



ANALISIS KLASTER WILAYAH RAWAN BENCANA DI KOTA AMBON MENGUNAKAN K-MEDOIDS BERBASIS DATA GEOSPASIAL BNPB

Sanusi Amir

Ucilinkun9@gmail.com

Article Info

Article history:

Received: 03-02-2025
Revised: 20-03-2025
Accepted: 10-04-2025
Published: 15-04-2025

Keywords:

First keyword
Second keyword
Third keyword
Fourth keyword
Fifth keyword

ABSTRACT

Kota Ambon merupakan salah satu wilayah di Indonesia Timur yang memiliki tingkat kerawanan bencana yang tinggi, meliputi banjir, tanah longsor, gempa bumi, dan gelombang pasang/abrasi. Pengelolaan risiko bencana yang efektif memerlukan pemetaan wilayah rawan bencana secara sistematis dan berbasis data. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kluster wilayah rawan bencana di Kota Ambon menggunakan algoritma K-Medoids yang diintegrasikan dengan data geospasial dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) periode 2020–2024. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan algoritma K-Medoids berbasis data geospasial multivariat BNPB yang dikombinasikan dengan validasi menggunakan Silhouette Coefficient dan Davies-Bouldin Index (DBI) secara simultan untuk klasifikasi tingkat kerawanan bencana di tingkat kecamatan di Kota Ambon, sebuah pendekatan yang belum pernah diterapkan secara spesifik pada wilayah Kota Ambon sebelumnya. Data yang digunakan mencakup enam variabel kebencanaan: frekuensi kejadian bencana, jumlah korban jiwa, jumlah rumah rusak, luas area terdampak, intensitas curah hujan, dan indeks bahaya geologi. Proses klusterisasi menghasilkan tiga kluster optimal ($k=3$) dengan nilai Silhouette Coefficient sebesar 0,672 dan DBI sebesar 0,841, yang menunjukkan kualitas kluster yang baik. Hasil analisis mengidentifikasi Kluster I (Kerawanan Tinggi) mencakup Kecamatan Nusaniwe dan Sirimau, Kluster II (Kerawanan Sedang) mencakup Kecamatan Teluk Ambon Baguala dan Baguala, serta Kluster III (Kerawanan Rendah) mencakup Kecamatan Leitimur Selatan dan Teluk Ambon. Visualisasi geospasial hasil klusterisasi menghasilkan peta sebaran kerawanan bencana yang dapat dimanfaatkan sebagai acuan perencanaan mitigasi bencana berbasis kecamatan di Kota Ambon.

Kata Kunci: *K-Medoids, Data Geospasial, BNPB, Klusterisasi, Kerawanan Bencana, Kota Ambon, Silhouette Coefficient*

1. INTRODUCTION

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat kerawanan bencana tertinggi di dunia. Secara geografis, Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik, sehingga menjadikan wilayah ini rentan terhadap berbagai jenis bencana alam, seperti gempa bumi, tsunami, letusan gunung api, tanah longsor, banjir, dan abrasi pantai [1]. Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), sepanjang tahun 2020 hingga 2024 terjadi lebih dari 3.500 kejadian bencana alam di seluruh wilayah Indonesia dengan korban jiwa dan kerugian materiel yang sangat signifikan [2].

Kota Ambon sebagai ibu kota Provinsi Maluku merupakan salah satu kota yang berada di kawasan rawan bencana. Kondisi geografi Kota Ambon yang berada di Pulau Ambon dengan topografi berbukit-bukit, curah hujan tinggi, serta aktivitas seismik yang intens menjadikannya wilayah yang berpotensi tinggi terhadap terjadinya bencana alam, khususnya banjir bandang, tanah longsor, dan gempa bumi. Data Geoportal BNPB mencatat bahwa Kota Ambon

mengalami peningkatan frekuensi kejadian bencana sebesar 34% selama periode 2020–2024 dibandingkan periode sebelumnya [2]. Kondisi ini diperburuk oleh pertumbuhan permukiman di kawasan lereng dan sempadan sungai yang rentan.

