

Implementasi Fuzzy Associative Memory (FAM) untuk Mengestimasi Curah Hujan di Kota Malang

Qhonita Guruh Dwi Lestari*, Mohammad Nafie Jauhari

Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

qhonitaguruh99@gmail.com*, nafie.jauhari@uin-malang.ac.id

Abstrak

Metode *Fuzzy Associative Memory* (FAM) merupakan salah satu metode kombinasi logika *fuzzy* dan jaringan syaraf tiruan. Kombinasi logika *fuzzy* dan jaringan syaraf tiruan dalam FAM memiliki keunggulan dalam menerapkan keahlian manusia, toleran terhadap kesalahan, serta dapat diterapkan dalam dunia nyata. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat Kerkorian hasil implementasi FAM dalam mengestimasi curah hujan di kota Malang. Masalah yang terjadi adalah hasil perkiraan curah hujan yang berbeda dengan kenyataannya. Oleh karena itu, perlu adanya alat perencanaan yang dapat memperkirakan curah hujan untuk lokasi dan waktu tertentu. Solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu menggunakan kombinasi logika *fuzzy* dan jaringan syaraf tiruan yaitu *Fuzzy Associative Memory* (FAM). Metode ini memerlukan proses untuk menentukan fungsi keanggotaan. Setelah fungsi keanggotaan dibentuk lalu dibentuk matriks *input A* dan *output B* di mana elemen dari matriks tersebut berupa derajat keanggotaan variabel *input* untuk matriks *input A* dan derajat keanggotaan variabel *output* untuk matriks *output B*. Setelah itu untuk membentuk sistem FAM maka perlu dikalikan matriks *input A* dan *output B*. Jadi, banyaknya aturan sistem FAM sebanyak data yang digunakan. Lalu dilakukan pengujian data terhadap aturan sistem FAM yang diperoleh dan nilai maksimum pada matriks *B* baru merupakan solusi terbaik. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah suhu, kelembaban, tekanan udara, dan kecepatan angin. Hasil perkiraan curah hujan menggunakan FAM ini memiliki besar kesalahan persentase MAPE 15% yang berarti hasil peramalan baik. Diharapkan dengan menggunakan metode FAM dapat memperkirakan curah hujan beberapa waktu ke depan.

Kata kunci: *Fuzzy Associative Memory (FAM)*; logika *fuzzy*; jaringan syaraf tiruan; curah hujan, MAPE.

Abstract

The Fuzzy Associative Memory (FAM) method is a combination of fuzzy logic and artificial neural networks. The combination of fuzzy logic and artificial neural networks in FAM has the advantage of applying human expertise, tolerant of errors, and can be applied in the real world. This study aims to determine the accuracy of the results of the implementation of the FAM method in estimating rainfall in Malang City. The problem that occurs is that the results of rainfall estimates are different from reality. Therefore, it is necessary to have a planning tool that can estimate rainfall for a particular location and time. The solution to overcome these problems is to use a combination of fuzzy logic and artificial neural networks, namely FAM. This method requires a process to determine the membership function. After the membership function is formed, input matrix A and output matrix B are formed where the elements of the matrix are the membership degree of the input variable for input matrix A and the membership degree of the output variable for output matrix B. After that, to form a FAM system, it is necessary to invert the input A and output B matrices. So, the number of system FAM rules is as much as the data used. Then data testing is carried out on the system FAM rules obtained and the maximum value in the new matrix B is the best solution. The variables used in this study are temperature, humidity, air pressure, and wind speed. The results of the rainfall forecast using FAM have a large MAPE percentage error of 15% which means the forecasting results are good. It is expected that using the FAM method can estimate rainfall sometime in the future.

Keywords: Fuzzy Associative Memory (FAM); fuzzy logic; artificial neural network; rainfall; MAPE.

