

PEMETAAN KLASSTER KERUSAKAN GEMPABUMI DI KOTA PADANG MENGGUNAKAN PENDEKATAN DBSCAN

EARTHQUAKE DAMAGE CLUSTER MAPPING IN PADANG CITY USING THE DBSCAN APPROACH

Rahmat Hidayat

*E-mail: 048409024@ecampus.ut.ac.id

Staistika, Fakultas Sains & Teknologi, Universitas Terbuka

Abstrak

Kota Padang merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki risiko tinggi terhadap bencana gempabumi karena lokasinya yang berdekatan dengan jalur patahan aktif dan zona subduksi. Dampak dari gempabumi seringkali menimbulkan kerusakan infrastruktur yang signifikan, sehingga diperlukan pemetaan pola kerusakan untuk mendukung mitigasi bencana yang lebih terarah. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan kluster kerusakan akibat gempabumi di Kota Padang dengan menggunakan pendekatan *Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise* (DBSCAN). Metode DBSCAN dipilih karena kemampuannya dalam menemukan kelompok data dengan bentuk yang tidak beraturan serta mengidentifikasi titik-titik kerusakan yang dianggap sebagai Noise. Data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup koordinat lokasi titik kerusakan dan tingkat dampak yang ditimbulkan. Proses pengolahan data dilakukan dengan menentukan parameter optimal berupa *Epsilon* (Eps) dan *Minimum Points* (MinPts). Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma DBSCAN berhasil mengidentifikasi zona-zona konsentrasi kerusakan tinggi yang terbagi ke dalam beberapa kluster spasial di wilayah perkotaan. Kluster yang terbentuk memberikan gambaran visual mengenai area yang paling terdampak, sehingga memudahkan pemerintah daerah dalam menentukan prioritas rehabilitasi dan rekonstruksi pascabencana. Kesimpulan utama dari penelitian ini adalah pendekatan DBSCAN efektif dalam memetakan kepadatan kerusakan gempabumi di Kota Padang secara akurat untuk mendukung pengambilan keputusan dalam manajemen bencana.

Kata kunci: gempa bumi, kota padang, dbscan, kluster kerusakan, pemetaan

Abstract

Padang City is one of the regions in Indonesia that has a high risk of earthquake disasters due to its location close to active fault lines and subduction zones. The impact of earthquakes often causes significant infrastructure damage, so mapping damage patterns is necessary to support more targeted disaster mitigation. This study aims to map clusters of earthquake damage in Padang City using the *Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise* (DBSCAN) approach. The DBSCAN method was chosen because of its ability to find groups of data with irregular shapes and identify points of damage that are considered Noise. The data used in this study include the coordinates of the location of the damage points and the level of impact caused. The data processing was carried out by determining the optimal parameters in the form of *Epsilon* (Eps) and *Minimum Points* (MinPts). The results show that the DBSCAN algorithm successfully identified zones of high damage concentration divided into several spatial clusters in urban areas. The formed clusters provide a visual depiction of the most affected areas, thus facilitating local governments in determining post-disaster rehabilitation and reconstruction priorities. The main conclusion of this study is that the DBSCAN approach is effective in

mapping the density of earthquake damage in Padang City accurately to support decision making in disaster management.

Keywords: *earthquake, Padang city, dbscan, damage cluster, mapping*

1. PENDAHULUAN

Kota Padang merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap bencana gempa bumi karena posisinya yang terletak di dekat jalur patahan aktif Semangko dan zona subduksi lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia [1][2]. Secara geologis, Kota Padang berada pada zona seismik aktif yang telah mengalami berbagai kejadian gempa bumi destruktif sepanjang sejarah, termasuk gempa bumi besar tahun 2009 dengan magnitudo 7,6 SR yang menyebabkan kerusakan infrastruktur masif dan korban jiwa [3][4]. Kondisi geologi ini menjadikan Padang sebagai salah satu kota dengan risiko seismik tertinggi di Indonesia [5][6].

Dampak dari gempa bumi di Kota Padang tidak hanya mengakibatkan kerusakan struktural bangunan, tetapi juga menimbulkan kerugian ekonomi yang signifikan serta trauma psikologis bagi masyarakat [7][8]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa distribusi kerusakan akibat gempa bumi di Padang memiliki pola spasial yang tidak merata, dengan beberapa area mengalami kerusakan lebih parah dibandingkan area lainnya meskipun berada pada jarak episentrum yang relatif sama [9][10]. Hal ini mengindikasikan adanya faktor-faktor lokal seperti jenis tanah, kondisi geologi permukaan, dan kualitas bangunan yang mempengaruhi tingkat kerusakan [11][12].

Studi terkait kerentanan seismik telah banyak dilakukan di berbagai wilayah Indonesia, termasuk Kota Padang, dengan menggunakan berbagai metode seperti analisis mikrotremor, pemetaan indeks kerentanan seismik, dan analisis percepatan tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration*/PGA) [13][14][15]. Penelitian-penelitian tersebut mengidentifikasi bahwa wilayah pesisir Padang memiliki nilai PGA yang tinggi serta indeks kerentanan seismik yang lebih besar dibandingkan dengan wilayah perbukitan [16][17][18]. Namun demikian, studi-studi tersebut umumnya berfokus pada pemetaan risiko secara umum tanpa mengidentifikasi kluster atau pengelompokan area dengan karakteristik kerusakan yang serupa.

