarto, A. P., Soemartono, T., & Mungad. (2018). Classification of natural disaster prone areas in Indonesia using K-means. *International Journal of Grid and Distributed Computing, 11(8), 87–98.*  
<https://doi.org/10.14257/ijgdc.2018.11.8.08>
- Tanzil Furqon, M., & Muflikhah, L. (2016). Clustering the Potential Risk of Tsunami Using Density-Based Spatial Clustering of Application With Noise (Dbscan). *Journal of Environmental Engineering and Sustainable Technology, 3(1), 1–8.*  
<https://doi.org/10.21776/ub.jeest.2016.003.01.1>
- Trappenberg, T. (2019). *Fundamentals of Machine Learning* (T. Trappenberg (ed.)). Oxford University Press.
- Wahyu, A., & Rushenda. (2022). Klasterisasi Dampak Bencana Gempa Bumi. *JEPIN (Jurnal Edukasi Dan Penelitian Informatika), 8(1), 175–179.*  
<https://doi.org/10.26418/jp.v8i1>