

Analisis Pengelompokan Daerah Rawan Banjir Kota Medan Menggunakan Fuzzy C-Means

Nelly Astuti Hasibuan*, Ro Rizky Umbara Manurung, Jannes Pakpahan, Marvel Lahagu, Gilbert Wilson Refael

Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Teknik Informatika, Universitas Prima Indonesia, Medan, Indonesia

Email: ^{1,*}nelly.ahsb@gmail.com, ²rorizkymanru@gmail.com, ³pakpahanjannes0@gmail.com, ⁴marvlahagu77@gmail.com,

⁵gilbertwilsonrafael@gmail.com

Email Penulis Korespondensi: nelly.ahsb@gmail.com

Abstrak—Banjir merupakan permasalahan lingkungan yang sering terjadi di wilayah perkotaan dan menimbulkan dampak signifikan terhadap aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan. Kota Medan sebagai salah satu kota besar di Indonesia memiliki tingkat kerawanan banjir yang cukup tinggi akibat kombinasi faktor alam dan aktivitas manusia. Faktor-faktor lingkungan seperti curah hujan, serta kepadatan penduduk berperan penting dalam menentukan tingkat kerawanan banjir suatu daerah. Penelitian ini bertujuan untuk mengelompokkan tingkat kerawanan banjir di Kota Medan berdasarkan faktor-faktor lingkungan tersebut menggunakan metode *Fuzzy C-Means* (FCM). Metode FCM dipilih karena mampu menangani ketidakpastian data serta memberikan derajat keanggotaan pada setiap wilayah terhadap lebih dari satu *cluster*. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari instansi resmi, meliputi ketinggian wilayah, dan kepadatan penduduk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah Kota Medan dapat dikelompokkan ke dalam tiga cluster utama, yaitu kerawanan banjir rendah, sedang, dan tinggi. Cluster dengan tingkat kerawanan tinggi umumnya memiliki karakteristik ketinggian wilayah rendah, kepadatan penduduk tinggi. Hasil pengelompokan ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam mendukung perencanaan mitigasi dan pengendalian banjir oleh pemerintah daerah.

Kata kunci: Banjir; Faktor Lingkungan; Fuzzy C-Means; Clustering; Kota Medan

Abstract—Flooding is an environmental problem that frequently occurs in urban areas and causes significant impacts on social, economic, and environmental aspects. Medan City, as one of the major cities in Indonesia, has a relatively high level of flood vulnerability due to a combination of natural factors and human activities. Environmental factors such as rainfall and population density play an important role in determining the level of flood vulnerability in a region. This study aims to classify flood vulnerability levels in Medan City based on these environmental factors using the Fuzzy C-Means (FCM) method. The FCM method was chosen because it can handle data uncertainty and provide membership degrees for each area to more than one cluster. The data used in this study are secondary data obtained from official institutions, including elevation and population density. The results show that the areas of Medan City can be grouped into three main clusters: low, medium, and high flood vulnerability. Areas with high vulnerability are generally characterized by low elevation and high population density. The results of this clustering are expected to serve as a scientific basis to support flood mitigation planning and control by the local government.

Keyword: Flood; Environmental Factors; Fuzzy C-Means; Clustering; Medan City

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi di Indonesia dan memberikan dampak signifikan terhadap aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan [1]. Dampak banjir tidak hanya dirasakan dalam jangka pendek, tetapi juga dapat memengaruhi keberlanjutan pembangunan wilayah serta kualitas hidup masyarakat dalam jangka panjang [2]. Peningkatan intensitas curah hujan yang dipengaruhi oleh perubahan iklim global serta pesatnya perkembangan wilayah perkotaan menyebabkan risiko banjir semakin meningkat, khususnya di kota-kota besar [3]. Kondisi ini menunjukkan bahwa permasalahan banjir memerlukan perhatian serius dan penanganan yang berbasis pada analisis ilmiah yang komprehensif. Kota Medan sebagai salah satu pusat aktivitas ekonomi di Pulau Sumatera memiliki tingkat kerawanan banjir yang cukup tinggi akibat kombinasi faktor alam dan aktivitas manusia.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa faktor lingkungan seperti curah hujan, kondisi topografi, kepadatan penduduk, serta sistem drainase memiliki pengaruh besar terhadap terjadinya banjir [4]. Faktor-faktor tersebut saling berkaitan dan dapat memperbesar potensi banjir apabila tidak dikelola secara optimal [5]. Curah hujan merupakan variabel dominan dalam pemetaan daerah rawan banjir dan tanah longsor di Indonesia ketika dianalisis menggunakan metode Fuzzy C-Means [6], [7]. Selain itu, pendekatan fuzzy mampu mengelompokkan risiko banjir secara lebih representatif dibandingkan metode clustering konvensional karena mempertimbangkan tingkat keanggotaan setiap wilayah [8], [9]. Hal ini menunjukkan bahwa metode analisis yang tepat sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil pemetaan kerawanan banjir.

Pendekatan pengelompokan wilayah rawan banjir menjadi penting sebagai dasar perencanaan mitigasi bencana [10], [11]. Informasi hasil pengelompokan dapat digunakan untuk menentukan prioritas penanganan dan perumusan kebijakan pengendalian banjir secara lebih terarah. Metode clustering yang bersifat tegas (crisp) sering kali kurang mampu merepresentasikan kondisi nyata di lapangan, karena batas antar wilayah rawan banjir tidak bersifat absolut dan cenderung saling tumpang tindih [12], [13]. Oleh karena itu, diperlukan metode yang mampu menangani ketidakpastian dan ambiguitas data lingkungan agar hasil analisis lebih realistis dan aplikatif.

Metode Fuzzy C-Means (FCM) merupakan salah satu metode clustering berbasis logika fuzzy yang banyak digunakan dalam kajian kebencanaan dan lingkungan [14], [15]. Metode ini memungkinkan suatu objek atau wilayah memiliki derajat keanggotaan pada lebih dari satu klaster, sehingga mampu menggambarkan kondisi transisi antar wilayah. Penelitian sebelumnya membuktikan bahwa [15] [16]. Selain itu, FCM juga memiliki kinerja yang baik dalam

pengelompokan data meteorologi dan mampu memberikan hasil yang lebih fleksibel dibandingkan metode K-Means [17], [18]. Temuan tersebut memperkuat alasan penggunaan metode FCM dalam penelitian terkait banjir.

