

Perbandingan Metode Defuzzifikasi Dalam Sistem Inferensi *Fuzzy* Metode Mamdani Untuk Penentuan Kerentanan Rawan Banjir (Studi Kasus: Kota Medan)

Aula Amaliatul Khairo¹, Suryati Sitepu²

¹Prodi Matematika, FMIPA, Universitas Sumatera Utara, Medan-Indonesia 20155

²Program Studi Sarjana Matematika, FMIPA, Universitas Sumatera Utara, Medan-Indonesia 20155

Email: ¹aula.amalia11@gmail.com, ²sitepuati@gmail.com

ABSTRAK

Banjir merupakan bencana alam yang diakibatkan oleh genangan air dalam jumlah besar di suatu daerah. Sebagai Kota yang terus berkembang, Medan menghadapi risiko banjir yang semakin kompleks dan meningkat. Dampak banjir tidak hanya terbatas pada kerusakan fisik, tetapi juga berakibat serius pada kehidupan masyarakat dan aktivitas perekonomian. Oleh karena itu, analisis kerentanan banjir Kota Medan secara detail menjadi sangat penting. Penelitian ini menggunakan sistem inferensi *fuzzy* yaitu metode Mamdani dengan dua defuzzifikasi untuk mengidentifikasi wilayah yang lebih rentan dan memetakan wilayah yang aman dari kemungkinan terjadinya bencana banjir. Sistem inferensi *fuzzy* merupakan sistem yang memanfaatkan konsep logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* adalah pendekatan matematis yang memungkinkan pengelolaan informasi yang kabur atau tidak pasti. Beberapa faktor yang mempengaruhi proses perhitungan meliputi kepadatan penduduk, luas daerah aliran sungai, tinggi wilayah, dan curah hujan. Hasil dari penelitian ini yaitu Metode defuzzifikasi Centroid terbukti lebih unggul dengan tingkat keberhasilan sistem mencapai 76%, dibandingkan dengan metode defuzzifikasi *Mean of Maximum* (MOM) yang hanya 48%.

Kata kunci: *Fuzzy Mamdani, Defuzzifikasi Centroid, Defuzzifikasi MOM, Identifikasi*

ABSTRACT

Floods are natural disasters caused by large amounts of water pooling in an area. As a city that continues to develop, Medan faces increasingly complex and increasing flood risks. The impact of flooding is not only limited to physical damage, but also has serious consequences on people's lives and economic activities. Therefore, a detailed analysis of Medan City's flood vulnerability is very important. This research uses a fuzzy inference system, namely the Mamdani method with two defuzzifications to identify areas that are more vulnerable and map areas that are safe from the possibility of flood disasters. A fuzzy inference system is a system that utilizes the concept of fuzzy logic. Fuzzy logic is a mathematical approach that allows managing fuzzy or uncertain information. Several factors that influence the calculation process include population density, area of river flow, area height, and rainfall. The results of this research are that the Centroid defuzzification method is proven to be superior with a system success rate reaching 76%, compared to the Mean of Maximum (MOM) defuzzification method which is only 48%.

Keywords: *Fuzzy Mamdani, Centroid Defuzzification, MOM Defuzzification, Identification*

A. Pendahuluan

Bencana adalah suatu peristiwa yang dapat menimbulkan ancaman dan gangguan terhadap kehidupan manusia. Peristiwa ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, baik alam (bencana alam) maupun non-alam, termasuk faktor manusia. Dampak dari bencana dapat berupa kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan trauma psikologis bagi masyarakat yang terkena dampaknya. Salah satu jenis bencana yang umum terjadi adalah bencana alam. Bencana alam ini diakibatkan oleh peristiwa atau

serangkaian peristiwa yang berasal dari alam, seperti gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor. Bencana alam dapat menimbulkan dampak yang signifikan bagi kehidupan manusia dan lingkungan (Bakornas, 2007). Banjir merupakan salah satu jenis bencana alam yang sering terjadi di Indonesia. Berdasarkan data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), lebih dari 170 juta jiwa di Indonesia terpapar risiko banjir. Risiko ini tersebar di berbagai pulau, termasuk di provinsi Sumatera

Utara (W. Finaka, 2018).

Banjir merupakan bencana alam yang diakibatkan oleh genangan air dalam jumlah besar di suatu daerah. Genangan ini disebabkan oleh curah hujan tinggi yang tidak terserap dengan baik oleh tanah (Bakornas, 2007). Sebagai Kota yang terus berkembang, Medan menghadapi risiko banjir yang semakin kompleks dan meningkat. Pada tahun 2022, dua peristiwa banjir besar melanda Kota Medan. Pada 30 Oktober 2022, banjir melanda Medan Johor, berdampak pada 14 KK/55 jiwa, dengan 40 orang harus mengungsi. Kemudian, pada 18 November 2022, banjir merata di 9 kecamatan di Kota Medan (PKK, 2022). Pada 3 September 2023, banjir kembali terjadi di dua kecamatan, yaitu Medan Sunggal dan Medan Barat (PKK, 2023). Dampak banjir tidak hanya terbatas pada kerusakan fisik, tetapi juga berakibat serius pada kehidupan masyarakat dan aktivitas perekonomian. Oleh karena itu, analisis kerentanan banjir Kota Medan secara detail menjadi sangat penting. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi wilayah yang lebih rentan dan memetakan wilayah yang aman dari kemungkinan terjadinya bencana banjir. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk analisis ini adalah sistem inferensi fuzzy.