Pendekatan *Clustering* atau pengelompokan data menjadi penting dalam analisis kerusakan gempa bumi karena dapat mengidentifikasi pola spasial dan karakteristik kerusakan yang memiliki kemiripan [19][20]. Metode *Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise* (DBSCAN) merupakan salah satu algoritma *Clustering* yang efektif untuk mengidentifikasi kluster berbasis kepadatan data spasial, serta mampu mendeteksi Noise atau outlier dalam dataset [21][22]. DBSCAN telah diaplikasikan dalam berbagai studi kebencanaan, termasuk analisis episentrum gempa bumi, pemetaan zona bahaya, dan identifikasi area rawan bencana [23][24][25].

Berbagai penelitian telah menggunakan metode analisis seismik deterministik (*Deterministic Seismic Hazard Analysis*/DSHA) dan probabilistik (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*/PSHA) untuk mengevaluasi bahaya gempa bumi [26][27][28]. Metode DSHA memberikan estimasi percepatan tanah maksimum berdasarkan skenario gempa bumi terburuk, sedangkan PSHA memberikan probabilitas kejadian gempa bumi dalam periode waktu tertentu [29][30]. Kedua metode ini telah diimplementasikan di berbagai wilayah Indonesia untuk memetakan tingkat bahaya seismik dan merencanakan mitigasi bencana [31][32].

Studi tentang respons struktur bangunan terhadap gempa bumi juga menjadi fokus penting dalam upaya mitigasi bencana [33][34]. Analisis kinerja struktur bangunan menggunakan metode *pushover* dan analisis dinamik telah dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan bangunan dalam menahan beban gempa [35][36]. Penelitian-penelitian ini menunjukkan bahwa

karakteristik tanah lokal memiliki pengaruh signifikan terhadap amplifikasi gelombang seismik dan tingkat kerusakan struktur [37][38].

Dalam ilmu mitigasi bencana gempabumi, kapasitas masyarakat dalam merespons ancaman gempa dan tsunami juga menjadi faktor krusial [39][40]. Studi tentang kesiapsiagaan masyarakat, sistem evakuasi, dan pemetaan rute evakuasi tsunami telah dilakukan di berbagai wilayah pesisir Indonesia, termasuk Kota Padang [41]. Integrasi antara analisis bahaya seismik, pemetaan kerusakan, dan kapasitas masyarakat dalam menghadapi bencana menjadi kunci dalam pengembangan strategi mitigasi yang komprehensif.

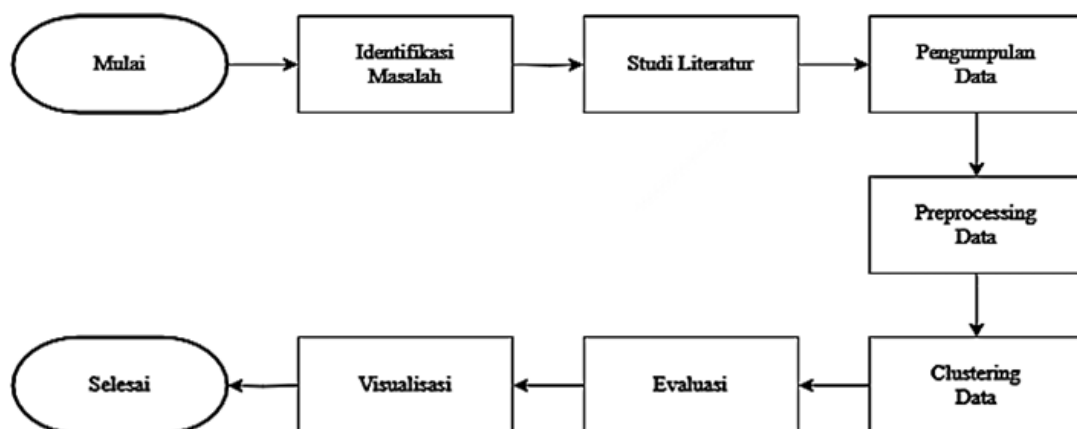
Meskipun berbagai studi telah dilakukan terkait pemetaan risiko gempabumi di Kota Padang, belum ada penelitian yang secara spesifik menggunakan pendekatan DBSCAN untuk mengidentifikasi kluster kerusakan gempabumi berdasarkan data historis dan karakteristik spasial. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemetaan kluster kerusakan gempabumi di Kota Padang menggunakan algoritma DBSCAN dengan mempertimbangkan parameter-parameter seperti lokasi kerusakan, tingkat kerusakan, dan karakteristik geologi lokal. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih detail tentang distribusi spasial kerusakan gempabumi serta menjadi dasar dalam perencanaan mitigasi bencana yang lebih efektif dan terarah di Kota Padang [42].

Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem informasi kebencanaan berbasis spasial yang dapat digunakan oleh pemerintah daerah, perencana kota, dan masyarakat untuk meningkatkan kesiapsiagaan dan resiliensi terhadap ancaman gempabumi di masa mendatang.

2. METODOLOGI

2.1. Alur Penelitian

Tahapan penelitian disusun secara sistematis dan terstruktur sebagaimana digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2. Identifikasi Masalah

Fokus utama pada fase ini adalah menyelaraskan solusi teknis dengan urgensi permasalahan yang dihadapi. Identifikasi masalah dilaksanakan melalui studi terhadap isu-isu kontemporer serta pemanfaatan data historis dari platform DIBI sebagai landasan utama penelitian.

2.3. Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini diperoleh melalui laman resmi Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI) yang dikelola oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) melalui situs dibi.bnpb.go.id. Data yang dikumpulkan secara spesifik merupakan data kejadian gempabumi di Kota Padang (sesuaikan rentang tahunnya, misal: periode 2009-2024 atau sesuai data Anda). Variabel data yang diekstraksi meliputi variabel dampak kerusakan yang terdiri dari:

1. Kerusakan Infrastruktur: mencakup rumah tinggal, fasilitas pendidikan, fasilitas kesehatan, tempat peribadatan, fasilitas umum, perkantoran, jembatan, serta area komersial (pabrik dan kios).
2. Data Korban: mencakup jumlah korban jiwa (meninggal/hilang), luka-luka, serta masyarakat yang menderita dan mengungsi.

2.4. Preprocessing Data Spasial

Tahap prapemrosesan sangat krusial untuk memastikan bahwa algoritma *Clustering* bekerja pada data yang bersih dan konsisten secara spasial. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pembersihan Data (*Data Cleaning*): Melakukan filtrasi terhadap entri data yang redundan atau tidak memiliki relevansi dengan variabel kerusakan infrastruktur akibat gempabumi di Kota Padang.
2. Seleksi Fitur: Memilih fitur kunci yang merepresentasikan dimensi spasial (koordinat) dan dimensi dampak (skala kerusakan) guna memfokuskan analisis pada variabel yang memiliki korelasi langsung dengan intensitas bencana.
3. Penanganan Data yang Hilang (*Missing Values*): Melakukan imputasi atau eliminasi terhadap titik data yang tidak memiliki atribut koordinat yang lengkap untuk mencegah bias dalam perhitungan kedekatan antar-objek.
4. Transformasi Koordinat ke Proyeksi UTM: Mengonversi data dari koordinat geografis (*Decimal Degrees*) ke sistem koordinat proyeksi *Universal Transverse Mercator* (UTM) Zona 47S. Transformasi ini wajib dilakukan agar perhitungan jarak dalam algoritma DBSCAN menggunakan satuan metrik (meter), yang memungkinkan penentuan radius *Epsilon* (Eps) secara presisi berdasarkan jarak fisik di lapangan.

2.5. Penentuan Parameter Optimal (Epsilon dan MinPts)

Efektivitas algoritma DBSCAN ditentukan oleh parameter *Epsilon* (Eps) dan Minimum Points (MinPts). Eps mendefinisikan radius lingkungan (*neighborhood*) di sekitar sebuah titik, sementara MinPts menentukan jumlah minimum titik yang diperlukan untuk membentuk sebuah kepadatan klaster. Dalam penelitian ini, penentuan Eps dilakukan melalui metode *k-distance graph*, di mana nilai "elbow" pada grafik jarak tetangga terdekat digunakan sebagai ambang batas optimal. Logika penentuan parameter ini juga mempertimbangkan preseden metodologi komputasi dalam analisis seismik guna memastikan ambang batas kepadatan yang ditetapkan mampu merepresentasikan pola distribusi spasial yang signifikan [21][22].

2.6. Langkah Kerja Algoritma DBSCAN

Algoritma DBSCAN memproses dataset kerusakan gempabumi melalui prosedur teknis berikut: Identifikasi Core Points Algoritma melakukan iterasi pada setiap titik kerusakan dalam dataset. Sebuah titik diklasifikasikan sebagai *Core Point* (titik inti) jika jumlah titik lain dalam radius Eps (termasuk titik itu sendiri) memenuhi atau melampaui ambang batas MinPts. Titik-titik inti inilah yang merepresentasikan *Spatial Autocorrelation* yang kuat antara titik

kerusakan. Ekspansi Klaster melalui *Reachability* Setelah *Core Point* teridentifikasi, algoritma akan memperluas klaster dengan menghubungkan semua titik yang berada dalam jangkauan (reachable) dari *Core Point* tersebut. Jika sebuah *Core Point* berada dalam radius Eps dari *Core Point* lain, keduanya digabungkan dalam satu klaster. Proses ini memungkinkan DBSCAN untuk mendeteksi klaster dengan bentuk yang tidak beraturan (*arbitrary shapes*) mengikuti pola sebaran geofisika di lapangan. Identifikasi Outlier/*Noise* Titik-titik yang tidak memenuhi kriteria sebagai *Core Point* dan tidak dapat dicapai dari klaster manapun secara otomatis dikategorikan sebagai *Noise*. Dalam konteks geospasial bencana, titik ini merepresentasikan kejadian kerusakan yang bersifat sporadis atau terisolasi.