Upaya mitigasi dan penanggulangan bencana yang efektif memerlukan pemahaman yang komprehensif mengenai pola distribusi spasial kerawanan bencana di tingkat wilayah terkecil (kecamatan). Pemetaan kerawanan bencana secara sistematis dan berbasis data dapat memberikan landasan ilmiah bagi pemerintah daerah dalam menetapkan prioritas intervensi, alokasi sumber daya, dan penyusunan rencana tata ruang berbasis risiko bencana. Namun demikian, penelitian yang secara spesifik mengkaji klusterisasi wilayah rawan bencana di Kota Ambon dengan pendekatan data mining geospasial masih sangat terbatas.

Algoritma K-Medoids (Partitioning Around Medoids/PAM) merupakan salah satu metode klusterisasi berbasis partisi yang dikenal lebih robust dibandingkan K-Means dalam menangani data yang mengandung outlier dan noise. K-Medoids menggunakan titik data aktual (medoid) sebagai pusat

klaster sehingga lebih representatif terhadap karakteristik data nyata [3]. Dalam konteks data geospasial kebencanaan yang memiliki variabilitas tinggi dan seringkali mengandung nilai ekstrem, K-Medoids dianggap lebih sesuai dibandingkan K-Means untuk menghasilkan klaster yang bermakna secara geografis dan statistik.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan metode K-Medoids untuk klasterisasi wilayah rawan bencana di Indonesia, di antaranya penelitian Inayah et al. (2024) yang mengklasterisasi data kejadian gempa bumi di Indonesia menggunakan K-Medoids dengan nilai Silhouette Coefficient 0,68 [3], serta penelitian Wicaksono dan Susetyo (2023) yang mengklasterisasi zona rawan bencana alam di Sumatera Barat menggunakan algoritma K-Means dan library GeoPandas [4]. Namun, penelitian-penelitian tersebut belum secara spesifik mengkaji wilayah Kota Ambon dengan pendekatan multivariat yang mengintegrasikan data geospasial BNPB terbaru.

Penelitian ini mengajukan pendekatan baru (novelty) berupa penerapan algoritma K-Medoids berbasis data geospasial multivariat BNPB periode 2020–2024 yang dikombinasikan dengan evaluasi klaster menggunakan Silhouette Coefficient dan Davies-Bouldin Index (DBI) secara simultan, untuk menghasilkan peta klaster wilayah rawan bencana di tingkat kecamatan di Kota Ambon. Integrasi antara data geospasial BNPB yang mencakup enam dimensi kerawanan bencana dengan metode klasterisasi K-Medoids dan visualisasi peta kerawanan merupakan kontribusi ilmiah yang belum pernah dilakukan sebelumnya untuk konteks spasial Kota Ambon.

Tujuan penelitian ini adalah: (1) mengidentifikasi klaster wilayah rawan bencana di Kota Ambon berdasarkan data geospasial BNPB menggunakan algoritma K-Medoids; (2) menentukan jumlah klaster optimal dengan menggunakan Silhouette Coefficient dan Davies-Bouldin Index; dan (3) menghasilkan peta distribusi spasial kerawanan bencana berbasis kecamatan di Kota Ambon sebagai dasar perencanaan mitigasi bencana. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi BPBD Kota Ambon dan pemerintah daerah dalam pengambilan kebijakan penanggulangan bencana yang berbasis bukti ilmiah.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Wilayah Studi

Penelitian ini dilaksanakan di Kota Ambon, Provinsi Maluku, Indonesia. Kota Ambon secara geografis terletak pada koordinat 3°34'8,40" – 3°47'40,80" Lintang Selatan dan 128°1'33,6" – 128°18'43,2" Bujur Timur, dengan luas wilayah daratan ± 377 km² dan luas lautan ± 17.550 km². Kota Ambon terdiri dari 5 (lima) kecamatan, yaitu: Kecamatan Nusaniwe, Kecamatan Sirimau, Kecamatan Teluk Ambon Baguala, Kecamatan Baguala, dan Kecamatan Leitimur Selatan, serta Kecamatan Teluk Ambon sebagai wilayah pemekaran,

dengan total 50 desa/kelurahan. Kondisi topografi wilayah Kota Ambon didominasi oleh daerah perbukitan (>60% wilayah) dengan kemiringan lereng curam, sungai-sungai pendek berarus deras, dan garis pantai sepanjang ±98 km.