Sistem inferensi fuzzy merupakan sistem yang memanfaatkan konsep logika fuzzy. Logika fuzzy adalah seperangkat prinsip matematika untuk representasi pengetahuan berdasarkan derajat keanggotaan (Wawan, 2021). Dasar logika fuzzy terletak pada teori himpunan fuzzy, di mana peran derajat keanggotaan sangatlah penting dalam menentukan keberadaan elemen dalam suatu himpunan (Kusumadewi & Purnomo, 2010). Logika fuzzy sering digunakan dalam berbagai bidang penelitian karena konsepnya yang simple, fleksibel, toleran terhadap ketidakpastian, dan mampu memodelkan sistem nonlinear yang sangat kompleks dengan efektif (Kusumadewi & Purnomo, 2010).

Dalam konteks analisis kerentanan rawan banjir, faktor-faktor yang mempengaruhi kerentanan, seperti tinggi wilayah, curah hujan, luas Daerah Aliran Sungai (DAS), dan kepadatan penduduk, dapat memiliki tingkat ketidakpastian yang signifikan. Ketidakpastian ini membuat penerapan sistem inferensi fuzzy dalam analisis kerentanan rawan banjir menjadi

tepat. Metode ini mampu merepresentasikan ketidakpastian dan ambiguitas dalam mengukur kerentanan banjir dengan lebih akurat.

Ada tiga jenis metode dalam sistem inferensi fuzzy yang sering digunakan, yaitu Tsukamoto, Mamdani, dan Takagi Sugeno. Metode fuzzy Mamdani termasuk salah satu metode yang banyak diaplikasikan dalam kehidupan dan erdasarkan penelitian sebelumnya, metode fuzzy Mamdani terbukti memiliki tingkat akurasi yang terbaik dibandingkan dengan metode lainnya. Keunggulan utama metode fuzzy Mamdani terletak pada outputnya yang berupa nilai domain dari himpunan fuzzy yang telah dikategorikan ke dalam komponen linguistik. Kemampuan ini membuatnya mudah dipahami dan diinterpretasikan. Metode fuzzy Mamdani sering dikenal sebagai Metode Max-Min karena menggunakan fungsi implikasi minimum dan fungsi agregasi maksimum dalam proses inferensi fuzzy (Kusumadewi & Purnomo, 2010). Fungsi implikasi minimum digunakan untuk menghitung tingkat keanggotaan output fuzzy, sedangkan fungsi agregasi maksimum digunakan untuk menggabungkan kontribusi aturan fuzzy yang berbeda (Putri, 2019).

Beberapa penelitian terdahulu telah meneliti penggunaan sistem inferensi fuzzy untuk identifikasi bencana banjir. Salah satu contohnya adalah penelitian (Sumitra & Supatmi, 2019) yang menerapkan sistem fuzzy Mamdani untuk meramalkan kerentanan banjir di wilayah Bandung, Jawa Barat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh distrik di Jawa Barat berada dalam kondisi rawan banjir dan penggunaan metode fuzzy Mamdani menunjukkan tingkat keberhasilan yang tinggi. Penelitian lain oleh (Setiawan, 2019) membandingkan penggunaan dari dua metode yaitu *fuzzy* Mamdani dan Sugeno untuk mendeteksi daerah rentan banjir di Kecamatan Pringsewu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan pada metode Mamdani sebesar 70%, sedangkan tingkat keberhasilan pada metode Mamdani sebesar 48,33%. Selanjutnya, penelitian (Ardyanti & Iswanto, 2023) menerapkan metode fuzzy Mamdani untuk menganalisis tingkat kerentanan terhadap banjir di wilayah Garut. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat kerentanan terhadap banjir dan mengkategorikan

berbagai wilayah di Garut sebagai aman, rentan, atau banjir. Hasil penelitian menunjukkan tingkat akurasi sebesar 92,30% dibandingkan dengan katalog rentan banjir yang dikeluarkan oleh pemerintah nasional.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan keefektifan metode fuzzy Mamdani dalam analisis kerentanan rawan banjir. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang analisis kerentanan rawan banjir di Kota Medan menggunakan metode tersebut. Penelitian ini mengimplementasikan sistem inferensi fuzzy Mamdani dengan dua metode defuzzifikasi, yaitu centroid dan Mean of Maximum (MOM), untuk mengkategorikan wilayah-wilayah di Kota Medan sebagai aman, rentan, atau banjir. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data kepadatan penduduk, tinggi wilayah, luas daerah aliran sungai, dan curah hujan. Hasil penelitian diharapkan dapat menunjukkan metode defuzzifikasi mana yang lebih unggul dalam mengkategorikan wilayah-wilayah yang aman, rentan, dan banjir di Kota Medan.

B. Metode Penelitian

1. Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang bersumber dari berbagai instansi. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kepadatan penduduk (x_1) dalam satuan jiwa/km² yang diperoleh dari data online BPS, luas DAS (x_2) dalam satuan Ha yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sumatera II, tinggi wilayah (x_3) dalam satuan mdpl yang diperoleh dari data online BPS, curah hujan (x_4) dalam satuan mm/hari yang diperoleh dari data online BMKG, dan data tingkat kerentanan banjir (z) yang diperoleh dari katalog online Desa/Kelurahan Rawan Banjir BNPB. Seluruh data yang digunakan berfokus pada tahun 2023. Data kecamatan Kota Medan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Aktual Kecamatan Kota Medan