Fenomena banjir di wilayah perkotaan tidak hanya dipengaruhi oleh faktor alam, tetapi juga oleh perubahan tata guna lahan, peningkatan jumlah penduduk, serta keterbatasan sistem drainase. Urbanisasi yang pesat menyebabkan berkurangnya area resapan air dan meningkatnya limpasan permukaan, sehingga memperbesar potensi genangan saat terjadi hujan dengan intensitas tinggi. Kondisi ini sering terjadi pada wilayah dengan kepadatan penduduk tinggi dan elevasi yang relatif rendah, seperti beberapa kecamatan di Kota Medan.

Kota Medan memiliki karakteristik wilayah yang beragam, mulai dari kawasan dengan kepadatan tinggi hingga wilayah dengan topografi rendah yang rentan terhadap genangan. Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat menyebabkan perubahan fungsi lahan menjadi kawasan permukiman dan perdagangan, yang berdampak pada berkurangnya ruang terbuka hijau sebagai area resapan air. Selain itu, sistem drainase yang belum merata dan belum optimal turut memperparah potensi banjir di beberapa wilayah kota. Kondisi ini menunjukkan bahwa analisis kerawanan banjir perlu dilakukan secara sistematis dan berbasis data agar mampu memberikan gambaran yang akurat mengenai kondisi lapangan.

Meskipun telah banyak penelitian mengenai banjir, kajian yang secara khusus mengelompokkan tingkat kerawanan banjir di Kota Medan dengan pendekatan Fuzzy C-Means masih terbatas. Sebagian penelitian sebelumnya lebih menekankan pada analisis spasial atau statistik tanpa mengintegrasikan faktor kepadatan penduduk dan elevasi secara bersamaan. Padahal kedua variabel tersebut memiliki peran penting dalam menentukan potensi genangan dan tingkat kerentanan suatu wilayah terhadap banjir.

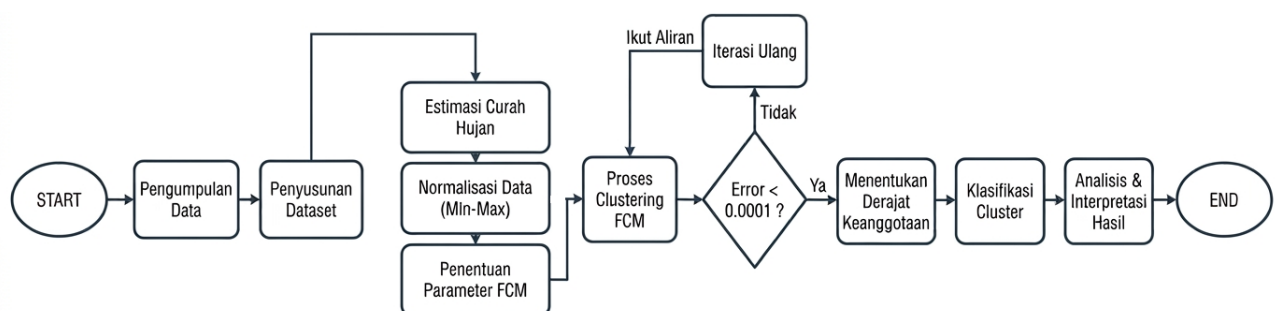
Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan pendekatan analisis yang mampu mengintegrasikan berbagai faktor lingkungan secara komprehensif. Metode Fuzzy C-Means dipilih karena mampu menangani ketidakpastian data serta memberikan derajat keanggotaan pada setiap wilayah terhadap lebih dari satu cluster. Dengan demikian, hasil pengelompokan diharapkan lebih fleksibel dan mendekati kondisi nyata di lapangan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengelompokkan tingkat kerawanan banjir di Kota Medan berdasarkan faktor lingkungan menggunakan metode Fuzzy C-Means. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran tingkat kerawanan banjir yang lebih komprehensif dan mendekati kondisi nyata di lapangan. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah serta menjadi dasar pendukung pengambilan keputusan dalam upaya mitigasi dan penanggulangan banjir di Kota Medan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahap Penelitian

Gambar berikut menyajikan diagram alir tahapan penelitian yang digunakan dalam proses pengelompokan tingkat kerawanan banjir. Flowchart tersebut menggambarkan secara sistematis alur penelitian yang dimulai dari pengumpulan dan penyusunan data, proses normalisasi, penerapan algoritma Fuzzy C-Means, hingga tahap interpretasi hasil sebagai dasar penarikan kesimpulan.



Gambar 1. Tahap Penelitian

Penelitian ini diawali dengan tahap start, yaitu penentuan tujuan penelitian untuk mengelompokkan tingkat kerawanan banjir berdasarkan faktor lingkungan menggunakan metode Fuzzy C-Means. Setelah tujuan ditentukan, penelitian dilanjutkan dengan tahap pengumpulan data. Pada tahap ini, data yang dikumpulkan berupa data kepadatan penduduk dan ketinggian wilayah setiap kecamatan. Data tersebut diperoleh dari sumber resmi dan digunakan sebagai data dasar dalam proses analisis.

Selanjutnya dilakukan tahap penyusunan dataset, yaitu mengelompokkan dan menyusun data berdasarkan wilayah penelitian. Pada tahap ini dilakukan pengecekan kelengkapan data serta penyusunan variabel penelitian agar data siap digunakan dalam proses pengolahan. Apabila data curah hujan tidak tersedia secara langsung, maka dilakukan tahap estimasi curah hujan menggunakan pendekatan elevasi wilayah. Estimasi ini dilakukan untuk melengkapi variabel lingkungan yang berpengaruh terhadap potensi banjir.

Setelah dataset lengkap, dilakukan tahap normalisasi data menggunakan metode Min-Max. Normalisasi bertujuan untuk menyamakan skala seluruh variabel agar berada pada rentang nilai yang sama, yaitu antara 0 hingga 1. Proses ini penting karena setiap variabel memiliki satuan yang berbeda sehingga perlu diseragamkan sebelum dilakukan proses clustering.