PENDAHULUAN

Logika *fuzzy* adalah salah satu elemen dari *soft computing*. *Soft computing* merupakan pendekatan model komputer yang meniru akal manusia, dengan kemampuan berpikir dan dapat beradaptasi pada lingkungan yang tidak tepat dan tidak pasti [1]. Pertama kali logika *fuzzy* diperkenalkan oleh Profesor Lotfi A. Zadeh tahun 1965 [2]. Logika *fuzzy* merupakan sistem yang berguna untuk mengatasi konsep kebenaran parsial. Kebenaran parsial merupakan kebenaran yang berada diantara kebenaran yang benar sepenuhnya dan salah sepenuhnya. Nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan merupakan ciri khas pada logika *fuzzy* [3]. Logika *fuzzy* berbeda dengan logika *crisp* atau tegas di mana logika *crisp* bernilai 1 atau 0, sedangkan logika *fuzzy* bernilai antara 0 sampai 1 dan disebut himpunan *fuzzy* [4].

Untuk kepentingan efisiensi waktu dan biaya, diperlukan cara lain untuk melengkapi logika *fuzzy*. Teknik pembelajaran pada jaringan syaraf tiruan dapat mengotomatisasikan proses dan secara signifikan dapat meminimalisir waktu dan biaya. Jaringan syaraf tiruan adalah sistem pemrosesan informasi dengan kinerja yang mirip dengan jaringan syaraf biologis [5]. Konsep logika *fuzzy* lebih sederhana, lebih mudah dipahami, dan toleran terhadap data yang tidak akurat, tetapi tidak bisa mendapatkan aturan secara otomatis. Sedangkan jaringan syaraf tiruan yang dapat memproses aturan *fuzzy* dalam proses pembelajaran. Namun, proses pembelajaran ini relatif lambat dan analisis jaringan yang terlatih sulit untuk sistem besar [6]. Oleh karena itu, dengan menggunakan integrasi sistem *fuzzy* dan jaringan syaraf tiruan memiliki keunggulan dalam menerapkan keahlian manusia, toleran terhadap kesalahan, serta dapat diterapkan dalam dunia nyata. Metode *Fuzzy Associative Memory* (FAM) merupakan salah satu metode kombinasi logika *fuzzy* dan jaringan syaraf tiruan [7].

Bart Kosko pertama kali memperkenalkan FAM. FAM adalah sistem *fuzzy* yang menghubungkan himpunan *fuzzy* dengan himpunan *fuzzy* lainnya. FAM adalah *Bidirectional Associative Memory* (BAM) versi *fuzzy* [8]. FAM sederhana menghubungkan aturan *fuzzy* atau himpunan *fuzzy* B_j ke himpunan *fuzzy* A_i [9]. FAM terdiri dari dua proses, yaitu proses belajar dan mengingat. Proses mempelajari dan menyimpan asosiasi dari pola. Proses mengingat dengan mencari pola yang tersimpan dari pola *input*. FAM banyak digunakan di beberapa bidang seperti pemrosesan gambar, prediksi, dan lain sebagainya [10].

Cuaca adalah kondisi atmosfer harian terjadi dalam waktu singkat dan dapat berubah pada daerah sempit. Iklim adalah konsep abstrak yang terdiri dari kondisi cuaca harian dan elemen atmosfer suatu wilayah tertentu dengan periode iklim yang panjang [11]. Curah hujan merupakan faktor yang sangat penting dalam mendukung berbagai kegiatan manusia. Saat ini, hasil perkiraan curah hujan yang berbeda dengan kenyataannya. Hal ini terjadi karena pergantian iklim telah berlangsung sangat cepat menyebabkan perkiraan curah hujan tidak mencerminkan kondisi aktual. Oleh karena itu, perlu adanya alat perencanaan yang dapat memperkirakan curah hujan untuk lokasi dan waktu tertentu yang mendekati keadaan sebenarnya. Kondisi cuaca hujan deras yang terjadi saat ini sering menyebabkan banjir. Hal ini perlu diamati karena cuaca di suatu wilayah menentukan rangkaian aktivitas manusia.

Menurut Siswanti dalam [12], curah hujan dinyatakan dalam satuan *milimeter* tetapi pada beberapa negara dinyatakan dalam satuan *inci*. Curah hujan adalah jumlah air hujan yang terakumulasi pada permukaan datar dan tidak menguap, meresap atau mengalir. Curah hujan 1 *mm*, yaitu pada area datar seluas 1 m^2 yang menampung air setinggi 1 *mm* atau sebanyak 1 *liter* [13]. Faktor-faktor yang mempengaruhi curah hujan meliputi suhu, kelembaban, tekanan udara, kecepatan angin, lama penyinaran matahari, dan sebagainya [14].