Kecamatan	x_1	x_2	x_3	x_4	z
Medan Tuntungan	4.845	2.664,5	56	14,206	Sedang

Kecamatan	x_1	x_2	x_3	x_4	z
Medan Tuntungan	4.845	2.664,5	56	14,206	Sedang
Medan Johor	10.622	1.709,1	41	14,206	Sedang
Medan Amplas	11.776	914,6	35	14,206	Sedang
Medan Denai	18.994	956,7	25	14,206	Sedang
Medan Area	21.387	406,38	26	14,206	Sedang
Medan Kota	16.087	571,04	27	14,206	Sedang
Medan Maimun	16.681	307,52	28	14,206	Sedang
Medan Polonia	6.735	882,33	30	14,206	Sedang
Medan Baru	6.197	541,13	31	14,206	Sedang
Medan Selayang	8.130	1.646,1	32	14,206	Sedang
Medan Sunggal	8.632	1.332,3	28	14,206	Sedang
Medan Helvetia	12.788	1.459,4	28	16,537	Sedang
Medan Petisah	10.621	531	26	16,537	Sedang
Medan Barat	16.744	621,5	20	16,537	Sedang
Medan Timur	15.082	927,5	20	16,537	Sedang
Medan Perjuangan	25.750	462,7	18	16,537	Sedang
Medan Tembung	18.683	676,8	20	16,537	Sedang
Medan Deli	9.201	2.075,8	13	9,961	Sedang
Medan Labuhan	3.698	3.531,6	6	9,961	Sedang
Medan Marelan	7.954	2.654,5	4	9,961	Sedang
Medan Belawan	4.200	2.934,4	5	9,961	Sedang

2. Metode Fuzzy Mamdani

Metode *fuzzy* Mamdani sering dikenal sebagai Metode Max-Min (Pasaribu & Syahputra, 2022). Metode ini menggunakan fungsi implikasi minimum dan fungsi agregasi maksimum dalam proses inferensi *fuzzy* (Kusumadewi & Purnomo, 2010). Fungsi implikasi minimum digunakan untuk menghitung tingkat keanggotaan output *fuzzy*, sedangkan fungsi agregasi maksimum

digunakan untuk menggabungkan kontribusi aturan *fuzzy* yang berbeda (Putri, 2019). Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Pada metode Mamdani, terdapat 4 tahapan untuk memperoleh output, yaitu:

- a. Pembentukan Himpunan *Fuzzy*: Proses ini melibatkan fuzzifikasi yaitu proses mengubah nilai-nilai data menjadi himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang sesuai.
- b. Aplikasi Fungsi Implikasi: Fungsi implikasi menghubungkan antara kondisi (antecedent) dan konsekuensi (consequent) dalam aturan *fuzzy*. Metode yang digunakan dalam fungsi ini adalah Min (minimum) dengan operator AND.
- c. Komposisi Aturan: Proses ini digunakan untuk menggabungkan hasil dari beberapa aturan *fuzzy* menjadi satu kesimpulan akhir. Penggabungan ini dilakukan dengan menggunakan metode MAX, yaitu mengambil nilai maksimum dari semua aturan dan menggabungkannya menggunakan operator OR (union).
- d. Defuzzifikasi: Proses mengubah hasil dari tahap inferensi menjadi output yang bernilai tegas (*crisp*). Menggunakan defuzzifikasi centroid dan MOM.

Centroid:

$$z^* = \frac{\int z\mu(z) dz}{\int \mu(z) dz} \quad (1)$$

z^* = titik pusat daerah *fuzzy* atau hasil defuzzifikasi

$\int z\mu(z) dz$ = nilai momen untuk semua daerah hasil komposisi

$\int \mu(z) dz$ = nilai dari luas untuk setiap daerah hasil komposisi

Mean of Maximum (MOM):

Defuzzifikasi MOM yaitu menghitung rata-rata dari nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan maksimum.

C. Hasil dan Pembahasan

1. Identifikasi Data Faktor Kerentanan Rawan Banjir

Data yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 21 data. Data tersebut terdiri dari 4 variabel *input* dan 1 variabel *Output*.

a. Variabel *Input*

Berdasarkan beberapa faktor kerentanan rawan banjir yang telah dilakukan sebelumnya, variabel input yang digunakan pada penelitian

ini yaitu kepadatan penduduk, luas DAS, tinggi wilayah, dan curah hujan.

b. Variabel *Output*

Output yang dihasilkan adalah hasil identifikasi wilayah terhadap risiko bencana banjir berdasarkan input yang ditentukan. Hasil identifikasi dalam penelitian ini adalah tingkat kerentanan banjir suatu wilayah kedalam kategori aman, rentan, dan banjir.

2. Pembentukan Himpunan

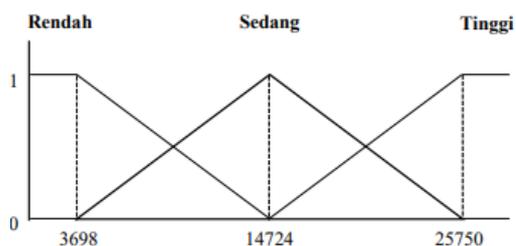
Berdasarkan data pada Tabel 1. akan dicari semesta pembicaraan pada setiap variabel dengan mengambil nilai minimum dan maksimum semua data. Setiap variabel dibagi menjadi 3 himpunan *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* dan domain untuk masing-masing variabel dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Himpunan *fuzzy* dan Domain Setiap Variabel