Tahap berikutnya adalah penentuan parameter metode Fuzzy C-Means, yang meliputi jumlah cluster, nilai fuzziness, batas maksimum iterasi, dan nilai error minimum. Parameter ini digunakan sebagai dasar dalam menjalankan algoritma clustering. Setelah parameter ditentukan, dilakukan tahap proses clustering menggunakan metode Fuzzy C-Means. Pada tahap ini sistem melakukan perhitungan untuk mengelompokkan data berdasarkan tingkat kemiripan karakteristik variabel.

Selama proses clustering berlangsung, dilakukan pengecekan terhadap kondisi konvergensi melalui tahap pengujian error. Apabila nilai error masih lebih besar dari batas yang ditentukan, maka proses iterasi akan diulang hingga mencapai kondisi konvergen. Jika nilai error sudah memenuhi kriteria penghentian, maka proses clustering dilanjutkan ke tahap berikutnya.

Tahap selanjutnya adalah penentuan derajat keanggotaan, yaitu menentukan tingkat keanggotaan setiap wilayah terhadap masing-masing cluster. Setelah itu dilakukan klasifikasi cluster, dimana setiap wilayah dikategorikan ke dalam tingkat kerawanan banjir rendah, sedang, atau tinggi berdasarkan nilai keanggotaan terbesar.

Tahap terakhir adalah analisis dan interpretasi hasil clustering, yaitu mengkaji karakteristik setiap cluster serta menarik kesimpulan mengenai tingkat kerawanan banjir di wilayah penelitian. Setelah seluruh proses selesai dilakukan, penelitian berakhir pada tahap end.

2.2 Pengolahan Data

Penelitian ini dilaksanakan di Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara. Kota Medan merupakan salah satu wilayah perkotaan yang memiliki tingkat kerentanan banjir yang cukup tinggi akibat kombinasi faktor topografi dan kepadatan penduduk yang terus meningkat.

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Medan, meliputi data kepadatan penduduk dan ketinggian wilayah pada 21 kecamatan di Kota Medan. Kedua variabel tersebut dipilih karena memiliki keterkaitan langsung terhadap potensi terjadinya banjir di wilayah perkotaan. Kepadatan penduduk merepresentasikan tekanan aktivitas manusia terhadap lingkungan, sedangkan ketinggian wilayah menggambarkan kondisi topografi yang mempengaruhi potensi genangan air. Data yang diperoleh kemudian diproses melalui tahap normalisasi sebelum dilakukan analisis menggunakan metode Fuzzy C-Means.

2.3 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis clustering. Pendekatan kuantitatif digunakan karena data yang dianalisis berupa data numerik yang diolah menggunakan metode matematis dan komputasional. Metode clustering yang digunakan adalah Fuzzy C-Means (FCM) untuk mengelompokkan tingkat kerawanan banjir di Kota Medan berdasarkan faktor lingkungan.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari:

- Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Medan – data kepadatan penduduk
 - Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Medan – elevasi (ketinggian) wilayah
- Data yang digunakan bersifat kuantitatif dengan skala pengukuran rasio [19].

2.4 Objek Penelitian

Objek penelitian adalah 21 kecamatan di Kota Medan, Sumatera Utara. Setiap kecamatan dianalisis berdasarkan faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap potensi banjir.

2.5 Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan faktor yang digunakan sebagai parameter dalam proses clustering. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Variabel Penelitian

No	Variabel	Simbol	Jenis Data	Satuan
1	Kepadatan Penduduk	X_1	Kuantitatif	Jiwa/km ²
2	Ketinggian Wilayah	X_2	Kuantitatif	mdpl

Variabel-variabel tersebut digunakan sebagai parameter dalam proses clustering untuk mengelompokkan wilayah berdasarkan tingkat kerawanan banjir.

Variabel penelitian merupakan faktor yang digunakan sebagai parameter dalam proses pengelompokan tingkat kerawanan banjir menggunakan metode Fuzzy C-Means. Pemilihan variabel didasarkan pada keterkaitannya dengan kejadian banjir serta ketersediaan data yang relevan.

Variabel penelitian yang digunakan dalam proses clustering terdiri dari dua variabel utama, yaitu kepadatan penduduk (jiwa/km²) dan ketinggian wilayah (meter di atas permukaan laut). Kedua variabel tersebut dipilih karena

memiliki keterkaitan langsung terhadap potensi terjadinya banjir di wilayah perkotaan. Kepadatan penduduk merepresentasikan tekanan aktivitas manusia, sedangkan ketinggian wilayah menggambarkan kondisi topografi yang mempengaruhi potensi genangan air.

2.6 Normalisasi Data

Karena setiap variabel memiliki satuan yang berbeda, maka dilakukan normalisasi data menggunakan metode Min-Max agar seluruh variabel berada dalam rentang 0 sampai 1. Rumus Normalisasi:

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

Keterangan :

- X = nilai asli data
- X_{min} = nilai minimum
- X_{max} = nilai maksimum
- X' = nilai hasil normalisasi

Proses normalisasi dilakukan terhadap seluruh variabel sebelum dilakukan proses clustering.

2.7 Algoritma Fuzzy C-Means

Metode Fuzzy C-Means (FCM) merupakan salah satu metode clustering yang digunakan untuk mengelompokkan data berdasarkan tingkat kemiripan karakteristik antar data. Berbeda dengan metode clustering konvensional, Fuzzy C-Means memungkinkan suatu data memiliki derajat keanggotaan pada lebih dari satu cluster. Pada penelitian ini, metode Fuzzy C-Means digunakan untuk mengelompokkan wilayah di Kota Medan berdasarkan tingkat kerawanan banjir menggunakan dua variabel utama, yaitu kepadatan penduduk dan ketinggian wilayah.