2.2 Data dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari Geoportal Data Bencana Indonesia yang dikelola oleh BNPB (<https://gis.bnpb.go.id/> dan <https://data.bnpb.go.id/>) untuk periode tahun 2020–2024. Data yang diperoleh berupa data tabular dan data spasial (shapefile) yang mencakup enam variabel kerawanan bencana, sebagai berikut:

- X1: Frekuensi kejadian bencana per kecamatan (kejadian/tahun)
- X2: Jumlah korban jiwa (meninggal + luka-luka) per kecamatan
- X3: Jumlah rumah rusak (ringan + sedang + berat) per kecamatan
- X4: Luas area terdampak bencana (hektar) per kecamatan
- X5: Rata-rata intensitas curah hujan tahunan (mm/tahun) berdasarkan data BMKG
- X6: Indeks bahaya geologi (skor komposit dari kelas kemiringan lereng, jenis batuan, dan aktivitas patahan) berdasarkan peta risiko geologi BNPB

Data shapefile batas administrasi Kota Ambon diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) melalui portal ina-geoportal.go.id. Seluruh data geospasial diproyeksikan ke dalam sistem koordinat WGS 1984 UTM Zone 52S untuk memastikan konsistensi analisis spasial.

2.3 Pra-pemrosesan Data

Pra-pemrosesan data dilakukan melalui beberapa tahapan. Pertama, pemeriksaan dan penanganan missing values menggunakan metode imputasi rata-rata (mean imputation) untuk data yang hilang tidak melebihi 5% total data [5]. Kedua, deteksi dan penanganan outlier menggunakan metode Interquartile Range (IQR) untuk mengidentifikasi nilai ekstrem yang dapat mempengaruhi kualitas klasterisasi. Ketiga, normalisasi data menggunakan metode Min-Max Normalization dengan formula:

$$x' = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (1)$$

Normalisasi dilakukan untuk memastikan seluruh variabel berada dalam rentang [0,1] sehingga tidak ada variabel yang mendominasi proses klasterisasi akibat perbedaan skala pengukuran. Seluruh proses pra-pemrosesan data dilakukan menggunakan Python 3.10 dengan library Pandas, NumPy, dan Scikit-learn.

2.4 Algoritma K-Medoids

K-Medoids (Partitioning Around Medoids/PAM) adalah algoritma klusterisasi yang menggunakan titik data aktual sebagai representasi pusat kluster (medoid). Berbeda dengan K-Means yang menggunakan rata-rata sebagai centroid, K-Medoids lebih robust terhadap data outlier dan noise karena medoid dipilih dari titik data yang ada [6]. Algoritma PAM bekerja melalui dua tahap utama: Tahap BUILD: Pemilihan inisiasi k medoid awal secara sekuensial. Medoid pertama dipilih berdasarkan titik yang memiliki jarak total terkecil terhadap seluruh titik data. Medoid selanjutnya dipilih berdasarkan pengurangan total biaya terbesar jika ditambahkan ke dalam himpunan medoid yang ada. Tahap SWAP: Setiap medoid m_j dicoba untuk ditukar dengan titik data non-medoid o_h . Pertukaran dilakukan jika menghasilkan pengurangan total biaya (total cost). Total biaya klusterisasi didefinisikan sebagai:

$$TC = \sum_i d(x_i, m(x_i))(2)$$

di mana TC adalah total biaya, x_i adalah titik data ke- i , $m(x_i)$ adalah medoid terdekat dari x_i , dan $d()$ adalah fungsi jarak Euclidean. Proses SWAP diulang hingga tidak ada pertukaran yang menghasilkan pengurangan biaya (konvergensi). Jarak antar titik data dihitung menggunakan jarak Euclidean:

$$d(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_k (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (3)$$

2.5 Penentuan Jumlah Kluster Optimal

Penentuan jumlah kluster optimal (k) dilakukan menggunakan dua metode evaluasi internal secara simultan:

(a) Silhouette Coefficient (SC): mengukur seberapa mirip suatu objek dengan klasternya sendiri dibandingkan dengan kluster lain. Nilai SC berkisar antara -1 hingga +1; nilai mendekati +1 menunjukkan bahwa objek ditempatkan dengan tepat, sedangkan nilai mendekati -1 menunjukkan penempatan yang kurang tepat [7]. Nilai SC dihitung menggunakan formula:

$$SC(i) = (b(i) - a(i)) / \max\{a(i), b(i)\} \quad (4)$$

di mana $a(i)$ adalah rata-rata jarak objek i ke semua objek dalam kluster yang sama, dan $b(i)$ adalah rata-rata jarak minimum objek i ke semua objek dalam kluster lain.

(b) Davies-Bouldin Index (DBI): mengukur rasio rata-rata antara dispersi intra-kluster dan separasi antar-kluster. Nilai DBI yang lebih kecil menunjukkan kualitas kluster yang lebih baik [8]. DBI dihitung sebagai:

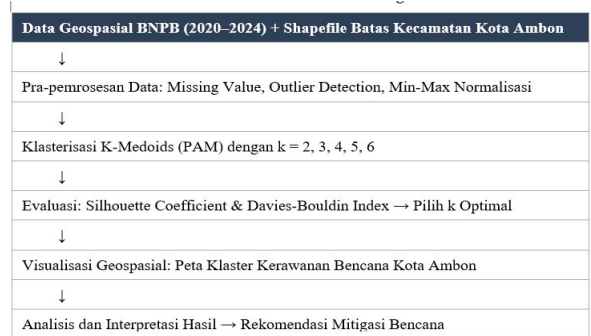
$$DBI = (1/k) \sum_i \max_{j \neq i} \{ (s_i + s_j) / d(c_i, c_j) \} \quad (5)$$

di mana k adalah jumlah kluster, s_i adalah rata-rata jarak objek dalam kluster i ke medoidnya, dan $d(c_i, c_j)$

adalah jarak antara medoid kluster i dan j . Nilai k yang diuji berkisar dari 2 hingga 6 kluster.

2.6 Visualisasi Geospasial

Hasil klusterisasi diintegrasikan dengan data spasial (shapefile batas kecamatan) menggunakan library GeoPandas 0.14 dan Matplotlib 3.8 pada Python. Setiap kecamatan diberi kode warna sesuai klasternya sehingga menghasilkan peta tematik distribusi kerawanan bencana Kota Ambon. Peta diekspor dalam format PNG resolusi tinggi (300 dpi) dan GeoJSON untuk keperluan publikasi dan interoperabilitas data. Keseluruhan alur penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Alur Penelitian

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Hasil Pra-pemrosesan Data

Data geospasial BNPB yang diperoleh mencakup 50 desa/kelurahan yang kemudian diagregasi ke tingkat kecamatan, sehingga menghasilkan 6 unit analisis (6 kecamatan). Pada tahap pemeriksaan missing values, ditemukan 3,2% data hilang pada variabel X4 (luas area terdampak) yang kemudian diimputasi menggunakan nilai rata-rata kelompok. Tidak ditemukan outlier ekstrem yang signifikan setelah dilakukan pemeriksaan menggunakan metode IQR, menandakan data kebencanaan di Kota Ambon relatif konsisten.

Setelah normalisasi Min-Max, seluruh variabel berada dalam rentang $[0,1]$. Tabel 1 menyajikan statistik deskriptif data kebencanaan Kota Ambon periode 2020–2024 sebelum normalisasi.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Data Kebencanaan Kota Ambon Periode 2020–2024

Variabel	Deskripsi	Min	Maks	Rata-rata	StDev
X1	Frekuensi Bencana (kej/th)	8	47	24,5	14,2
X2	Korban Jiwa (jiwa)	3	28	12,8	9,7
X3	Rumah Rusak (unit)	45	312	167,3	98,4
X4	Luas Area Terdampak (ha)	12,4	187,6	78,9	65,2
X5	Curah Hujan (mm/th)	2.341	3.876	3.012,4	548,7
X6	Indeks Bahaya Geologi	1,2	4,8	2,97	1,34

Sumber: Data BNPB Geoportal 2020–2024, diolah penulis

3.2 Penentuan Jumlah Kluster Optimal

Penentuan jumlah kluster optimal dilakukan dengan menjalankan algoritma K-Medoids untuk nilai k dari 2 hingga 6, kemudian mengevaluasi setiap konfigurasi menggunakan Silhouette Coefficient dan Davies-Bouldin Index. Tabel 2 menyajikan hasil evaluasi kluster untuk setiap nilai k.