2.7. Evaluasi

Setelah pengelompokan data selesai, langkah berikutnya adalah mengevaluasi validasi atas hasil cluster. Validasi ini untuk mengevaluasi kualitas pengelompokan, digunakan metode *Silhouette Coefficient* dalam penelitian ini. yang dihitung berdasarkan nilai siluet setiap data. Nilai siluet, yang berkisar antara -1 dan 1, menunjukkan seberapa baik data dikategorikan dalam suatu cluster. Berikut interpretasi nilai *Silhouette Coefficient*[7]:

Tabel 1. Kriteria Penilaian Silhouette Coefficient

<i>Silhouette Coefficient</i>	<i>Interpretasi</i>
0.71-1.00	Cluster kuat
0.51-0.70	Cluster layak atau sesuai
0.25-0.50	Cluster lemah
<0.25	Tidak dapat disebut Cluster

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menemukan pola penyebaran kerusakan akibat bencana gempa bumi di Kota Padang dengan menerapkan algoritma DBSCAN. Algoritma ini diterapkan pada data yang bersumber dari laman resmi Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI) Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). Data yang digunakan mencakup jumlah korban (meninggal, luka-luka, mengungsi) dan jumlah kerusakan infrastruktur (rumah, fasilitas umum) yang terjadi di berbagai kecamatan di Kota Padang selama periode tahun 2009 pasca gempa bumi tahun 2024.

3.1 . *Preprocessing Data*

Langkah pertama dalam *preprocessing* data adalah melakukan pembersihan data (*data cleaning*) untuk menghilangkan duplikat dan nilai yang tidak valid atau kosong (*missing values*). Hal ini dilakukan untuk memastikan kebersihan dan konsistensi data dampak gempa bumi yang digunakan dalam analisis. Setelah itu, data yang telah dibersihkan kemudian diproses melalui transformasi data sesuai dengan format yang dibutuhkan oleh algoritma DBSCAN. Pada tahap berikutnya, dipilih dua variabel utama untuk dinormalisasi, yaitu total kerusakan (infrastruktur) dan total korban. Selanjutnya, data dinormalisasi untuk menstandarisasi skala variabel, sehingga memastikan setiap variabel memiliki rentang nilai yang seragam dan menghindari bias dalam proses pembentukan klaster. Data hasil perhitungan disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Normalisasi Data

No	Kecamatan	Total Kerusakan	Total Korban
1	Padang Barat	0.02238981	-0.09329494
2	Padang Utara	0.25076582	-0.30965493
3	Padang Timur	0.4030165	0.02392288
4	Padang Selatan	2.30614996	-0.15799862
5	Koto Tengah	-0.66273824	-0.24555986
...	...	...	...
9	Pauh	0.09851514	1.11657345
10	Kuranji	-0.43436223	-0.48110838
11	Bungus Teluk Kabung	-0.20598621	-0.45821604

3.2. Clustering Data

Algoritma DBSCAN memerlukan dua parameter utama untuk bekerja, yaitu Epsilon (Eps) dan Minimal Points (MinPts). Untuk mencapai pengelompokan pola kerusakan yang optimal, diperlukan beberapa percobaan dengan nilai Eps dan MinPts yang berbeda-beda. Tabel 3 memuat ringkasan hasil percobaan *Clustering* DBSCAN dengan variasi nilai MinPts dan Eps terhadap data gempa bumi di Kota Padang.