2.7.1 Parameter Algoritma Fuzzy C-Means

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Parameter Algoritma FCM

Parameter	Nilai	Keterangan
Jumlah Cluster (c)	3	Mengelompokkan wilayah menjadi kerawanan rendah, sedang, dan tinggi
Pangkat Pembobot (m)	2	Nilai standar dalam metode FCM
Maksimum Iterasi	100	Batas maksimum perulangan algoritma
Error Minimum	0.0001	Batas konvergensi perhitungan

Jumlah cluster ditentukan sebanyak tiga untuk mengelompokkan wilayah menjadi kategori kerawanan rendah, sedang, dan tinggi. Proses iterasi dalam metode Fuzzy C-Means dilakukan hingga mencapai kondisi konvergen atau hingga mencapai batas maksimum iterasi yang telah ditentukan. Pada penelitian ini, iterasi maksimum ditetapkan sebanyak 100 kali dengan batas error minimum sebesar 0,0001 sebagai kriteria penghentian proses. Algoritma akan berhenti apabila perubahan nilai fungsi objektif lebih kecil dari 0,0001 atau jumlah iterasi telah mencapai batas maksimum.

2.8 Fungsi Objektif FCM

Fungsi objektif dalam FCM dirumuskan sebagai:

$$J_m = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c u_{ij}^m |x_i - v_j|^2 \quad (2)$$

Dimana:

- n = jumlah data
- c = jumlah cluster
- u_{ij} = derajat keanggotaan data ke-i pada cluster ke-j
- v_j = pusat cluster ke-j
- m = parameter fuzziness

Tujuan dari metode FCM adalah meminimalkan fungsi objektif tersebut.

Pada penelitian ini digunakan nilai parameter fuzziness (m) sebesar 2. Nilai tersebut merupakan nilai standar dalam metode Fuzzy C-Means dan berfungsi untuk mengatur tingkat penyebaran derajat keanggotaan antar cluster. Penggunaan $m = 2$ memberikan keseimbangan antara ketegasan dan fleksibilitas dalam proses pengelompokan data.

2.9 Interpretasi Hasil Clustering

Setelah proses iterasi selesai dan diperoleh matriks keanggotaan akhir, setiap kecamatan akan diklasifikasikan berdasarkan nilai keanggotaan terbesar pada salah satu cluster. Cluster kemudian diinterpretasikan sebagai:

- Cluster 1 = Kerawanan Rendah
- Cluster 2 = Kerawanan Sedang
- Cluster 3 = Kerawanan Tinggi

Hasil clustering dianalisis berdasarkan karakteristik masing-masing variabel untuk mengetahui pola kerawanan banjir di Kota Medan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perhitungan Indeks Kerawanan Banjir

Berdasarkan hasil pengolahan data kepadatan penduduk dan ketinggian wilayah (elevasi), diperoleh nilai Indeks Kerawanan Banjir untuk 21 kecamatan di Kota Medan. Proses perhitungan indeks dilakukan secara sistematis melalui tahapan normalisasi, pembalikan variabel elevasi, dan penggabungan variabel menggunakan metode pembobotan seimbang. Pendekatan ini digunakan untuk menghasilkan suatu indeks komposit yang mampu merepresentasikan tingkat kerawanan banjir secara kuantitatif dan terukur.

Tahap normalisasi menggunakan metode Min-Max dilakukan untuk menyamakan rentang nilai masing-masing variabel ke dalam skala 0–1. Normalisasi sangat penting dalam penelitian ini karena variabel yang digunakan memiliki satuan yang berbeda, yaitu kepadatan penduduk dalam satuan jiwa per kilometer persegi dan elevasi dalam meter di atas permukaan laut. Tanpa normalisasi, variabel dengan nilai numerik lebih besar berpotensi mendominasi hasil perhitungan indeks.

Dalam prosesnya, kepadatan penduduk dinormalisasi dengan asumsi bahwa semakin tinggi kepadatan, maka semakin tinggi pula potensi kerawanan banjir. Hal ini didasarkan pada teori hidrologi perkotaan yang menyatakan bahwa wilayah dengan kepadatan penduduk tinggi umumnya memiliki tingkat pembangunan infrastruktur yang tinggi pula. Pembangunan tersebut sering kali mengurangi luas permukaan resapan air akibat peningkatan permukaan kedap air seperti jalan beraspal, bangunan beton, dan kawasan komersial. Kondisi ini meningkatkan volume limpasan permukaan (*runoff*) saat terjadi hujan dengan intensitas tinggi.

Sementara itu, variabel elevasi diperlakukan secara berbeda karena memiliki hubungan yang berlawanan dengan risiko banjir. Wilayah dengan elevasi rendah cenderung lebih rentan terhadap genangan, terutama apabila berada pada dataran rendah atau dekat dengan aliran sungai. Oleh karena itu, setelah dilakukan normalisasi, nilai elevasi dibalik agar arah kontribusinya terhadap indeks kerawanan menjadi searah dengan variabel kepadatan penduduk. Pembalikan ini memastikan bahwa nilai yang lebih tinggi pada indeks selalu menunjukkan tingkat kerawanan yang lebih tinggi.

Penggabungan kedua variabel dilakukan dengan pembobotan seimbang sebesar 50% untuk kepadatan penduduk dan 50% untuk elevasi. Pemilihan bobot seimbang bertujuan untuk menghindari dominasi salah satu variabel terhadap hasil akhir. Dengan pendekatan ini, indeks yang dihasilkan merepresentasikan kontribusi relatif yang setara antara faktor demografis dan faktor topografis dalam menentukan tingkat kerawanan banjir.

Hasil perhitungan menunjukkan variasi nilai indeks yang cukup signifikan antar kecamatan. Medan Marelan memperoleh nilai tertinggi sebesar 0,99 dan dikategorikan sebagai sangat rawan. Tingginya nilai indeks ini menunjukkan kombinasi antara kepadatan penduduk yang tinggi dan elevasi wilayah yang relatif rendah. Kondisi tersebut meningkatkan potensi akumulasi air saat terjadi curah hujan tinggi. Medan Deli dan Medan Labuhan juga menunjukkan nilai indeks tinggi masing-masing sebesar 0,91 dan 0,80. Ketiga kecamatan ini memiliki karakteristik lingkungan yang secara teoritis meningkatkan risiko banjir.

Kelompok kecamatan dengan kategori rawan memiliki nilai indeks antara 0,51 hingga 0,73. Wilayah dalam kelompok ini menunjukkan tingkat risiko yang cukup tinggi meskipun tidak berada pada kategori sangat rawan. Kecamatan seperti Medan Denai, Medan Tembung, dan Medan Helvetia termasuk dalam kategori ini. Nilai indeks pada rentang tersebut mengindikasikan bahwa wilayah-wilayah tersebut memiliki salah satu variabel dengan nilai tinggi, atau kombinasi keduanya dalam tingkat menengah.