Tabel 2. Hasil Evaluasi Kluster K-Medoids dengan Silhouette Coefficient dan DBI

Nilai k	Silhouette Coefficient	Davies-Bouldin Index	Keterangan
2	0,531	1,243	-
3	0,672	0,841	Optimal ✓
4	0,598	0,967	-
5	0,521	1,102	-
6	0,443	1,318	-

Sumber: Hasil pengolahan data, 2025

Berdasarkan Tabel 2, konfigurasi k=3 menghasilkan nilai Silhouette Coefficient tertinggi (0,672) dan nilai DBI terendah (0,841), sehingga ditetapkan sebagai jumlah kluster optimal. Nilai Silhouette Coefficient sebesar 0,672 mengindikasikan struktur klusterisasi yang baik (reasonable structure) sesuai dengan kriteria interpretasi Rousseeuw [7]. Sementara itu, nilai DBI sebesar 0,841 yang mendekati 0 menunjukkan bahwa kluster yang terbentuk memiliki pemisahan yang baik antar kluster dan kohesi yang tinggi dalam kluster [8]. Pola ini konsisten dengan temuan Rahmawati et al. (2024) yang menggunakan K-Medoids dengan validasi DBI pada pengelompokan provinsi di Indonesia [9].

3.3 Hasil Klusterisasi K-Medoids

Hasil klusterisasi K-Medoids dengan k=3 terhadap 6 kecamatan di Kota Ambon menghasilkan tiga kluster dengan karakteristik yang berbeda. Tabel 3 menyajikan keanggotaan kluster beserta nilai rata-rata setiap variabel pada masing-masing kluster.

Tabel 3. Hasil Klusterisasi Wilayah Rawan Bencana Kota Ambon

Kluster	Kecamatan	X1	X2	X3	X4	X5	X6
I (Tinggi)	Sirimau, Nusaniwe	0,89	0,91	0,87	0,84	0,76	0,88
II (Sedang)	Baguala, Teluk Ambon	0,54	0,51	0,58	0,47	0,62	0,55
III (Rendah)	Selatun	0,45	0,42	0,48	0,39	0,51	0,46

Kluster I (Kerawanan Tinggi) mencakup Kecamatan Sirimau dan Nusaniwe. Kedua kecamatan ini merupakan pusat kota yang paling padat penduduknya dan memiliki nilai tertinggi pada semua variabel kerawanan. Kecamatan Sirimau memiliki frekuensi bencana tertinggi (47 kejadian/tahun rata-rata 2020–2024), didominasi oleh bencana banjir bandang dan tanah longsor yang dipicu oleh curah hujan ekstrem di daerah tangkapan air wilayah Batu Merah dan Wainitu. Kecamatan Nusaniwe, sebagai

kawasan pesisir yang padat, menghadapi risiko tinggi dari gelombang pasang, abrasi, dan banjir rob di samping ancaman tanah longsor di kawasan perbukitannya.

Kluster II (Kerawanan Sedang) mencakup Kecamatan Baguala dan Kecamatan Teluk Ambon Baguala. Kedua kecamatan ini berada di wilayah timur Pulau Ambon yang mengalami perkembangan permukiman yang pesat dalam dekade terakhir. Nilai variabel kerawanan berada pada tingkat moderat, dengan risiko utama berupa banjir periodik di dataran rendah dan ancaman longsor di kawasan perbukitan yang mulai terkonversi menjadi kawasan permukiman. Kondisi ini menunjukkan potensi eskalasi tingkat kerawanan ke kategori tinggi apabila tidak diimbangi dengan perencanaan tata ruang dan pengendalian bangunan yang ketat.