Untuk mengestimasi curah hujan, dapat digunakan kombinasi logika *fuzzy* dan jaringan syaraf tiruan yaitu *Fuzzy Associative Memory* (FAM). Jika estimasi curah hujan mendekati kondisi aktual, maka dapat dijadikan acuan dalam melakukan serangkaian aktivitas pada suatu wilayah. Pada penelitian ini, peneliti akan meneliti mengenai "Implementasi *Fuzzy Associative Memory* (FAM) Untuk Mengestimasi Curah Hujan di Kota Malang".

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian kuantitatif berdasarkan tahapan-tahapan yang terstruktur dan sistematis. Adapun untuk penelitian ini, data yang digunakan berupa data numerik yang diolah menggunakan *Fuzzy Associative Memory* (FAM) lalu disajikan dalam bentuk numerik dan diinterpretasikan dari hasil numerik tersebut.

Data dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder berupa data curah hujan, suhu, kelembaban, tekanan udara, dan kecepatan angin Kota Malang 2021 menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Karangploso melalui *website* BPS Kota Malang. Berikut adalah data yang diperoleh dan akan diolah secara manual.

Sub-kriteria Utama (C_{1j})	$TFN [x; a, b, c]$	$\mu_{\tilde{C}_{1j}}(x); x \in \mathbb{R}, j = 1, 2, \dots, n$
C_{11}	$TFN [66; 66, 83, 100]$	0
C_{12}	$TFN [32,5; 32, 35, 69]$	0,2
C_{13}	$TFN [64,38; 32, 50,5, 69]$	0,25
C_{14}	$TFN [29, 75; 0, 17, 5, 35]$	0,3

Tabel 1. Data Suhu Kelembaban, Tekanan Udara, Kecepatan Angin, dan Curah Hujan Kota Malang 2021

Bulan (2021)	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Tekanan Udara (mbar)	Kecepatan Angin (m/ detik)	Curah Hujan (mm)
Januari	24,5	83	943,4	3,3	373,5
Februari	24,9	80	943,8	4,1	486,4
Maret	24,9	81,2	944,2	2,8	299,7
April	25,7	73,7	945,2	3,3	123,8
Mei	25,8	74,2	944,7	3,7	82,7
Juni	25,5	76,3	946	3,3	206,3
Juli	24,6	70,6	945,9	4,2	17
Agustus	24,9	73,2	946,4	5	36,9
September	25,1	74	945,8	4,9	107
Oktober	25,3	76,9	945,6	4,3	132,8
November	24,7	83,2	944	2,7	367,1
Desember	25,3	81,6	944,8	3,3	214,6

Tahapan Penelitian

Berikut tahapan-tahapan mengolah data menggunakan *Fuzzy Associative Memory* (FAM):

1. Pembentukan fungsi keanggotaan.

2. Pembentukan matriks *input A* dan *output B*.
3. Pembentukan sistem FAM.
4. Pengujian data menggunakan FAM.
5. Defuzzifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Fuzzy Associative Memory (FAM)

Analisis estimasi curah hujan di Kota Malang menggunakan metode FAM adalah sebagai berikut:

1. Pembentukan fungsi keanggotaan

Pada tahapan pertama adalah membentuk variabel *input* dan *output*, himpunan, semesta pembicaraan, dan domain *fuzzy*. Variabel *input* yang digunakan adalah suhu, kelembaban, tekanan udara, dan kecepatan angin. Sedangkan variabel *output* yang digunakan adalah curah hujan. Semesta pembicaraan pada penelitian ini, diperoleh dari data terendah dan tertinggi yang berasal dari variabel *input* dan *output*. Berikut rincian dari variabel *input* dan *output* serta semesta pembicaraan pada Tabel 2.