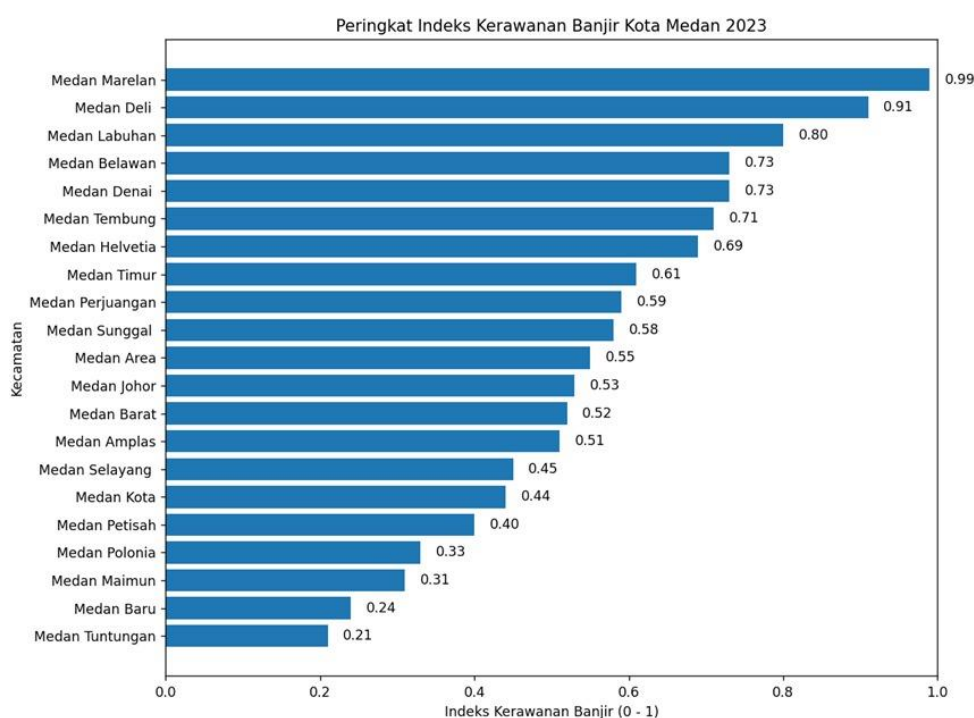
Sementara itu, kategori sedang dan rendah menunjukkan kondisi yang relatif lebih baik dalam konteks risiko banjir. Medan Baru dan Medan Tuntungan sebagai dua kecamatan dengan nilai indeks terendah memiliki kepadatan penduduk yang lebih rendah serta elevasi yang relatif lebih tinggi. Hal ini memungkinkan air hujan mengalir lebih cepat dan mengurangi kemungkinan terjadinya genangan dalam skala luas.

Distribusi indeks ini memberikan gambaran awal mengenai pola kerawanan banjir di Kota Medan. Pola tersebut menunjukkan bahwa wilayah pesisir dan dataran rendah cenderung memiliki tingkat kerawanan yang lebih tinggi dibandingkan wilayah yang berada pada elevasi lebih tinggi. Temuan ini konsisten dengan teori hidrologi perkotaan yang menyatakan bahwa topografi dan kepadatan pembangunan menjadi determinan utama dalam risiko banjir.

Tabel 3. Indeks Kerawanan Banjir Untuk 21 Kecamatan Kota Medan

No	Peringkat	Kecamatan	Indeks Rawan	Kategori
1	I	Medan Marelan	0.99	Sangat Rawan
2	II	Medan Deli	0.91	Sangat Rawan
3	III	Medan Labuhan	0.80	Sangat Rawan
4	IV	Medan Belawan	0.73	Rawan
5	V	Medan Denai	0.73	Rawan
6	VI	Medan Tembung	0.71	Rawan
7	VII	Medan Helvetia	0.69	Rawan

No	Peringkat	Kecamatan	Indeks Rawan	Kategori
8	VIII	Medan Timur	0.61	Rawan
9	IX	Medan Perjuangan	0.59	Rawan
10	X	Medan Sunggal	0.58	Rawan
11	XI	Medan Area	0.55	Rawan
12	XII	Medan Johor	0.53	Rawan
13	XIII	Medan Barat	0.52	Rawan
14	XIV	Medan Amplas	0.51	Rawan
15	XV	Medan Selayang	0.45	Sedang
16	XVI	Medan Kota	0.44	Sedang
17	XVII	Medan Petisah	0.40	Sedang
18	XVIII	Medan Polonia	0.33	Sedang
19	XIX	Medan Maimun	0.31	Sedang
20	XX	Medan Baru	0.24	Rendah
21	XXI	Medan Tuntungan	0.21	Rendah



Gambar 2. Peringkat Indeks Kerawanan Banjir Kota Medan 2023

3.2 Hasil Clustering Menggunakan Fuzzy C-Means (FCM)

Setelah diperoleh nilai indeks dan data yang telah dinormalisasi, dilakukan analisis lanjutan menggunakan metode Fuzzy C-Means (FCM) dengan jumlah cluster sebanyak tiga. Pemilihan tiga cluster didasarkan pada tujuan penelitian untuk mengelompokkan wilayah ke dalam kategori kerawanan rendah, sedang, dan tinggi.

Metode FCM digunakan karena memiliki kemampuan untuk menangani ketidakpastian dan ambiguitas dalam data. Berbeda dengan metode clustering tegas (*crisp clustering*), FCM memungkinkan setiap data memiliki derajat keanggotaan pada lebih dari satu cluster. Dengan demikian, pendekatan ini lebih sesuai untuk analisis risiko banjir yang pada kenyataannya tidak memiliki batas yang benar-benar tegas antar wilayah.

Proses clustering dilakukan secara iteratif. Pada setiap iterasi, algoritma menghitung jarak antara data dengan pusat cluster (*centroid*), memperbarui nilai derajat keanggotaan, dan menghitung ulang pusat cluster hingga nilai perubahan fungsi objektif lebih kecil dari batas error yang ditentukan yaitu 0,0001. Proses iterasi berhenti sebelum mencapai batas maksimum 100 iterasi, yang menunjukkan bahwa algoritma telah mencapai kondisi konvergen.