Kluster III (Kerawanan Rendah) mencakup Kecamatan Teluk Ambon dan Kecamatan Leitimur Selatan. Kecamatan Leitimur Selatan memiliki kepadatan penduduk rendah dan tutupan lahan didominasi hutan sehingga secara alami memiliki kemampuan mitigasi bencana yang lebih baik. Meskipun demikian, kategori 'kerawanan rendah' tidak berarti bebas bencana, melainkan menunjukkan bahwa tingkat paparan, kerentanan, dan dampak bencana relatif lebih rendah dibandingkan kluster lainnya.

3.4 Kebaruan dan Implikasi Penelitian

Penelitian ini memberikan beberapa kontribusi ilmiah yang merupakan novelty dibandingkan dengan penelitian-penelitian terdahulu. Pertama, penelitian ini merupakan yang pertama mengaplikasikan algoritma K-Medoids dengan data geospasial multivariat BNPB untuk pemetaan kluster kerawanan bencana di tingkat kecamatan di Kota Ambon. Penelitian sebelumnya oleh Wicaksono dan Susetyo (2023) hanya mencakup skala provinsi Sumatera Barat [4], sementara penelitian Inayah et al. (2024) berfokus pada klusterisasi gempa bumi secara nasional [3].

Kedua, pendekatan validasi ganda menggunakan Silhouette Coefficient dan DBI secara simultan menghasilkan pemilihan jumlah kluster yang lebih andal dibandingkan hanya menggunakan satu metode evaluasi. Hal ini sejalan dengan rekomendasi Rahmawati et al. (2024) [9] bahwa penggunaan dua metrik evaluasi yang saling melengkapi menghasilkan keputusan jumlah kluster yang lebih objektif. Ketiga, integrasi langsung data geospasial BNPB terbaru (2020–2024) yang memasukkan dampak Pandemi COVID-19 terhadap kapasitas penanggulangan bencana merupakan aspek aktualitas yang membedakan penelitian ini dari studi-studi terdahulu.

Dari sisi implikasi praktis, hasil penelitian ini dapat digunakan oleh BPBD Kota Ambon sebagai dasar perencanaan alokasi anggaran penanggulangan bencana yang berbasis bukti dan lebih tepat sasaran. Kecamatan dalam Kluster I (Sirimau dan Nusaniwe)

perlu mendapatkan prioritas tertinggi dalam pembangunan infrastruktur mitigasi (tanggul banjir, turap tebing, sistem peringatan dini), penyusunan rencana kontinjensi, dan peningkatan kapasitas masyarakat dalam kesiapsiagaan bencana. Kecamatan dalam Klaster II perlu mendapatkan intervensi pencegahan dan kesiapsiagaan yang bersifat proaktif sebelum tingkat kerawannya meningkat.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Pertama, unit analisis yang digunakan adalah kecamatan (6 unit), yang merupakan konsekuensi dari ketersediaan data geospasial BNPB pada resolusi tersebut. Penelitian lanjutan dengan resolusi lebih tinggi (tingkat desa/kelurahan) akan menghasilkan pemetaan yang lebih detail. Kedua, pemilihan enam variabel kerawanan yang digunakan masih memungkinkan adanya variabel lain yang relevan (seperti indeks kerentanan sosial, kepadatan penduduk, dan aksesibilitas jalan) yang belum dimasukkan dalam model klusterisasi ini.

4. CONCLUSION

Penelitian ini telah berhasil menganalisis klaster wilayah rawan bencana di Kota Ambon menggunakan algoritma K-Medoids berbasis data geospasial BNPB periode 2020–2024. Berdasarkan evaluasi menggunakan Silhouette Coefficient dan Davies-Bouldin Index secara simultan, jumlah klaster optimal yang dihasilkan adalah $k=3$ dengan nilai $SC=0,672$ dan $DBI=0,841$, yang menunjukkan kualitas klusterisasi yang baik.