Variabel	Himpunan Fuzzy	Domain
x_1	Rendah	[3.698; 14.724]
	Sedang	[3.698; 25.750]
	Tinggi	[14.724; 25.750]
x_2	Kecil	[307,52; 1.919,5]
	Sedang	[307,52; 3.531,6]
x_3	Besar	[1.919,5; 3.531,6]
	Rendah	[4; 30]
	Sedang	[4; 56]
x_4	Tinggi	[30; 56]
	Rendah	[9,961; 13,2489]
	Sedang	[9,961; 16,537]
z	Tinggi	[13,2489; 16,537]
	Aman	[0; 0,5]
	Rentan	[0; 1]
	Banjir	[0,5; 1]

Langkah selanjutnya adalah membuat fungsi keanggotaan untuk setiap variabel. Dalam penelitian ini, bentuk fungsi keanggotaan untuk himpunan *fuzzy* rendah, kecil, dan aman adalah kurva linear turun. Sedangkan untuk himpunan *fuzzy* sedang dan rentan, serta tinggi, besar dan banjir, bentuknya adalah kurva segitiga dan kurva linear naik. Grafik fungsi keanggotaan untuk setiap variabel dapat dilihat pada Gambar 1, 2, 3, 4, dan 5 sebagai berikut:

a. Kepadatan Penduduk (x_1)



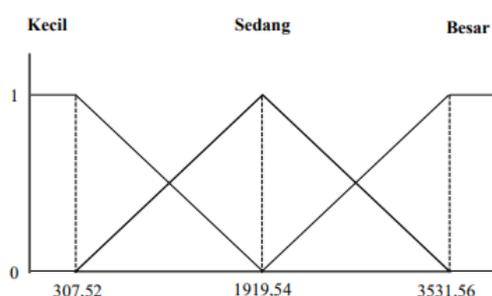
Gambar 1. Grafik Fungsi Keanggotaan Kepadatan Penduduk

$$\mu_{x_1,rendah}[x_1] = \begin{cases} 1; & x_1 \leq 3698 \\ \frac{(14724 - x_1)}{(14724 - 3698)}; & 3698 \leq x_1 \leq 14724 \\ 0; & x_1 \geq 14724 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{x_1,sedang}[x_1] = \begin{cases} 0; & x_1 \leq 3698 \text{ atau } x_1 \geq 25750 \\ \frac{(x_1 - 3698)}{(14724 - 3698)}; & 3698 \leq x_1 \leq 14724 \\ \frac{(25750 - x_1)}{(25750 - 14724)}; & 14724 \leq x_1 \leq 25750 \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{x_1,tinggi}[x_1] = \begin{cases} 0; & x_1 \leq 14724 \\ \frac{(x_1 - 14724)}{(25750 - 14724)}; & 14724 \leq x_1 \leq 25750 \\ 1; & x_1 \geq 25750 \end{cases} \quad (4)$$

b. Luas DAS (x_2)



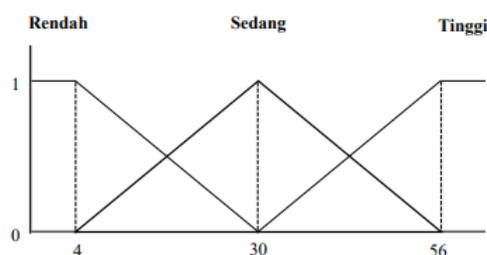
Gambar 2. Grafik Fungsi Keanggotaan Luas Daerah Aliran Sungai (DAS)

$$\mu_{x_2,kecil}[x_2] = \begin{cases} 1; & x_2 \leq 307,52 \\ \frac{(1919,5 - x_2)}{(1919,5 - 307,52)}; & 307,52 \leq x_2 \leq 1919,5 \\ 0; & x_2 \geq 1919,5 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{x_2,sedang}[x_2] = \begin{cases} 0; & x_2 \leq 307,52 \text{ atau } x_2 \geq 3531,6 \\ \frac{(x_2 - 307,52)}{(1919,5 - 307,52)}; & 307,52 \leq x_2 \leq 1919,5 \\ \frac{(3531,6 - x_2)}{(3531,6 - 1919,5)}; & 1919,5 \leq x_2 \leq 3531,6 \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{x_2,besar}[x_2] = \begin{cases} 0; & x_2 \leq 1919,5 \\ \frac{(x_2 - 1919,5)}{(3531,6 - 1919,5)}; & 1919,5 \leq x_2 \leq 3531,6 \\ 1; & x_2 \geq 3531,6 \end{cases} \quad (7)$$

c. Tinggi Wilayah (x_3)



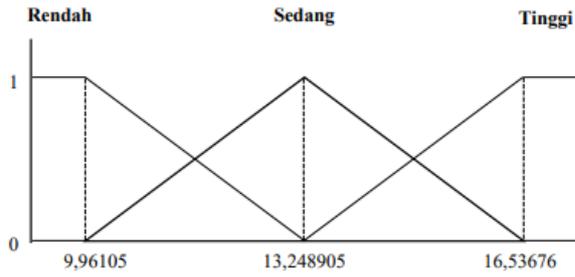
Gambar 3. Grafik Fungsi Keanggotaan Tinggi Wilayah

$$\mu_{x_3,rendah}[x_3] = \begin{cases} 1; & x_3 \leq 4 \\ \frac{(30 - x_3)}{(30 - 4)}; & 4 \leq x_3 \leq 30 \\ 0; & x_3 \geq 30 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{x_3,sedang}[x_3] = \begin{cases} 0; & x_3 \leq 4 \text{ atau } x_3 \geq 56 \\ \frac{(x_3 - 4)}{(30 - 4)}; & 4 \leq x_3 \leq 30 \\ \frac{(56 - x_3)}{(56 - 30)}; & 30 \leq x_3 \leq 56 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{x_3,tinggi}[x_3] = \begin{cases} 0; & x_3 \leq 30 \\ \frac{(x_3 - 30)}{(56 - 30)}; & 30 \leq x_3 \leq 56 \\ 1; & x_3 \geq 56 \end{cases} \quad (10)$$

d. Curah Hujan (x_4)