Hasil clustering menunjukkan pembagian 21 kecamatan ke dalam tiga kelompok utama. Terdapat sembilan kecamatan yang termasuk dalam cluster kerawanan tinggi, tujuh kecamatan dalam cluster kerawanan sedang, dan lima kecamatan dalam cluster kerawanan rendah.

a. Cluster Tinggi (Kerawanan Tinggi)

Cluster tinggi didominasi oleh wilayah dengan kepadatan penduduk relatif tinggi dan elevasi yang lebih rendah. Wilayah dalam cluster ini memiliki karakteristik lingkungan yang meningkatkan potensi genangan, terutama ketika terjadi hujan dengan intensitas tinggi. Selain faktor topografi, tingginya aktivitas pembangunan juga berkontribusi terhadap meningkatnya limpasan permukaan.

b. Cluster Sedang (Kerawanan Sedang)

Cluster sedang mencerminkan wilayah dengan kombinasi nilai kepadatan dan elevasi yang berada pada tingkat menengah. Risiko banjir pada wilayah ini tetap ada, namun tidak sebesar pada cluster tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa faktor risiko belum mencapai tingkat yang paling kritis.

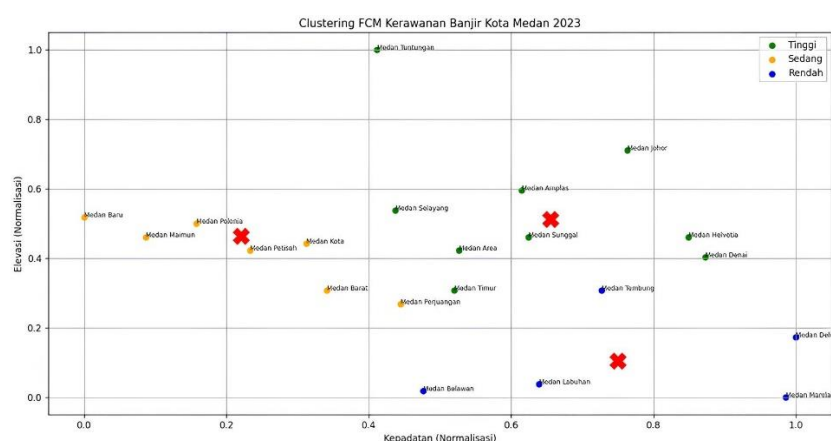
c. Cluster Rendah (Kerawanan Rendah)

Cluster rendah terdiri dari kecamatan dengan kepadatan penduduk lebih rendah dan elevasi yang relatif lebih tinggi. Wilayah dalam cluster ini memiliki kemampuan drainase alami yang lebih baik sehingga risiko genangan relatif lebih kecil dibandingkan cluster lainnya. Pengelompokan Kecamatan :

Tabel 4. Hasil clustering dari 21 kecamatan

No	Kecamatan	Kategori Kerawanan
1	Medan Tuntungan	Tinggi
2	Medan Johor	Tinggi
3	Medan Amplas	Tinggi
4	Medan Denai	Tinggi
5	Medan Area	Tinggi
6	Medan Kota	Sedang
7	Medan Maimun	Sedang
8	Medan Polonia	Sedang
9	Medan Baru	Sedang
10	Medan Selayang	Tinggi
11	Medan Sunggal	Tinggi
12	Medan Helvetia	Tinggi
13	Medan Petisah	Sedang
14	Medan Barat	Sedang
15	Medan Timur	Tinggi
16	Medan Perjuangan	Sedang
17	Medan Tembung	Rendah
18	Medan Deli	Rendah
19	Medan Labuhan	Rendah
20	Medan Marelan	Rendah
21	Medan Belawan	Rendah

Berdasarkan hasil clustering menggunakan metode Fuzzy C-Means dengan tiga cluster, diperoleh 9 kecamatan dengan kategori kerawanan tinggi, 7 kecamatan kategori sedang, dan 5 kecamatan kategori rendah. Kecamatan dengan kategori tinggi umumnya memiliki kombinasi kepadatan penduduk tinggi serta elevasi relatif rendah yang berpotensi meningkatkan risiko genangan.

**Gambar 3.** Clustering FCM Kerawanan Banjir Kota Medan 2023

Visualisasi hasil clustering pada grafik menunjukkan pemisahan kelompok yang cukup jelas berdasarkan kombinasi kedua variabel. Titik-titik data yang berdekatan dengan centroid cluster menunjukkan kemiripan karakteristik yang tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa metode FCM mampu mengidentifikasi pola alami distribusi data secara efektif.

3.3 Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi kepadatan penduduk dan elevasi wilayah merupakan determinan utama dalam menentukan tingkat kerawanan banjir di Kota Medan. Wilayah dengan kepadatan tinggi cenderung

mengalami peningkatan limpasan permukaan akibat berkurangnya area resapan. Kondisi ini diperparah apabila wilayah tersebut berada pada elevasi rendah yang secara alami menjadi tempat akumulasi air. Semakin besar tekanan pembangunan pada suatu wilayah, semakin tinggi pula potensi perubahan tata guna lahan yang berdampak pada menurunnya kapasitas infiltrasi tanah. Hal ini menyebabkan air hujan tidak dapat terserap secara optimal dan meningkatkan potensi genangan.

Temuan ini memperkuat teori bahwa faktor antropogenik dan faktor fisik lingkungan memiliki peran yang saling melengkapi dalam membentuk risiko bencana. Urbanisasi yang tidak terkendali dapat memperburuk kondisi topografis alami sehingga meningkatkan kerentanan wilayah terhadap banjir. Dalam konteks Kota Medan, wilayah dengan pertumbuhan permukiman yang pesat menunjukkan kecenderungan memiliki indeks kerawanan yang lebih tinggi, terutama apabila berada pada dataran rendah atau dekat dengan aliran sungai. Dengan demikian, interaksi antara tekanan demografis dan karakteristik topografi menjadi faktor kunci dalam memahami distribusi risiko banjir.