Tabel 2. Semesta Pembicaraan Untuk Setiap Variabel *Fuzzy*

Fungsi	Variabel	Semesta Pembicaraan
Input	Suhu	[24,5 - 25,8]
	Kelembaban	[70,6 - 83,2]
	Tekanan Udara	[943,4 - 946,4]
	Kecepatan Angin	[2,7 - 5]
Output	Curah Hujan	[0-500]

Domain himpunan *fuzzy* pada penelitian ini, diperoleh dengan menghitung nilai maksimum dan nilai minimum dijumlahkan lalu dibagi dua. Sehingga variabel suhu diperoleh sebagai berikut.

$$\text{Suhu } (X) = \frac{24,5+25,8}{2} = \frac{50,3}{2} = 25,2$$

$$\text{Kelembaban } (Y) = \frac{70,6+83,2}{2} = \frac{153,8}{2} = 76,9$$

$$\text{Tekanan udara } (Z) = \frac{943,4+946,4}{2} = \frac{1889,8}{2} = 944,9$$

$$\text{Kecepatan angin } (W) = \frac{2,7+5}{2} = \frac{7,7}{2} = 3,9$$

Berikut data yang diperoleh setelah dilakukan perhitungan untuk mencari domain pada setiap himpunan *fuzzy* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Himpunan *Fuzzy*

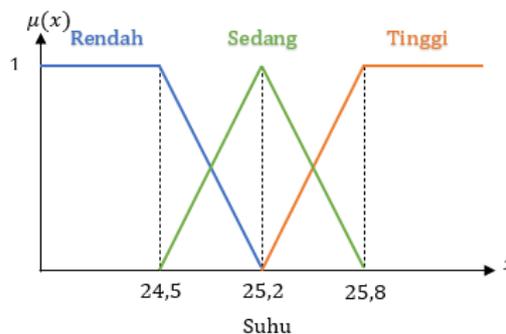
Fungsi	Variabel	Himpunan	Semesta Pembicaraan	Domain
Input	Suhu	Rendah	[24,5 - 25,8]	[24,5 - 25,2]
		Sedang		[24,5 - 25,8]

Kelembaban	Tinggi		[25,2 - 25,8]
	Rendah	[70,6 - 83,2]	[70,6 - 76,9]
	Sedang		[70,6 - 83,2]
Tekanan Udara	Tinggi		[76,9 - 83,2]
	Rendah	[943,4 - 946,4]	[943,4 - 944,9]
	Sedang		[943,4 - 946,4]
Kecepatan Angin	Tinggi		[944,9 - 946,4]
	Lambat	[2,7 - 5]	[2,7 - 3,9]
	Sedang		[2,7 - 5]
Output Curah Hujan	Cepat		[3,9 - 5]
	Rendah	[0-500]	[0 - 100]
	Menengah		[101 - 300]
	Tinggi		[301 - 500]

Berdasarkan variabel dan domain himpunan *fuzzy* yang telah dibuat, lalu menentukan fungsi keanggotaan untuk masing-masing variabel.

a. Himpunan *Fuzzy* Variabel Suhu (X)

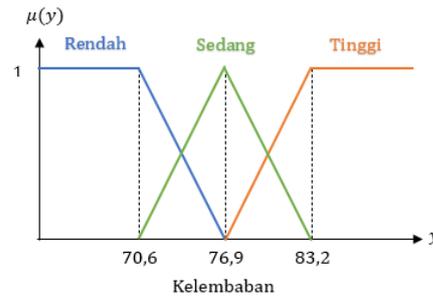
Variabel suhu (X) dapat dibagi menjadi 3 himpunan *fuzzy* yaitu RENDAH, SEDANG, dan TINGGI. Berikut representasi variabel suhu pada Gambar 1.



Gambar 1. Variabel Suhu

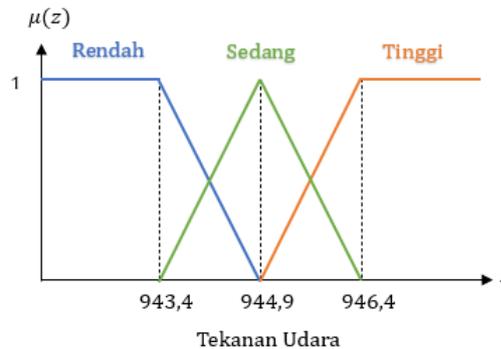
b. Himpunan *Fuzzy* Variabel Kelembaban (Y)

Variabel kelembaban (Y) dapat dibagi menjadi 3 himpunan *fuzzy* yaitu RENDAH, SEDANG, dan TINGGI. Berikut representasi variabel kelembaban pada Gambar 2.