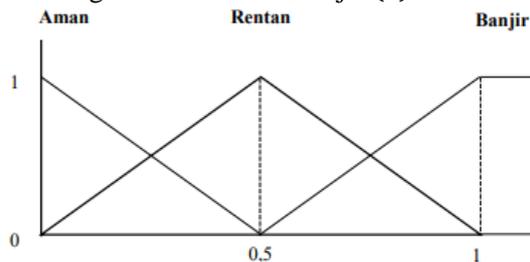
Gambar 4. Grafik Fungsi Keanggotaan Curah Hujan

$$\mu_{x_4 \text{rendah}}[x_4] = \begin{cases} 1; & x_4 \leq 9,961 \\ \frac{(13,2489 - x_4)}{(13,2489 - 9,961)}; & 9,961 \leq x_4 \leq 13,2489 \\ 0; & x_4 \geq 13,2489 \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{x_4 \text{sedang}}[x_4] = \begin{cases} 0; & x_4 \leq 9,961 \text{ atau } x_4 \geq 16,537 \\ \frac{(x_4 - 9,961)}{(13,2489 - 9,961)}; & 9,961 \leq x_4 \leq 13,2489 \\ \frac{(16,537 - x_4)}{(16,537 - 13,2489)}; & 13,2489 \leq x_4 \leq 16,537 \end{cases} \quad (12)$$

$$\mu_{x_4 \text{tinggi}}[x_4] = \begin{cases} 0; & x_4 \leq 13,2489 \\ \frac{(x_4 - 13,2489)}{(16,537 - 13,2489)}; & 13,2489 \leq x_4 \leq 16,537 \\ 1; & x_4 \geq 16,537 \end{cases} \quad (13)$$

e. Tingkat Kerentanan Banjir (z)



Gambar 5. Grafik Fungsi Keanggotaan Tingkat Kerentanan Banjir

$$\mu_{z \text{aman}}[z] = \begin{cases} 1; & z \leq 0 \\ \frac{(0,5 - z)}{(0,5 - 0)}; & 0 \leq z \leq 0,5 \\ 0; & z \geq 0,5 \end{cases} \quad (14)$$

$$\mu_{z \text{rentan}}[z] = \begin{cases} 0; & z \leq 0 \text{ atau } z \geq 1 \\ \frac{(z - 0)}{(0,5 - 0)}; & 0 \leq z \leq 0,5 \\ \frac{(1 - z)}{(1 - 0,5)}; & 0,5 \leq z \leq 1 \end{cases} \quad (15)$$

$$\mu_{z \text{banjir}}[z] = \begin{cases} 0; & z \leq 0,5 \\ \frac{(z - 0,5)}{(1 - 0,5)}; & 0,5 \leq z \leq 1 \\ 1; & z \geq 1 \end{cases} \quad (16)$$

Setelah fungsi keanggotaan untuk setiap variabel input dan output didapatkan, langkah selanjutnya adalah mencari derajat keanggotaan dari setiap himpunan fuzzy pada variabel input. Dalam penelitian ini, contoh perhitungan akan menggunakan data input pada kecamatan Medan Tuntungan, dimana data input untuk kepadatan penduduk (x_1) 4.845, untuk luas DAS (x_2) 2664,5, untuk tinggi wilayah (x_3) 56, dan untuk curah hujan (x_4) 14,206. Untuk setiap data input tersebut, derajat keanggotaannya dihitung pada setiap himpunan fuzzy pada variabel tersebut. Maka berdasarkan persamaan (2) hingga (13), diperoleh derajat keanggotaan untuk nilai *input* nya adalah sebagai berikut:

a. Kepadatan Penduduk

$$\mu_{x_1 \text{rendah}}[4845] = \frac{(14724 - 4845)}{(14724 - 3698)}$$

$$= 0,895973154$$

$$\mu_{x_1 \text{sedang}}[4845] = \frac{(4845 - 3698)}{(14724 - 3698)}$$

$$= 0,104026846$$

$$\mu_{x_1 \text{tinggi}}[4845] = 0$$

b. Luas DAS

$$\mu_{x_2 \text{kecil}}[2664,5] = 0$$

$$\mu_{x_2 \text{sedang}}[2664,5] = \frac{(3531,6 - 2664,5)}{(3531,6 - 1919,5)}$$

$$= 0,537896552$$

$$\mu_{x_2 \text{besar}}[2664,5] = \frac{(2664,5 - 1919,5)}{(3531,6 - 1919,5)}$$

$$= 0,46210345$$

c. Tinggi Wilayah

$$\mu_{x_3 \text{rendah}}[56] = 0$$

$$\mu_{x_3 \text{sedang}}[56] = 0$$

$$\mu_{x_3 \text{tinggi}}[56] = 1$$

d. Curah Hujan

$$\mu_{x_4 \text{rendah}}[14,206] = 0$$

$$\begin{aligned}\mu_{x_4 \text{ sedang}}[14,206] &= \frac{(16,537 - 14,206)}{(16,537 - 13,2489)} \\ &= 0,708957664 \\ \mu_{x_4 \text{ tinggi}}[14,206] &= \frac{(14,206 - 13,2489)}{(16,537 - 13,2489)} \\ &= 0,29104234\end{aligned}$$