Metode Fuzzy C-Means yang digunakan dalam penelitian ini memberikan hasil yang lebih fleksibel dibandingkan pendekatan berbasis *threshold*. Dengan mempertimbangkan derajat keanggotaan, metode ini mampu menangkap nuansa perbedaan antar wilayah yang mungkin tidak terlihat apabila menggunakan klasifikasi tegas. Hal ini menjadikan hasil analisis lebih representatif terhadap kondisi aktual di lapangan. Tidak semua wilayah memiliki batas risiko yang kaku; beberapa kecamatan berada pada posisi transisi antara kategori sedang dan tinggi. Keberadaan wilayah transisi ini menunjukkan bahwa perubahan kecil dalam variabel kepadatan penduduk atau kondisi lingkungan dapat menyebabkan pergeseran kategori kerawanan. Apabila dibandingkan antara hasil peringkat indeks dan hasil clustering FCM, terlihat adanya dinamika klasifikasi yang menunjukkan bahwa pengelompokan tidak hanya didasarkan pada nilai indeks akhir, tetapi juga pada pola kombinasi variabel yang telah dinormalisasi. Artinya, FCM mengelompokkan kecamatan berdasarkan kedekatan karakteristik multidimensional, bukan semata-mata berdasarkan skor tunggal. Hal ini menjelaskan mengapa terdapat kecamatan dengan nilai indeks relatif tinggi namun berada pada cluster berbeda, karena struktur datanya lebih mendekati karakteristik cluster tertentu secara keseluruhan. Pendekatan ini memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap pola kerawanan.

Dari perspektif spasial, wilayah dengan kategori kerawanan tinggi cenderung memiliki kepadatan penduduk yang besar serta elevasi yang relatif rendah. Kombinasi ini menyebabkan tingginya limpasan permukaan dan terbatasnya kemampuan aliran air untuk mengalir secara alami. Sebaliknya, wilayah dengan elevasi lebih tinggi memiliki keuntungan geomorfologis berupa kemiringan lahan yang membantu percepatan aliran air sehingga mengurangi risiko genangan dalam durasi lama. Perbedaan karakteristik ini memperlihatkan bahwa faktor topografi tetap menjadi variabel penting dalam analisis risiko banjir perkotaan.

Selain itu, hasil penelitian ini memiliki implikasi langsung terhadap perencanaan pembangunan wilayah. Kecamatan yang termasuk dalam cluster kerawanan tinggi perlu menjadi prioritas dalam strategi mitigasi banjir, baik melalui peningkatan kapasitas sistem drainase, pembangunan kolam retensi, maupun optimalisasi ruang terbuka hijau sebagai area resapan. Pengendalian tata ruang juga menjadi aspek krusial, terutama untuk mencegah pembangunan berlebihan pada wilayah dengan elevasi rendah. Sementara itu, wilayah dengan kategori sedang memerlukan kebijakan preventif agar tidak mengalami peningkatan risiko di masa mendatang. Pendekatan preventif ini dapat dilakukan melalui penguatan regulasi pembangunan dan peningkatan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya pengelolaan lingkungan.

Dari sisi metodologis, integrasi antara indeks komposit dan metode Fuzzy C-Means dalam penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan kuantitatif berbasis data mampu menghasilkan klasifikasi yang sistematis dan objektif. Indeks memberikan gambaran numerik mengenai tingkat kerawanan, sedangkan FCM mengelompokkan wilayah berdasarkan kemiripan pola karakteristik. Kombinasi kedua pendekatan ini menghasilkan pemetaan yang lebih komprehensif dibandingkan apabila hanya menggunakan salah satu metode saja. Model ini juga relatif sederhana dan dapat direplikasi pada wilayah lain dengan karakteristik serupa. Meskipun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah variabel yang digunakan. Analisis hanya mempertimbangkan kepadatan penduduk dan elevasi wilayah, sehingga belum memasukkan variabel lain seperti intensitas curah hujan, kapasitas drainase, jarak terhadap sungai, dan perubahan tata guna lahan secara detail. Penambahan variabel tersebut berpotensi meningkatkan ketelitian model dalam merepresentasikan kondisi riil. Namun demikian, dua variabel yang digunakan dalam penelitian ini telah mampu memberikan gambaran dasar mengenai distribusi kerawanan banjir di Kota Medan secara cukup representatif.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa kerawanan banjir di Kota Medan merupakan hasil interaksi antara faktor alamiah dan faktor aktivitas manusia. Wilayah dengan kepadatan tinggi dan elevasi rendah memiliki tingkat risiko yang lebih besar dibandingkan wilayah dengan kondisi sebaliknya. Metode Fuzzy C-Means terbukti efektif dalam mengidentifikasi pola pengelompokan wilayah secara fleksibel dan adaptif. Oleh karena itu, pendekatan ini dapat dijadikan referensi dalam penelitian lanjutan maupun dalam penyusunan kebijakan mitigasi banjir berbasis data. Dengan pemetaan yang sistematis dan terukur, pemerintah daerah diharapkan dapat menyusun strategi pengurangan risiko bencana secara lebih tepat sasaran dan berkelanjutan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengelompokan kerawanan banjir di Kota Medan menggunakan metode Fuzzy C-Means, dapat disimpulkan bahwa faktor kepadatan penduduk dan ketinggian wilayah memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat kerawanan banjir. Data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Medan menunjukkan

bahwa wilayah dengan kepadatan penduduk tinggi dan elevasi rendah cenderung memiliki potensi banjir yang lebih besar dibandingkan wilayah dengan kepadatan penduduk rendah dan elevasi yang lebih tinggi. Kondisi ini juga dipengaruhi oleh perubahan tata guna lahan, berkurangnya daerah resapan air, sistem drainase yang kurang optimal, serta tingginya curah hujan yang terjadi pada periode tertentu setiap tahunnya. Penerapan metode Fuzzy C-Means mampu mengelompokkan wilayah penelitian ke dalam tiga kategori kerawanan banjir, yaitu rendah, sedang, dan tinggi, secara fleksibel karena setiap wilayah memiliki derajat keanggotaan pada lebih dari satu cluster sehingga hasil pengelompokan menjadi lebih akurat dan representatif terhadap kondisi nyata di lapangan. Hasil penelitian menunjukkan terdapat sembilan kecamatan dengan kategori kerawanan tinggi, tujuh kecamatan kategori sedang, dan lima kecamatan kategori rendah. Dengan demikian, metode ini dapat digunakan sebagai pendekatan analisis yang efektif dalam pemetaan wilayah rawan banjir serta menjadi dasar pendukung dalam perencanaan mitigasi bencana, penyusunan kebijakan tata ruang, dan pengelolaan lingkungan yang lebih optimal, terarah, dan berkelanjutan di masa mendatang.