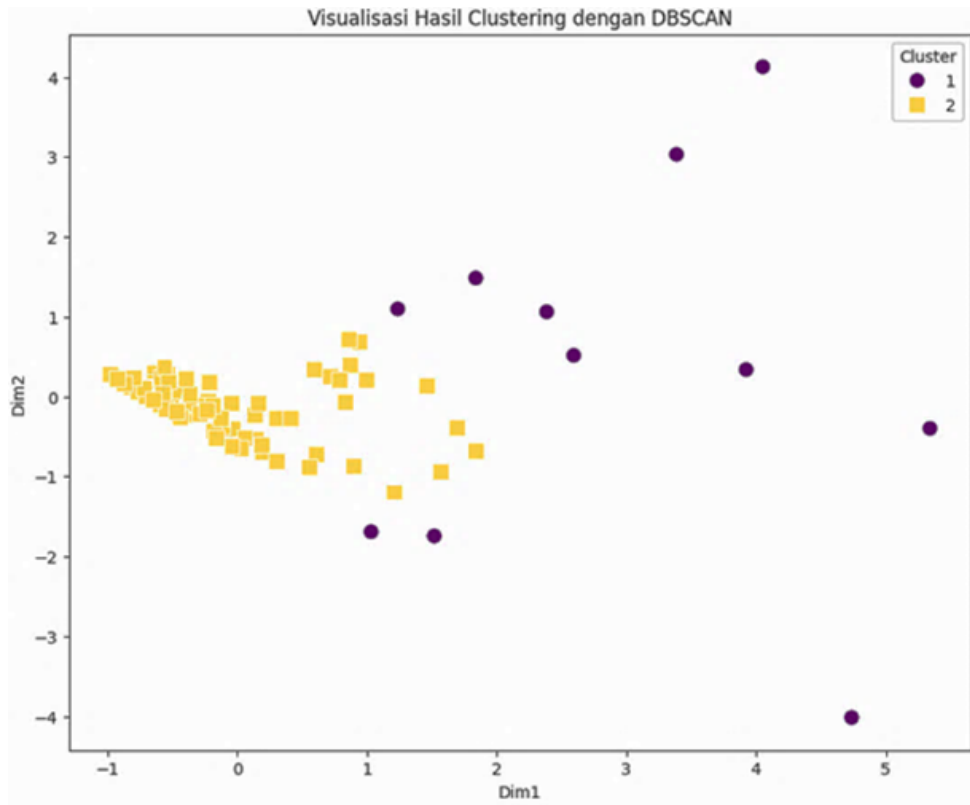
Tabel 3. Hasil Percobaan Eps dan MinPTS

Percobaan	Epsilon	MinPTS	Jumlah Cluster	Silhouette Coefficient
1	0.1	1	37	0.107
2	0.1	3	4	0.220
3	0.1	5	3	0.087
4	0.2	1	25	0.319
...	...	...	...	...
13	0.5	1	11	0.468
14	0.5	3	2	0.703
15	0.5	5	2	0.684

Merujuk pada hasil eksperimen di Tabel 3, konfigurasi parameter paling optimal dicapai pada nilai Eps 0.5 dan MinPts 3. Kombinasi ini menghasilkan *Silhouette Coefficient* sebesar 0.703, yang mengindikasikan terbentuknya struktur kluster berkualitas tinggi, di mana setiap objek data memiliki tingkat keeratan yang kuat dengan klasternya masing-masing.

3.3. Visualisasi Data

Gambar 2 merepresentasikan hasil pengelompokan data menggunakan algoritma DBSCAN dengan parameter MinPts dan Eps yang telah dioptimalkan. Melalui grafik *scatter plot*, pola distribusi data beserta struktur kluster yang terbentuk dapat diamati secara jelas.



Gambar 2. Visualisasi Data Dengan DBSCAN

Penerapan algoritma DBSCAN dengan parameter Epsilon (ϵ) 0,5 dan MinPts 3 berhasil memetakan kecamatan-kecamatan di Kota Padang ke dalam dua kluster utama. Pengelompokan ini didasarkan pada karakteristik tingkat kerusakan dan jumlah korban akibat gempa bumi. Rincian hasil anggota setiap kluster disajikan selengkapnya pada Tabel 4."

Tabel 4. Hasil Pengelompokan Cluster

Cluster	Kecamatan
<i>Cluster 1</i>	Padang Barat, Padang Utara, Koto Tengah
<i>Cluster 2</i>	Padang Selatan, Padang Timur, Lubuk Begalung, Lubuk Kilangan, Pauh, Kuranji, Nanggalo, Bungus Teluk Kabung

Tabel 4 menunjukkan rincian anggota dari masing-masing kluster yang terbentuk. Cluster 1 terdiri dari 3 kecamatan yang memiliki karakteristik kerusakan dan korban serupa (misalnya tingkat kerusakan tinggi), sedangkan Cluster 2 mencakup 8 kecamatan lainnya dengan karakteristik yang berbeda (misalnya tingkat kerusakan sedang/rendah). Pembagian ini didasarkan pada kedekatan data spasial dan atribut kerusakan gempa bumi yang diolah menggunakan DBSCAN.

Pasca proses pengelompokan data, tahap selanjutnya adalah mengidentifikasi karakteristik dari setiap kluster yang terbentuk. Identifikasi ini dilakukan dengan menghitung nilai rata-rata (*mean*) variabel pada masing-masing kelompok. Rincian hasil perhitungan statistik tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Rata-rata Identifikasi Cluster

Cluster	Rata-rata Total Kerusakan	Rata-rata Total Korban
1	153.27	32.15
2	54.53	5.27