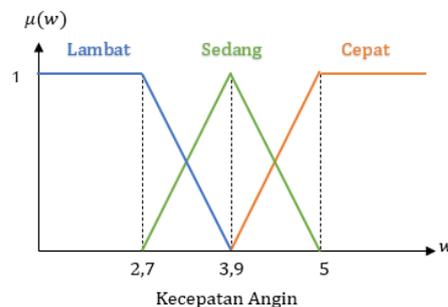
Gambar 2. Variabel Kelembaban

- c. Himpunan *Fuzzy* Variabel Tekanan Udara (Z)
 Variabel tekanan udara (Z) dapat dibagi menjadi 3 himpunan *fuzzy* yaitu RENDAH, SEDANG, dan TINGGI. Berikut representasi variabel tekanan udara pada Gambar 3.



Gambar 1. Variabel Tekanan Udara

- d. Himpunan *Fuzzy* Variabel Kecepatan Angin (W)
 Variabel kecepatan angin (W) dapat dibagi menjadi 3 himpunan *fuzzy* yaitu LAMBAT, SEDANG, dan CEPAT. Berikut representasi variabel kecepatan angin pada Gambar 4.



Gambar 4. Variabel Kecepatan Angin

Contoh: untuk suhu 24.5°C , kelembaban 83% , tekanan udara 943.4 mbar , kecepatan angin 3.3 m/detik maka derajat keanggotaan yang diperoleh sebagai berikut.

Suhu 24.5°C memiliki derajat keanggotaan:

$$\mu_{rendah}(24.5) = 1$$

$$\mu_{sedang}(24.5) = 0$$

$$\mu_{tinggi}(24.5) = 0$$

Kelembaban 83 % memiliki derajat keanggotaan:

$$\mu_{rendah}(83) = 0$$

$$\mu_{sedang}(83) = (83.2 - 83)/(83.2 - 76.9) = 0.2/6.3 = 0.032$$

$$\mu_{tinggi}(83) = (83 - 76.9)/(83.2 - 76.9) = 6.1/6.3 = 0.968$$

Tekanan udara 943.4 *mbar* memiliki derajat keanggotaan:

$$\mu_{rendah}(943.4) = 1$$

$$\mu_{sedang}(943.4) = 0$$

$$\mu_{tinggi}(943.4) = 0$$

Kecepatan angin 3.3 *m/detik* memiliki derajat keanggotaan:

$$\mu_{lambat}(3.3) = (3.9 - 3.3)/(3.9 - 2.7) = 0.6/1.2 = 0.500$$

$$\mu_{sedang}(3.3) = (3.3 - 2.7)/(3.9 - 2.7) = 0.6/1.2 = 0.500$$

$$\mu_{cepat}(3.3) = 0$$

2. Pembentukan matriks *input A* dan *output B*

Satu FAM yang merupakan suatu pasangan himpunan (A, B) akan memetakan vektor *input A* ke vektor *output B*, dimana variabel *input* yang dimiliki ada 4 yaitu suhu, kelembaban, tekanan udara dan kecepatan angin maka *input* vektor A akan berisi 12 elemen yaitu:

$$A = (\mu_{rendah}(x), \mu_{sedang}(x), \mu_{tinggi}(x), \mu_{rendah}(y), \mu_{sedang}(y), \mu_{tinggi}(y), \mu_{rendah}(z), \mu_{sedang}(z), \mu_{tinggi}(z), \mu_{lambat}(w), \mu_{sedang}(w), \mu_{cepat}(w))$$