3. Aplikasi Fungsi Implikasi

Fungsi implikasi yang digunakan adalah *Min* (minimum). Untuk menggabungkan beberapa aturan tersebut operator yang digunakan adalah operator *AND*, dimana setiap aturan menghasilkan α - *predikat* yang diperoleh dengan mengambil nilai terkecil di antara derajat keanggotaan elemen pada masing-masing himpunan yang bersangkutan. Penelitian ini menggunakan 81 aturan *fuzzy*, 5 diantaranya sebagai berikut:

[R1] Jika x_1 Rendah dan x_2 Kecil dan x_3 Rendah dan x_4 Rendah, maka z adalah Aman.

$$\alpha - \text{predikat}_1 = 0$$

[R2] Jika x_1 Rendah dan x_2 Kecil dan x_3 Rendah dan x_4 Sedang, maka z adalah Aman.

$$\alpha - \text{predikat}_2 = 0$$

[R3] Jika x_1 Rendah dan x_2 Kecil dan x_3 Sedang dan x_4 Rendah, maka z adalah Aman.

$$\alpha - \text{predikat}_3 = 0$$

[R4] Jika x_1 Rendah dan x_2 Kecil dan x_3 Sedang dan x_4 Sedang, maka z adalah Aman.

$$\alpha - \text{predikat}_4 = 0$$

[R5] Jika x_1 Rendah dan x_2 Kecil dan x_3 Tinggi dan x_4 Rendah, maka z adalah Aman.

$$\alpha - \text{predikat}_5 = 0$$

Lakukan langkah yang sama untuk aturan 6 sampai 81.

4. Komposisi Aturan

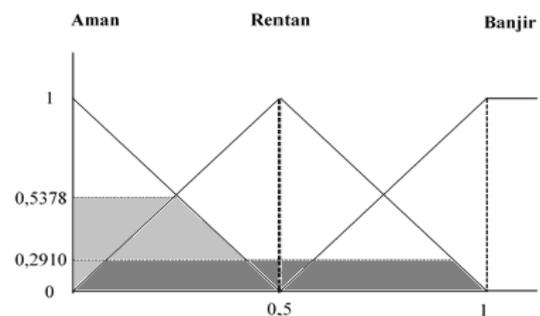
Pada tahap komposisi aturan, metode MAX digunakan untuk menggabungkan hasil implikasi dari semua aturan fuzzy. Hasil gabungan ini kemudian diubah menjadi satu fungsi keanggotaan baru yang mewakili kesimpulan keseluruhan sistem. Metode ini

memilih nilai maksimum dari setiap hasil aturan yang sama, maka dari hasil komposisi diperoleh:

$$\begin{aligned}\mu_{z \text{ aman}} &= \max(\mu_{[R1]}, \dots, \mu_{[R12]}, \dots, \mu_{[R36]}) \\ &= 0,53789655\end{aligned}$$

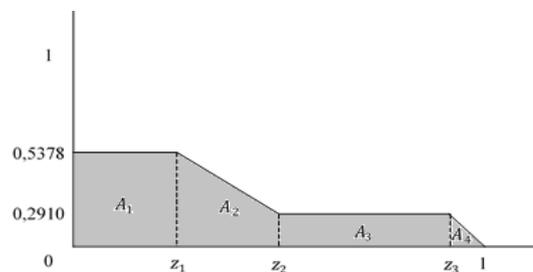
$$\begin{aligned}\mu_{z \text{ rentan}} &= \max(\mu_{[R37]}, \dots, \mu_{[R45]}, \dots, \mu_{[R63]}) \\ &= 0,291042336\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{z \text{ banjir}} &= \max(\mu_{[R64]}, \dots, \mu_{[R70]}, \dots, \mu_{[R81]}) \\ &= 0\end{aligned}$$



Gambar 6. Proses Komposisi Aturan

Berdasarkan Gambar 4. diperoleh daerah hasil komposisi sebagai berikut:



Gambar 7. Daerah Hasil Komposisi

Berdasarkan Gambar 7. fungsi keanggotaan hasil komposisi dibagi menjadi 4 daerah dengan masing-masing luasnya adalah A_1, A_2, A_3, A_4 . Untuk mendapatkan fungsi keanggotaan baru, dicari nilai z_1, z_2 , dan z_3 menggunakan persamaan (14) dan (15) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{(0,5 - z_1)}{(0,5 - 0)} &= 0,538 \rightarrow z_1 = 0,231 \\ \frac{(0,5 - z_2)}{(0,5 - 0)} &= 0,291 \rightarrow z_2 = 0,354 \\ \frac{(1 - z_3)}{(1 - 0,5)} &= 0,291 \rightarrow z_3 = 0,854\end{aligned}$$

Sehingga diperoleh fungsi keanggotaan untuk hasil komposisi sebagai berikut:

$$\mu[z] = \begin{cases} 0,538 & ; 0 \leq z \leq 0,231 \\ \frac{(0,5-z)}{(0,5-0)} & ; 0,231 \leq z \leq 0,354 \\ 0,291 & ; 0,354 \leq z \leq 0,854 \\ \frac{(1-z)}{(1-0,5)} & ; 0,584 \leq z \leq 1 \end{cases} \quad (17)$$

5. Defuzzifikasi

Output dari komposisi aturan adalah input untuk tahap defuzzifikasi. Dalam penelitian ini, digunakan 2 tahap defuzzifikasi yaitu centroid dan *Mean of Maximum* (MOM).