Cluster 1 dengan jumlah 3 kecamatan memiliki rata-rata total kerusakan sebesar 1.532 unit, serta rata-rata total korban sebesar 322 jiwa. Angka-angka tersebut adalah yang tertinggi, sehingga Cluster 1 menjadi wilayah dengan tingkat kerentanan dampak gempabumi yang tinggi. Sedangkan Cluster 2 dengan jumlah 8 kecamatan memiliki rata-rata total kerusakan sebesar 245 unit, serta rata-rata total korban sebesar 50 jiwa. Angka-angka ini menunjukkan bahwa Cluster 2 memiliki tingkat kerentanan dampak gempabumi yang rendah.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan untuk memetakan pola kerusakan akibat gempabumi di Kota Padang menggunakan algoritma DBSCAN, data yang diolah mencakup jumlah korban dan total kerusakan infrastruktur di berbagai kecamatan yang bersumber dari laman resmi Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). Penelitian ini menghasilkan parameter optimal dengan nilai Eps 0,5 dan MinPts 3, yang memberikan nilai Silhouette Coefficient sebesar 0,703. Dengan menggunakan konfigurasi tersebut, terbentuk 2 klaster, yang terdiri dari Klaster 1 sebanyak 3 kecamatan dan Klaster 2 sebanyak 8 kecamatan. Berdasarkan analisis karakteristik centroid, wilayah dalam Klaster 1 memiliki rata-rata total kerusakan dan korban jiwa yang tinggi, sehingga dikategorikan sebagai wilayah dengan tingkat dampak kerusakan gempabumi yang tinggi (berat). Sementara itu, wilayah dalam Klaster 2 memiliki rata-rata total kerusakan dan korban yang rendah, sehingga dikategorikan sebagai wilayah dengan tingkat dampak kerusakan gempabumi yang rendah (ringan). Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu Pemerintah Kota Padang dalam memprioritaskan penanganan, mitigasi, serta rehabilitasi pasca-gempa berdasarkan tingkat keparahan kerusakan wilayah. Selain itu, penulis berharap penelitian selanjutnya dapat mengembangkan metode klasterisasi lain untuk dibandingkan dengan metode DBSCAN guna mendapatkan hasil pemetaan risiko bencana yang lebih akurat.

5. DAFTAR RUJUKAN

- [1] S. Saaduddin, S. Sismanto, and M. Marjiyono, "PEMETAAN INDEKS KERENTANAN SEISMIK KOTA PADANG SUMATERA BARAT DAN KORELASINYA DENGAN TITIK KERUSAKAN GEMPABUMI 30 SEPTEMBER 2009," 2015. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/b2969b9a510aa710f50242a95745847c47d8d4e4>
- [2] S. Lunga, "PENENTUAN DAN PEMETAAN NILAI PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM, INDEKS KERENTANAN SEISMIK DAN GROUND SHEAR STRAIN DI WILAYAH KOTA JAYAPURA BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR," 2016. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/ed3b39f405a1e2b9d0af887f1a2a44f7e60018e1>
- [3] T. Yulita, C. T. Lubis, and A. Hidayat, "PENENTUAN PREMI MURNI DI KABUPATEN KEPAHANG PROVINSI BENGKULU DENGAN MEMPERHITUNGKAN PELUANG KEJADIAN GEMPA BUMI DAN RASIO KERUSAKAN BANGUNAN," *VARIANCE: Journal of Statistics and Its Applications*, vol. 5, no. 2, pp. 147-158, 2023, doi: 10.30598/variancevol5iss2page147-158.

- [4] A. R. A. Ansory, H. Raihana, M. Farid, and A. Hadi, "Investigation of Sediment Layer Thickness Estimation at Bengkulu University Hospital Based on A0, f0, and T0 Values," *JURNAL GEOCELEBES*, vol. 8, no. 1, 2023, doi: 10.20956/geocelebes.v8i1.28144.
- [5] R. B. Sihombing and R. Rustadi, "PEMODELAN DAN ANALISA STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH PROSPEK PANASBUMI KEPAHIANG BERDASARKAN METODE GAYABERAT," *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, vol. 4, no. 2, 2020, doi: 10.23960/JGE.V4I2.1064.
- [6] R. A. Murdiantoro, S. Sismanto, and M. Marjiyono, "Pemetaan Daerah Rawan Kerusakan Akibat Gempabumi Di Kotamadya Denpasar dan Sekitarnya dengan Menggunakan Analisis Mikrotremor, Studi Kasus : Gempabumi Seririt 14 Juli 1976," 2018, doi: 10.22146/JFI.28373.
- [7] T. Yulita and A. R. Effendie, "ESTIMATION OF IBNR AND RBNS RESERVES USING RDC METHOD AND GAMMA GENERALIZED LINEAR MODEL," *MEDIA STATISTIKA*, vol. 15, no. 1, pp. 24-35, 2022, doi: 10.14710/medstat.15.1.24-35.
- [8] Mariyanto, "ESTIMASI POISSONS RATIO UNTUK ANALISIS DERAJAT SATURASI AIR PADA RESERVOIR GEOTERMAL MENGGUNAKAN DATA MEQ," 2013, doi: 10.12962/J23373520.V2I2.4155.
- [9] A. H. Wibisono, R. W. Ahadi, S. A. Ghifari, I. Dani, and S. Rasimeng, "Penentuan Episentrum dan Hiposentrum Gempa Bumi Menggunakan Metode Grid Search di Antelope Valley, California," *JURNAL GEOCELEBES*, vol. 5, no. 2, 2021, doi: 10.20956/geocelebes.v5i2.14635.
- [10] T. Yulita, "Perhitungan Nilai Cadangan Premi Tahunan Asuransi Jiwa Dwiguna Menggunakan Metode New Jersey dan Fackler," *Indonesian Journal of Applied Mathematics*, vol. 5, no. 1, 2025, doi: 10.35472/indojam.v5i1.2128.
- [11] T. Yulita, M. Patricia, and A. Hidayat, "PENENTUAN PREMI MURNI DARI DATA KLAIM ASURANSI KENDARAAN RODA EMPAT DENGAN JENIS PERLINDUNGAN COMPREHENSIVE," *VARIANCE: Journal of Statistics and Its Applications*, vol. 6, no. 1, pp. 75-86, 2024, doi: 10.30598/variancevol6iss1page75-86.
- [12] A. Nurrochman and S. Rasimeng, "Perbandingan Penggunaan Matlab dan Python Dalam Penentuan Episenter Gempa; Studi Kasus Gempa Laut Banda 06 Mei 2020," *Jurnal Ilmu Fisika dan Pembelajarannya (JIFP)*, vol. 4, no. 2, 2021, doi: 10.19109/jifp.v4i2.5993.
- [13] Y. Gong, Z. Li, M. Milazzo, K. Moore, and M. D. Provencher, "Credibility Methods for Individual Life Insurance," *Risks*, vol. 6, no. 4, 2018, doi: 10.3390/RISKS6040144.
- [14] M. Utami, "Analisis mekanisme pusat gempa Soroako 15 Februari 2011," 2011. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/edc248495c9f86a062e70f3e2e85ecb52e83fc3e>
- [15] Z. Hadi, "Mitigasi Bencana Alam Gempa Bumi pada Komunitas Sekolah di Pondok Pesantren Raudatul Jannah Lombok Utara," *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, vol. 7, no. 2, 2023, doi: 10.29408/geodika.v7i2.24599.
- [16] L. A. Aprillo, H. Santosa, and F. Hadi, "Analisis Total Electron Content (TEC) Menggunakan Continous Wavelet Transform Sebagai Indikator Prekursor Gempa Bumi Di Wilayah Provinsi Bengkulu," *JURNAL AMPLIFIER : JURNAL ILMIAH BIDANG TEKNIK ELEKTRO DAN KOMPUTER*, vol. 9, no. 2, 2019, doi: 10.33369/jamplifier.v9i2.15380.
- [17] M. Z. Rahmah and A. K. Mutaqin, "Uji Kecocokan Distribusi Binomial Negatif untuk Data Frekuensi Klaim Asuransi Kendaraan Bermotor di Indonesia," 2021, doi: 10.29313/V7I1.25898.