Maka akan diperoleh

$$A_1 = (1; 0; 0; 0; 0,032; 0,968; 1; 0; 0; 0,500; 0,500; 0)$$

⋮

$$A_{12} = (0; 0,833; 0,167; 0; 0,254; 0,746; 0,067; 0,933; 0; 0,500; 0,500; 0)$$

Matriks B akan berisi sebanyak jumlah data yang ada pada database, isi dari vektor B yaitu elemen ke- i akan bernilai 1 selain itu bernilai 0. Maka akan diperoleh

$$B_1 = (1; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0)$$

⋮

$$B_{12} = (0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 1)$$

3. Pembentukan sistem FAM.

Berdasarkan data penelitian yang diperoleh, maka FAM akan memiliki 12 jumlah aturan yang sesuai dengan data yang diperoleh. Oleh karena itu, FAM akan terdiri dari aturan ($A_k \cdot B_k$) dengan $k = 1.2. \dots.12$, Sehingga didapatkan 12 matriks FAM ($M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot M_4 \cdot M_5 \cdot M_6 \cdot M_7 \cdot M_8 \cdot M_9 \cdot M_{10} \cdot M_{11} \cdot M_{12}$) masing-masing berukuran 12×12 yang dibentuk menggunakan *correlation product encoding*.

$$M_1 = A_1^T B_1$$

$$M_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.032 \\ 0.968 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0.500 \\ 0.500 \\ 0 \end{pmatrix} (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.032 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.968 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.500 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.500 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

dst

4. Pengujian data menggunakan FAM

Berikut hasil pengujian data menggunakan FAM:

Contoh: Bulan Januari

Input: suhu = 24.5 °C, kelembaban = 83 %, tekanan udara = 943.4 mbar kecepatan angin = 3.3 m/detik. *Output* curah hujan (yang sebenarnya) adalah 373.5 mm.

Data ini memberikan suatu vektor *input*:

$$A_1 = (1; 0; 0; 0; 0.032; 0.968; 1; 0; 0; 0.500; 0.500; 0)$$

Dengan menggunakan *max-product composition*, nilai setiap B_k' untuk

$k = 1.2. \dots 12$; diperoleh dari:

$$B_k' = AM_k$$

Setelah diperoleh nilai B_k' , akan didapat nilai vektor B dari penjumlahan B_k' , yaitu:

$$B = (1; 0.733; 0.661; 0.250; 0.417; 0.250; 0.857; 0.429; 0.143; 0.318; 0.968; 0.722)$$

5. Defuzzifikasi

Dengan menggunakan proses defuzzifikasi *winner take all*, elemen terbesar dari vektor B bulan Januari adalah elemen pertama (= 1). dengan menggunakan metode *winner take all* diperoleh nilai curah hujan 373,5 mm.

Analisis Menggunakan MAPE

MAPE merupakan alat statistik untuk mengukur keakuratan model statistik saat membuat peramalan atau prediksi. MAPE menunjukkan tingkat kesalahan absolut peramalan yang dilakukan dengan nilai sebenarnya dari hasil aktual yang diperoleh [15]. MAPE secara sistematis sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right| \times 100\%$$

Keterangan:

n = Ukuran sampel

A_i = Nilai data aktual

F_i = Nilai data peramalan

Berikut hasil perhitungan MAPE akan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan MAPE

Bulan (2021)	Curah Hujan	Variabel Linguistic	FAM	Variabel Linguistic	Persentase Kesalahan Absolut
Januari	373,5	Tinggi	373,5	Tinggi	0,00
Februari	486,4	Tinggi	373,5	Tinggi	23,21
Maret	299,7	Menengah	367,1	Tinggi	22,49
April	123,8	Menengah	82,7	Rendah	33,20
Mei	82,7	Rendah	82,7	Rendah	0,00
Juni	206,3	Menengah	132,8	Menengah	35,63
Juli	17	Rendah	17	Rendah	0,00
Agustus	36,9	Rendah	36,9	Rendah	0,00
September	107	Menengah	36,9	Rendah	65,51
Oktober	132,8	Menengah	132,8	Menengah	0,00
November	367,1	Tinggi	367,1	Tinggi	0,00
Desember	214,6	Menengah	214,6	Menengah	0,00
MAPE (%)					15,00

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kesimpulan bahwa dengan menggunakan metode FAM untuk mengestimasi curah hujan di Kota Malang memiliki MAPE sebesar 15%. Karena MAPE peramalan tersebut berkisar antara 10% – 20% maka dapat dikatakan bahwa metode FAM menghasilkan peramalan yang baik sehingga metode yang digunakan dapat menjadi acuan untuk mengestimasi curah hujan beberapa waktu ke depan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Kusumadewi and S. Hartati, *Neuro-Fuzzy: Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf*, 1st ed. Yogyakarta: 2006, 2006.
- [2] Y. Mardiana,) ; Toibah, U. Kalsum,) ; Yoli, and A. Rozzi, "Rainfall Prediction In