a. Defuzzifikasi Centroid

Solusi tegas diperoleh dengan mengambil titik pusat daerah *fuzzy*. Titik pusat adalah titik dimana total massa (fungsi keanggotaan gabungan) seimbang. Untuk menentukan titik ini, jumlahkan efek dari setiap bagian dari fungsi keanggotaan sepanjang domainnya. Pada tahap ini digunakan persamaan (1), yaitu:

$$z^* = \frac{\int z\mu(z)dz}{\int \mu(z)dz}$$

Untuk memperoleh hasil defuzzifikasi, terlebih dahulu dihitung momen (M) dan luas (A) untuk setiap daerah. Momen dalam metode ini adalah integral dari z (variabel keluaran yang mencakup semua nilai yang mungkin dari sistem *fuzzy*) dikalikan dengan fungsi keanggotaan gabungan $\mu(z)$. Sedangkan luas dihitung dengan mengintegrasikan fungsi keanggotaan gabungan $\mu(z)$ itu sendiri. Berdasarkan persamaan (1) diperoleh:

$$z^* = \frac{0,01435 + 0,01462 + 0,0879 + 0,01924}{0,124278 + 0,051045 + 0,1455 + 0,0213} = 0,397785 \approx 0,398$$

Langkah selanjutnya, substitusi hasil defuzzifikasi kedalam fungsi keanggotaan pada setiap variabel *output*, yaitu menggunakan persamaan (14), (15), dan (16), sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} \mu_{zaman}[0,398] &= \frac{(0,5 - 0,398)}{(0,5 - 0)} = 0,204 \\ \mu_{zrentan}[0,398] &= \frac{(0,398 - 0)}{(0,5 - 0)} = 0,796 \\ \mu_{zbanjir}[0,398] &= 0 \end{aligned}$$

Dari hasil substitusi diperoleh bahwa kategori wilayah Rentan memiliki derajat

keanggotaan paling besar sehingga dapat disimpulkan bahwa kecamatan Medan Tuntungan teridentifikasi Rentan terhadap banjir.

b. Defuzzifikasi *Mean of Maximum* (MOM)

Menghitung rata-rata dari nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan maksimum. Pada tahap komposisi didapat derajat keanggotaan maksimum adalah 0,538 untuk kategori Aman. Karena kategori aman menggunakan fungsi linear turun dari $[0, 0,5]$, maka dicari nilai domain yang sesuai dengan derajat keanggotaan maksimum diperoleh:

$$\begin{aligned} \mu_{TKaman}[z] &= \frac{(0,5 - z)}{(0,5 - 0)} \\ 0,538 &= \frac{(0,5 - z)}{(0,5 - 0)} \\ z &= 0,231 \end{aligned}$$

Nilai 0,231 adalah nilai domain untuk kategori Aman yang memiliki derajat keanggotaan maksimum 0,358. Karena hanya ada satu nilai derajat keanggotaan maksimum yang diperoleh, hasil defuzzifikasi dengan metode MOM adalah nilai tersebut yaitu 0,231. Langkah selanjutnya, substitusi hasil defuzzifikasi kedalam fungsi keanggotaan pada setiap variabel *output*, yaitu menggunakan persamaan (14), (15), dan (16), sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} \mu_{zaman}[0,231] &= \frac{(0,5 - 0,231)}{(0,5 - 0)} = 0,538 \\ \mu_{zrentan}[0,231] &= \frac{(0,231 - 0)}{(0,5 - 0)} = 0,462 \\ \mu_{zbanjir}[0,231] &= 0 \end{aligned}$$

Dari hasil substitusi diperoleh bahwa kategori wilayah Aman memiliki derajat keanggotaan paling besar sehingga dapat disimpulkan bahwa kecamatan Medan Tuntungan teridentifikasi Aman terhadap banjir.

6. Hasil Identifikasi

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka perbandingan hasil identifikasi wilayah menggunakan metode defuzzifikasi centroid dan MOM sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Identifikasi dengan Defuzzifikasi Centroid

Kecamatan	Z*	Tingkat Kerentanan	Katalog Data (BNPB)	Kecamatan	Z*	Tingkat Kerentanan	Katalog Data (BNPB)
Medan Tuntungan	0,398	Rentan	Sedang (Rentan)	Medan Johor	0,5	Rentan	Sedang (Rentan)
Medan Johor	0,468	Rentan	Sedang (Rentan)	Medan Amplas	0,5	Rentan	Sedang (Rentan)
Medan Amplas	0,482	Rentan	Sedang (Rentan)	Medan Denai	0,5	Rentan	Sedang (Rentan)
Medan Denai	0,524	Rentan	Sedang (Rentan)	Medan Area	0,802	Banjir	Sedang (Rentan)
Medan Area	0,580	Rentan	Sedang (Rentan)	Medan Kota	0,5	Rentan	Sedang (Rentan)
Medan Kota	0,501	Rentan	Sedang (Rentan)	Medan Maimun	0,5	Rentan	Sedang (Rentan)
Medan Maimun	0,502	Rentan	Sedang (Rentan)	Medan Polonia	0,178	Aman	Sedang (Rentan)
Medan Polonia	0,380	Rentan	Sedang (Rentan)	Medan Baru	0,146	Aman	Sedang (Rentan)
Medan Baru	0,372	Rentan	Sedang (Rentan)	Medan Selayang	0,201	Aman	Sedang (Rentan)
Medan Selayang	0,413	Rentan	Sedang (Rentan)	Medan Sunggal	0,224	Aman	Sedang (Rentan)
Medan Sunggal	0,426	Rentan	Sedang (Rentan)	Medan Helvetia	0,5	Rentan	Sedang (Rentan)
Medan Helvetia	0,568	Rentan	Sedang (Rentan)	Medan Petisah	0,5	Rentan	Sedang (Rentan)
Medan Petisah	0,5	Rentan	Sedang (Rentan)	Medan Barat	0,5	Rentan	Sedang (Rentan)
Medan Barat	0,509	Rentan	Sedang (Rentan)	Medan Timur	0,5	Rentan	Sedang (Rentan)
Medan Timur	0,500	Rentan	Sedang (Rentan)	Medan Perjuangan	0,769	Banjir	Sedang (Rentan)
Medan Perjuangan	0,809	Banjir	Sedang (Rentan)	Medan Tembung	0,5	Rentan	Sedang (Rentan)
Medan Tembung	0,531	Rentan	Sedang (Rentan)	Medan Deli	0,250	Aman	Sedang (Rentan)
Medan Deli	0,194	Aman	Sedang (Rentan)	Medan Labuhan	0,038	Aman	Sedang (Rentan)
Medan Labuhan	0,168	Aman	Sedang (Rentan)	Medan Marelان	0,228	Aman	Sedang (Rentan)
Medan Marelان	0,190	Aman	Sedang (Rentan)	Medan Belawan	0,185	Aman	Sedang (Rentan)
Medan Belawan	0,183	Aman	Sedang (Rentan)				