- [18] K. P. Sitorus, T. Yulita, and F. Lestari, "Perhitungan Cadangan Premi Asuransi Jiwa Berjangka dengan Menggunakan Metode Zillmer dan Fackler," *Indonesian Journal of Applied Mathematics*, vol. 4, no. 2, 2024, doi: 10.35472/indojam.v4i2.1944.
- [19] R. R. I. Purwasih, "Studi Identifikasi Gempa Bumi Pembangkit Tsunami di Selatan Pulau Jawa Periode 2005 - 2009," 2011. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/9fd353b5a8210268f65dcdd40bb9eba3c6a576b3>
- [20] A. Huda and A. Sahara, "PENENTUAN SUMBER GEMPA LOKAL BERDASARKAN WAKTU TIBA GELOMBANG P DAN S: STUDI KASUS LENGAN UTARA PULAU SULAWESI," *PETROGAS: Journal of Energy and Technology*, vol. 3, no. 2, 2021, doi: 10.58267/petrogas.v3i2.68.
- [21] M. Badrul, "Penggunaan automated phase picking pada estimasi hiposenter gempa lokal: Studi kasus lengan atas Sulawesi," 2015. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/63bbce3ae14f496166b08607a4c68299fa0bc2e7>
- [22] A. Huda, A. Sahara, and Y. Widyaningrum, "Penggunaan Automated Phase Picking pada Estimasi Hiposenter Gempa Lokal: Studi Kasus Lengan Atas Sulawesi," *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, vol. 1, no. 2, 2021, doi: 10.33019/jrfi.v1i2.2206.
- [23] E. A. Suwandi, I. Sari, and Waslaluddin, "Analisis Percepatan Tanah Maksimum, Intensitas Maksimum Dan Periode Ulang Gempa Untuk Menentukan Tingkat Kerentanan Seismik Di Jawa Barat (Periode Data Gempa Tahun 1974-2016)," 2017, doi: 10.17509/wafi.v2i2.9371.
- [24] A. Latifa, "Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum Untuk Memetakan Kerawanan Bencana Gempa Bumi dengan Metode Fukushima-Tanaka, Esteva dan Euclidean Distance di Pulau Lombok," *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, vol. 6, no. 2, 2022, doi: 10.24198/jiif.v6i2.39037.
- [25] D. Yuliana and I. G. Tejakusuma, "KEMAMPUAN PENANGANAN TERHADAP ANCAMAN BENCANA TSUNAMI DI WILAYAH PESISIR KOTA CILEGON," *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, vol. 11, no. 1, 2019, doi: 10.29122/jstmb.v11i1.3680.
- [26] M. Ahnan, Politeknik Negeri Jakarta, and P. Agung, "Settlement of Geosynthetic Encased Stone Columns Liquefaction Condition in Box Culvert," *Logic : Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*, vol. 21, no. 1, 2021, doi: 10.31940/LOGIC.V21I1.2259.
- [27] M. Patel, C. Solanki, and T. Thaker, "Deterministic Seismic Hazard Analysis of Bharuch City and Surrounding Region," *Disaster Advances*, vol. 15, no. 7, pp. 27-33, 2022, doi: 10.25303/1507da027033.
- [28] A. M. Sari, Syafriani, and F. S. Rahmatullah, "MAPPING OF THE PEAK GROUND ACCELERATION AND EARTHQUAKE INTENSITY IN PADANG CITY USING EMPIRICAL FORMULATION WITH ACCELEROGRAPH DATA VALIDATION," *PILLAR OF PHYSICS*, 2021, doi: 10.24036/12134171074.
- [29] N. Concha, "A DETERMINISTIC APPROACH OF GENERATING EARTHQUAKE LIQUEFACTION SEVERITY MAP OF MINDORO PHILIPPINE," *International Journal of Geomate*, vol. 18, 2020, doi: 10.21660/2020.70.9308.
- [30] R. W. Dari and D. Pujiastuti, "Studi Bahaya Seismik dengan Metode Probabilistic Seismic Hazard Analisis di Kabupaten Mentawai," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 10, no. 4, pp. 532-539, 2021, doi: 10.25077/jfu.10.4.532-539.2021.
- [31] F. Gustiana, D. Pujiastuti, and M. Minangsih, "Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Gempa Kota Padang Menggunakan Rumusan Fukushima-Tanaka," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 7, no. 4, pp. 346-352, 2018, doi: 10.25077/JFU.7.4.346-352.2018.
- [32] R. Imani, U. D. Arman, and A. Sari, "The community capacity to respond to earthquakes and tsunami threat in Air Tawar Barat Sub-District, Padang City, West Sumatra,