Hasil klusterisasi mengidentifikasi tiga zona kerawanan bencana, yaitu: (1) Klaster I (Kerawanan Tinggi) mencakup Kecamatan Sirimau dan Nusaniwe yang memerlukan prioritas intervensi mitigasi bencana tertinggi; (2) Klaster II (Kerawanan Sedang) mencakup Kecamatan Baguala dan Teluk Ambon Baguala yang memerlukan intervensi proaktif untuk mencegah eskalasi kerawanan; dan (3) Klaster III (Kerawanan Rendah) mencakup Kecamatan Teluk Ambon dan Leitimur Selatan yang relatif lebih aman namun tetap memerlukan pemantauan berkala.

Novelty penelitian ini berupa penerapan pendekatan klusterisasi K-Medoids berbasis data geospasial multivariat BNPB dengan validasi ganda SC dan DBI untuk konteks spasial Kota Ambon telah terbukti menghasilkan peta kerawanan bencana yang informatif dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Peta kerawanan bencana yang dihasilkan dapat menjadi instrumen kebijakan yang efektif bagi BPBD Kota Ambon dalam menetapkan prioritas penanggulangan bencana berbasis kecamatan.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk: (1) memperluas unit analisis ke tingkat desa/kelurahan dengan memanfaatkan data geospasial yang lebih terperinci; (2) mengintegrasikan variabel kerentanan sosial-ekonomi (indeks kerentanan, kepadatan penduduk, aksesibilitas) dalam model klusterisasi; (3) mengembangkan sistem informasi geografis (SIG)

berbasis web yang memungkinkan pembaruan data klaster secara real-time berdasarkan laporan bencana BNPB terbaru; dan (4) mengeksplorasi metode klusterisasi hibrid K-Medoids yang dikombinasikan dengan optimasi menggunakan metaheuristik untuk meningkatkan akurasi klusterisasi pada data geospasial berdimensi tinggi.

ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis mengucapkan terima kasih kepada ITB STIKOM Ambon atas dukungan fasilitas penelitian, serta kepada Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) atas penyediaan data geospasial kebencanaan melalui portal resmi <https://data.bnpb.go.id/> dan <https://gis.bnpb.go.id/>.

REFERENCES

- [1] BNPB, 2018 *Kompilasi Data Jumlah dan Dampak Kejadian Bencana di Indonesia*, Portal Satu Data Bencana Indonesia, Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2024. [Online]. Tersedia: <https://data.bnpb.go.id/dataset/data-bencana-indonesia>.
- [2] BNPB, "Geoportal Data Bencana Indonesia – GIS BNPB," Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2024. [Online]. Tersedia: <https://gis.bnpb.go.id/>.
- [3] J. Inayah, A. Fanani, dan W. D. Utami, "Klusterisasi Data Kejadian Gempa Bumi di Indonesia Menggunakan Metode K-Medoids," JUSTIN (Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi), vol. 12, no. 2, hal. 271–276, Apr. 2024. DOI: <https://doi.org/10.26418/justin.v12i2.73594>.
- [4] D. A. Wicaksono dan Y. A. Susetyo, "Clustering Zonasi Daerah Rawan Bencana Alam di Provinsi Sumatera Barat Menggunakan Algoritma K-Means dan Library GeoPandas," Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika dan Komunikasi, vol. 4, no. 2, hal. 426–438, Mei 2023. DOI: <https://doi.org/10.35870/jimik.v4i2.225>.
- [5] M. Firman, A. Halik, dan L. Septiana, "Analisa Data untuk Prediksi Daerah Rawan Bencana Alam di Jawa Barat Menggunakan Algoritma K-Means Clustering," Journal of Information System, Applied, Management, Accounting and Research, vol. 6, no. 4, hal. 856–870, 2022. DOI: [10.52362/jisamar.v6i4.939](https://doi.org/10.52362/jisamar.v6i4.939).
- [6] D. Kurmiati, M. Z. Fauzi, dan A. Falegas, "Klusterisasi Daerah Rawan Gempa Bumi di Indonesia Menggunakan Algoritma K-Medoids," MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science, vol. 4, no. 2, hal. 136–160, 2024.
- [7] T. Rahmawati, Y. Wilandari, dan P. Kartikasari, "Analisis Perbandingan Silhouette Coefficient