Tabel 3. Hasil Identifikasi dengan Defuzzifikasi *Mean of Maximum (MOM)*

Kecamatan	Z*	Tingkat Kerentanan	Katalog Data (BNPB)
Medan Tuntungan	0,231	Aman	Sedang (Rentan)

Tingkat keberhasilan dapat dilihat dari hasil perbandingan yaitu pada Tabel 2. dan Tabel 3. Berikut hasil perbandingan antara identifikasi asli dengan identifikasi menggunakan sistem *fuzzy*:

1. Metode Defuzzifikasi Centroid

$$Accuracy = \frac{16}{21} \times 100\% = 76\%$$
2. Metode Defuzzifikasi MOM

$$Accuracy = \frac{10}{21} \times 100\% = 48\%$$

Diperoleh hasil keakurasian antara defuzzifikasi centroid dan defuzzifikasi MOM adalah 76% dan 48%. Berdasarkan hasil tersebut, tingkat kebenaran sistem dalam mengidentifikasi tingkat kerentanan banjir suatu wilayah dengan metode defuzzifikasi centroid lebih baik dibandingkan model defuzzifikasi MOM.

D. Kesimpulan dan Saran

1. Kesimpulan

Penelitian ini membandingkan dua metode defuzzifikasi, Centroid dan MOM, dalam analisis tingkat kerentanan banjir di Kota Medan dengan 4 faktor penyebab kerentanan banjir yaitu kepadatan penduduk, luas DAS, tinggi wilayah, dan curah hujan. Metode Centroid terbukti lebih unggul dengan tingkat keberhasilan sistem mencapai 76%, dibandingkan dengan MOM yang hanya 48%. Keunggulan Centroid terletak pada akurasi dan representasi hasil yang lebih baik. Hal ini karena Centroid mempertimbangkan seluruh distribusi keanggotaan data input fuzzy, sehingga menghasilkan nilai yang lebih akurat dan sensitif terhadap perubahan kecil. Sebaliknya, MOM hanya memperhitungkan nilai maksimum, sehingga kehilangan informasi penting dan tidak memperhitungkan variasi kecil dalam data.

2. Saran

Penelitian ini mempertimbangkan 4 faktor penyebab kerentanan rawan banjir, yaitu kepadatan penduduk, luas daerah aliran sungai, tinggi wilayah, dan curah hujan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menambahkan faktor penyebab kerentanan rawan banjir seperti kemiringan lahan, tingkat penghambatan saluran air, dan faktor topografi lainnya. Sehingga dapat dianalisis ada atau tidaknya perubahan pada tingkat keberhasilan sistem *fuzzy*.

E. Daftar Pustaka

Ardyanti, R., & Iswanto, I. A. (2023). *Flood-Prone Susceptibility Analysis In Garut Using Fuzzy Inference System Mamdani Method*. 227, 912–921. 8

Bakornas. (2007). *Pengenalan Karakteristik Bencana dan Upaya Mitigasinya di Indonesia*.

Kusumadewi, S., & Purnomo, H. (2010). *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Pasaribu, A., & Syahputra, M. . (2022). *Comparison of Fuzzy Logic and Multiple Linear Regression in Forecasting Rice Production in Toba District*.: 5(2), 121–127.

PKK. (2022). *Banjir di Kota Medan, Sumatera Utara*.

PKK. (2023). *Banjir di Kota Medan, Sumatera Utara*.

Putri, I. K. (2019). *Aplikasi Metode Fuzzy Min-Max (Mamdani) dalam Menentukan Jumlah Produksi Perusahaan*. 9, 30–38.

Setiawan, A. E. (2019). *Analisa Metode Fuzzy Mamdani dan Sugeno untuk Deteksi Daerah Rentan Banjir: Studi Kasus Kecamatan Pringsewu*. 72–80.

Sumitra, I. D., & Supatmi, S. (2019). *Mamdani Fuzzy Inference System using Three Parameters for Flood Disaster Forecasting in Bandung region*. 662(4), 0–9.

W. Finaka, A. (2018). *Resiko Besar Bencana Banjir Di Indonesia*.

Wawan, Zuniati, M., Setiawan, A. (2021). *Optimization of National Rice Production with Fuzzy Logic using Mamdani Method*. 1(1), 36-43.