- Bengkulu City Fuzzy Logic-Based,” *J. Media Comput. Sci.*, vol. 1, no. 2, pp. 313–320–313–320, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.unived.ac.id/index.php/jmcs/article/view/2853>
- [3] M. Dahria, S. N. Arief, I. Santoso, and R. Kustini, “Sistem Pendukung Keputusan Menentukan Tingkat Kepuasan Customer Terhadap Pelayanan Jasa Kebersihan Di Pt. SASMenggunakanMetode Fuzzy Asosiative Memory,” *J-SISKO TECH (Jurnal Teknol. Sist. Inf. dan Sist. Komput. TGD)*, vol. 3, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.53513/jsk.v3i1.237.
- [4] F. Susilo, *Himpunan & Logika Kabur serta Aplikasinya*, 1st ed. Yogyakarta: 2006, 2006.
- [5] Z. Arifin, “Jaringan Syaraf Tiruan Bidirectional Associative Memory (BAM) Sebagai Identifikasi Pola Sidik jari Manusia,” *J. Inform. Mulawarman Progr. Stud. Ilmu Komput. Univ. Mulawarman*, vol. 4, no. 1, pp. 21–26, 2009.
- [6] D. Y. Maisarah and S. Sugiyarto, “Implementasi Fuzzy Neural Network untuk Peramalan Penjualan Sepeda Motor,” *J. Ilm. Mat.*, vol. 7, no. 2, p. 65, 2020, doi: 10.26555/konvergensi.v7i2.19604.
- [7] I. Permadi, A. K. Nugroho, and M. R. Rachmat, “Prediction of the Amount of Pepper Harvest By Using Fuzzy,” *Jutif*, vol. 3, no. 1, pp. 177–182, 2022.
- [8] M. Malau, F. Gratianus, N. Larosa, and H. G. Simanullang, “Sistem Pendukung Keputusan Penyeleksian Calon Penerima Manfaat (PM) Pada BRSKPN ‘ Insyaf ’ Medan Sumut Dengan Metode Fam,” vol. 2, no. 1, pp. 66–75, 2022.
- [9] S. Kusumadewi and H. Purnomo, *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*, 2nd ed. Yogyakarta, 2013.
- [10] P. V. Binh, N. T. Hoa, V. D. Thai, and Q. X. Truong, “A new fuzzy associative memory,” *Lect. Notes Inst. Comput. Sci. Soc. Telecommun. Eng. LNICST*, vol. 128, pp. 219–227, 2014, doi: 10.1007/978-3-319-05939-6_22.
- [11] I. Gunadi, A. Khuriati, M. F. Maulana, A. B. Putranto, and J. Endro, “Penentuan Curah Hujan Berdasarkan Input Cuaca Menggunakan Metode Logika Fuzzy Mamdani,” vol. 02, pp. 155–159, 2021, doi: 10.14710/Gading.
- [12] U. Sholihah, “Penerapan Logika Fuzzy Tsukamoto untuk Memprediksi Curah Hujan di Kabupaten Kotawaringin Timur,” vol. 02, no. 01, pp. 31–39, 2022.
- [13] D. Mulyono, “Analisis Karakteristik Curah Hujan Di Wilayah Kabupaten Garut Selatan,” *J. Konstr.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–9, 2016, doi: 10.33364/konstruksi/v.12-1.274.
- [14] N. Sunarmi *et al.*, “Analisis Faktor Unsur Cuaca terhadap Perubahan Iklim Di Kabupaten Pasuruan pada Tahun 2021 dengan Metode Principal Component Analysis,” *Newton-Maxwell J. Phys.*, vol. 3, no. 2, pp. 56–64, 2022, doi: 10.33369/nmj.v3i2.23380.
- [15] I. Nabillah and I. Ranggadara, “Mean Absolute Percentage Error untuk Evaluasi Hasil Prediksi Komoditas Laut,” *JOINS (Journal Inf. Syst.*, vol. 5, no. 2, pp. 250–255, 2020, doi: 10.33633/joins.v5i2.3900.