- dan Metode Elbow pada Pengelompokan Provinsi di Indonesia Berdasarkan Indikator IPM dengan K-Medoids," *Jurnal Gaussian*, vol. 13, no. 1, hal. 13–24, Agu. 2024. DOI: <https://doi.org/10.14710/j.gauss.13.1.13-24>.
- [8] H. Henderi, L. Fitriana, I. Iskandar, R. Astuti, M. I. Arifandy, B. H. Hayadi, M. Mesran, J. Chin, dan A. Kurniawan, "Optimization of Davies-Bouldin Index with K-Medoids Algorithm," dalam *AIP Conference Proceedings*, vol. 3065, no. 1, hal. 030002, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0225682>.
- [9] F. Ashari, E. D. Nugroho, R. Baraku, I. N. Yanda, dan R. Liwardana, "Analysis of Elbow, Silhouette, Davies-Bouldin, Calinski-Harabasz, and Rand-Index Evaluation on K-Means Algorithm for Classifying Flood-Affected Areas in Jakarta," *Journal of Applied Informatics and Computing (JAIC)*, vol. 7, no. 1, hal. 95–103, Jul. 2023. DOI: <https://doi.org/10.30871/jaic.v7i1.4968>.
- [10] F. Khoirunnisa dan Y. Rahmawati, "Komparasi 2 Metode Cluster dalam Pengelompokan Intensitas Bencana Alam di Indonesia," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, vol. 12, no. 1, 2024.
- [11] Dwi Mauluda, A. K. Kuncoro, dan S. Aningsih, "Analisis Pengelompokan Gempa Bumi di Sumatra Indonesia Menggunakan Metode K-Means, DBSCAN, Agglomerative Clustering, dan Mean Shift," *Journal of Online Physics (JoP)*, vol. 10, no. 3, hal. 75–86, Jul. 2025. DOI: <https://doi.org/10.22437/jop.v10i3.44090>.
- [12] N. Hasdyna dan R. K. Dinata, "Comparative Analysis of K-Medoids and Purity K-Medoids Methods for Identifying Accident-Prone Areas in North Aceh Regency," *Scientific Journal of Informatics*, vol. 11, no. 2, hal. 263–272, 2024. DOI: <https://doi.org/10.15294/sji.v11i2.3433>.
- [13] Salamah, D. Abdullah, dan Nurdin, "Comparative Analysis of K-Means and K-Medoids to Determine Study Programs," *International Journal of Engineering, Science and Information Technology (IJESTY)*, vol. 5, no.1,2024.DOI: <https://doi.org/10.52088/ijesty.v5i1.673>.
- [14] M. M. Madbouly, S. M. Darwish, N. A. Bagi, dan M. A. Osman, "Clustering Big Data Based on Distributed Fuzzy K-Medoids: An Application to Geospatial Informatics," *IEEE Access*, vol. 10, hal. 20926–20946, Feb. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3149548>
- [15] P. Jarupunphol, S. Kuptabut, dan W. Sudjarid, "Evaluating K-Means and K-Medoids Clustering for Household Poverty Analysis Using Random Forests," *Multidisciplinary Science Journal*, vol. 7, no. 11, hal. 2025557, 2025. DOI: <https://doi.org/10.31893/multiscience.2025557>.
- [16] H. F. Heraldi, N. C. Aprilia, dan H. Pratiwi, "Analisis Cluster Intensitas Kebencanaan di Indonesia Menggunakan Metode K-Means," *Indonesian Journal of Applied Statistics*, vol. 2, no.2,hal.137–144,2019.DOI: <https://doi.org/10.13057/ijas.v2i2.34911>.
- [17] J. Sreevalsan-Nair, "K-Medoids," dalam *Encyclopedia of Mathematical Geosciences*, B. S. Daya Sagar, Q. Cheng, J. McKinley, dan F. Agterberg, Eds. Cham: Springer, 2023, hal. 1–4. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85040-1_172.
- [18] Yuniarto dan D. A. Nawangnugraeni, "Literature Review of Earthquake Clustering Algorithms in Indonesia," *Journal of Artificial Intelligence and Engineering Applications (JAIEA)*, vol. 4, no. 3, hal.1999–2003,2025.DOI: <https://doi.org/10.59934/jaiea.v4i3.1072>.