REFERENCES

- [1] M. Haraguchi and U. Lall, "Flood risks and impacts: A case study of Thailand's floods in 2011 and research questions for supply chain decision making," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 14, no. January 2012, pp. 256–272, 2015, doi: 10.1016/j.ijdrr.2014.09.005.
- [2] Z. W. Kundzewicz *et al.*, "Le risque d'inondation et les perspectives de changement climatique mondial et régional," *Hydrological Sciences Journal*, vol. 59, no. 1, pp. 1–28, 2014, doi: 10.1080/02626667.2013.857411.
- [3] H. C. Winsemius *et al.*, "Global drivers of future river flood risk," *Nature Climate Change*, vol. 6, no. 4, pp. 381–385, 2016, doi: 10.1038/nclimate2893.
- [4] M. S. Tehrany, B. Pradhan, and M. N. Jebur, "Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS," *Journal of Hydrology*, vol. 512, pp. 332–343, 2014, doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.03.008.
- [5] B. Merz, H. Kreibich, R. Schwarze, and A. Thieken, "Review article 'assessment of economic flood damage,'" *Natural Hazards and Earth System Science*, vol. 10, no. 8, pp. 1697–1724, 2010, doi: 10.5194/nhess-10-1697-2010.
- [6] M. Febriyani, P. K. Intan, and Widodo, "Analisis Clustering Daerah Rawan Banjir Menggunakan Fuzzy C- Means (Studi Kasus : Bakorwil 2 Jawa Timur)," *Jurnal Mahasiswa Matematika ALGEBRA*, vol. 1, no. 1, pp. 33–40, 2020, doi: <https://jurnalsaintek.uinsa.ac.id/index.php/algebra/article/download/1016/483/>.
- [7] M. L. L. Gado, F. R. Ngana, A. Z. Johanes, and J. L. Tanesib, "Pemetaan Daerah Rawan Bencana Longsor Dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis Di Kota Kupang," *Seminar Nasional Ilmu Fisika dan Terapannya*, vol. 1, no. 2, pp. 11–19, 2021, doi: <https://conference.undana.ac.id/snift/article/download/266/220/420>.
- [8] J. Ha, M. Kambe, and J. Pe, "Data Mining: Concepts and Techniques," *Data Mining: Concepts and Techniques*, pp. 1–703, 2011, doi: 10.1016/C2009-0-61819-5.
- [9] S. Parsian, M. Amani, A. Moghimi, A. Ghorbanian, and S. Mahdavi, "Flood hazard mapping using fuzzy logic, analytical hierarchy process, and multi-source geospatial datasets," *Remote Sens. (Basel)*, vol. 13, no. 23, pp. 1–22, 2021, doi: 10.3390/rs13234761.
- [10] Seprina Aulia Putri, "Pengelompokkan Daerah Rawan Bencana di Indonesia Menggunakan Metode Clustering K-Means," *Jupiter: Publikasi Ilmu Keteknikan Industri, Teknik Elektro dan Informatika*, vol. 3, no. 1, pp. 09–16, 2024, doi: 10.61132/jupiter.v3i1.644.
- [11] F. Saputra *et al.*, "Pemetaan Daerah Rawan Bencana Banjir di Wilayah Ranommentaa Kecamatan Toari Kabupaten Kolaka," *Jurnal Abdimas Indonesia*, vol. 5, no. 4, pp. 2411–2417, 2025, [Online]. Available: <https://www.dmi-journals.org/jai/article/view/2046/1538>
- [12] D. Metode and K. D. A. N. Fuzzy, "Inti Nusa Mandiri Clustering Data Meteorologi Wilayah Indonesia Timur," vol. 18, no. 2, pp. 100–106, 2024.
- [13] R. Aprilina, A. Nurlifa, A. Haryoko, R. E. Putri, and A. N. Rosalita, "Clustering Daerah Rawan Banjir Di Kabupaten Tuban Dengan K-Means Disertai Visualisasi Sistem Informasi Geografis," *Curtina*, vol. 3, no. 1, pp. 40–51, 2022, doi: 10.55719/curtina.v3i1.441.
- [14] K. Nida, M. N. Hayati, and R. Goejantoro, "Journal of Mathematics Education Implementasi Metode Fuzzy Possibilistic C-Means Pada Pengelompokan Provinsi Di Indonesia Berdasarkan," no. c, pp. 33–42, 2024.
- [15] W. Cahyadi, E. Haerani, A. Nazir, and I. Iskandar, "Analisis Algoritma Fuzzy C-Means Untuk Pengelompokan Data Keluarga," *TIN: Terapan Informatika Nusantara*, vol. 6, no. 7, pp. 1181–1189, 2025, doi: 10.47065/tin.v6i7.8981.
- [16] A. Pertiwi and R. Kurniawan, "Analisis Pemetaan Risiko Bencana Banjir di Indonesia Tahun 2011 – 2015 Menggunakan Fuzzy C-Means," *INA-Rxiv*, no. 2011, pp. 97–104, 2017, doi: 10.17605/osf.io/5kdvu.
- [17] D. Setiawan, "Analisis Curah Hujan di Indonesia untuk Memetakan Daerah Potensi Banjir dan Tanah Longsor dengan Metode Cluster Fuzzy C-Means dan Singular Value Decomposition (SVD)," *Engineering, Mathematics and Computer Science (EMACS) Journal*, vol. 3, no. 3, pp. 115–120, 2021, doi: 10.21512/emacsjournal.v3i3.7428.
- [18] S. Parveen and M. S. Yang, "Sparse Fuzzy C-Means Clustering with Lasso Penalty," *Symmetry (Basel)*, vol. 16, no. 9, pp. 1–23, 2024, doi: 10.3390/sym16091208.
- [19] Badan Pusat Statistik Kota Medan, *Kota Medan Dalam Angka 2024*. Medan: BPS Kota Medan, 2024.