- Indonesia," IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 708, no. 1, p. 012005, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/708/1/012005.
- [33] A. D. Hariyanto, S. Triyadi, and A. Widyowijatnoko, "A Simple Stilt Structure Technique for Earthquake Resistance of Wooden Vernacular Houses in Bima, Sumbawa Island, Indonesia," *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, vol. 12, no. 4, 2022, doi: 10.18517/ijaseit.12.4.12848.
 - [34] R. Tauhidur and R. L. Chhangte, "Estimation of Peak Ground Acceleration (PGA) and Spectral Acceleration (Sa) Vertical Component for Interface Subduction Zone Earthquakes of North-east India (NEI) and Adjacent Regions," 2021, doi: 10.21203/rs.3.rs-873536/v1.
 - [35] E. Ariani, "ANALYSIS OF A PEAK GROUND ACCELERATION VALUE AND EARTHQUAKE INTENSITY USING DONOVAN METHOD IN BANTEN PROVINCE," 2020, doi: 10.21009/spektra.053.05.
 - [36] G. K. Trung, P. Nguyen, and N. D. Vinh, "Effect of Local Site Conditions on Earthquake Ground Motions in Hanoi: Results from Numerical Simulations," *VNU Journal of Science: Mathematics - Physics*, 2022, doi: 10.25073/2588-1124/vnumap.4684.
 - [37] M. Sugino, W. Tanishima, K. Tanaka, H. Kashiwa, and Y. Hayashi, "EFFECTS OF DYNAMIC SOIL-STRUCTURE INTERACTIONS IN AN OBSERVED RECORD ON ANALYZING DAMAGES TO WOODEN BUILDINGS IN THE 2016 KUMAMOTO EARTHQUAKE," *Journal of Structural Engineering B*, vol. 68B, pp. 408-, 2022, doi: 10.3130/aijjse.68b.0_408.
 - [38] R. V. T. Sapanji and D. Hamdani, "Mapping of Tsunami Disaster Mitigation Evacuation Routes of the Movement of the Sunda Subduction Megathrust (Case Study: Coastal Analysis of Southern Garut Regency)," *Proceeding of International Conference on Engineering, Technology, and Social Sciences (ICONETOS)*, vol. 2, no. 1, 2021, doi: 10.18860/iconetos.v2i1.1258.
 - [39] S. Tripathi and S. Zafar, "Deterministic Seismic Hazard Analysis of the Region," *International journal of engineering research and technology*, vol. 5, no. 2, 2016, doi: 10.17577/IJERTV5IS020638.
 - [40] H. Tusadiyah, "EVALUASI KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BETON BERTULANG DI TANAH KHUSUS BERDASARKAN ANALISIS PUSHOVER," *Racic : Rab Construction Research*, vol. 6, no. 1, 2021, doi: 10.36341/racic.v6i1.1584.
 - [41] V. Pradeep and Z. Sana, "COMPARATIVE STUDY ON METHODOLOGY OF NEO-DETERMINISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS OVER DSHA AND PSHA," 2018, doi: 10.26634/jste.6.4.13913.
 - [42] R. Hidayat and D. J. Ratnaningsih, "Analisis Sentimen Program MBG Menggunakan Algoritma Random Forest Dan Naive Bayes," *J. Comput. Informatics Res.*, vol. 5, no. 1, pp. 395–400, 2025.