

Penerapan Logika Fuzzy Untuk Memprediksi Tingkat Curah Hujan di Kota Kendari

Muhammad Ricky Aryansah. B ^{1*}, Fildzah Khalishah Ghassani ², Rizal Adi Saputra ³

^{1,2,3} Universitas Halu Oleo, Indonesia

* rickyaryansah@gmail.com

DOI : 10.56427/jcbd.v3i2.406

INFO ARTIKEL

Histori Artikel

Diterima : 30 April 2024

Ditinjau : 3 Mei 2024

Disetujui : 25 Mei 2024

Kata Kunci

Logika Fuzzy

Curah Hujan

Metode Fuzzy

Fuzzy Logic Matlab

Keywords

Fuzzy Logic

Rainfall

Fuzzy Methods

Fuzzy Logic Matlab

ABSTRAK

Curah hujan merupakan unsur cuaca yang bervariasi di setiap wilayah Indonesia termasuk Kota Kendari, mempengaruhi berbagai aspek kehidupan manusia, sehingga informasi prediksi curah hujan sangat diperlukan. Penelitian ini bertujuan membangun aplikasi prediksi curah hujan Kota Kendari menggunakan tiga metode logika fuzzy, yaitu Mamdani, Takagi-Sugeno, dan Tsukamoto, serta membandingkan hasil prediksi ketiganya. Pembuatan aplikasi meliputi pengumpulan data, pembentukan himpunan fuzzy, pengolahan data dengan fuzzy, implementasi prediksi, dan perbandingan hasil prediksi. Data cuaca yang digunakan mencakup curah hujan, temperatur, kecepatan angin, kelembaban, dan tekanan udara. *Software* yang digunakan adalah Matlab2014b dengan *Fuzzy Logic Toolbox*. Hasil penelitian menunjukkan Metode Sugeno memiliki tingkat akurasi dan nilai Kappa terbaik, yakni 78% dan 0.57, dibandingkan Metode Mamdani dan Tsukamoto yang masing-masing 67% dan 0.34. Metode ini memberikan wawasan tentang prediksi curah hujan yang bisa diterapkan pada masalah lain. Hasil prediksi dapat digunakan untuk memprediksi banjir, meminimalisir risiko, dan dampak negatifnya. Informasi prediksi curah hujan juga bermanfaat dalam berbagai bidang seperti penerbangan, pelayaran, transportasi darat, lingkungan, dan pertanian.

Rainfall is a weather element that varies in each region of Indonesia, including Kendari City, and affects various aspects of human life, making rainfall prediction information highly necessary. This research aims to develop a rainfall prediction application for Kendari City using three fuzzy logic methods, namely Mamdani, Takagi-Sugeno, and Tsukamoto, and compare the prediction results of these methods. The application development involves several processes, including data collection, fuzzy set formation, data processing with fuzzy logic, prediction implementation, and comparison of prediction results among the three fuzzy methods used. The weather data involved include rainfall, air temperature, wind speed, humidity, and air pressure. The software used for application development is Matlab2014b, utilizing the Fuzzy Logic Toolbox available in Matlab and Matlab coding. The research results show that the Sugeno Method has the best accuracy and Kappa value, which are 78% and 0.57, respectively, compared to the Mamdani and Tsukamoto Methods, which each have 67% and 0.34. This method provides insights into rainfall prediction methods that can also be applied to other problems. The prediction results can be used to predict floods, minimizing the risks and negative impacts. Rainfall prediction information is also useful in various fields such as aviation, shipping, land transportation, environment, and agriculture.



JCBD is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang beriklim tropis, dimana iklim tropis memiliki dua musim, yaitu musim kemarau dan musim penghujan yang berputar setiap enam bulan sekali [1]. Salah satu unsur iklim dan cuaca yang menarik untuk diteliti yaitu tingkat curah hujan [2]. Di wilayah Indonesia, tingkat curah hujan memiliki perbedaan pola di setiap kotanya. Di antaranya ada yang mempunyai pola mussonal maupun pola ekuatorial [3]. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa tingkat curah hujan sangat mempengaruhi berbagai aspek kehidupan baik di pedesaan maupun di perkotaan. Kondisi cuaca di suatu daerah menentukan rangkaian berbagai aktivitas manusia.

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) adalah perusahaan negara dan lembaga pemerintah yang bertugas sebagai pengamat cuaca. BMKG mampu memprediksi cuaca melalui metode konvensional, baik itu metode statistik maupun dinamik yang mencakup radius 5–10 km di daratan dan sekitar ± 50 km di lautan untuk satu titik pengamatan di wilayah yang dapat diprediksikan [4]. BMKG juga bertugas untuk memberikan informasi cuaca dan tingkat curah hujan di berbagai daerah di Indonesia [5].

Cuaca cenderung berubah-ubah, sehingga memungkinkan untuk terjadinya penyimpangan yang tidak dapat dihindari. Penyimpangan tersebut dapat dilihat dari peristiwa turunnya hujan yang terus menerus selama beberapa hari yang dapat menimbulkan bencana, seperti bencana banjir [4]. Akibatnya, banyak masyarakat yang dirugikan karena bencana banjir tersebut. Hal ini dikarenakan bencana banjir dapat melumpuhkan berbagai kegiatan, seperti kegiatan perekonomian, terhambatnya transportasi, merusak infrastruktur kota, dan menimbulkan dampak negatif lainnya [6]. Untuk mengurangi dampak negatif dari bencana banjir atau biasa disebut dengan mitigasi banjir, diperlukan prediksi akan terjadinya banjir. Salah satu komponen untuk memprediksi terjadinya bencana banjir adalah data tentang pola curah hujan.

Informasi tentang prediksi tingkat curah hujan tidak saja dimanfaatkan untuk memprediksi terjadinya bencana banjir, tetapi informasi tersebut juga sudah menjadi bagian tak terpisahkan dalam aktivitas penerbangan, pelayaran dan transportasi darat. Selain itu, informasi curah hujan sangat diperlukan oleh para ahli lingkungan untuk mengetahui siklus hidrologi di suatu wilayah. Informasi ini juga dibutuhkan dalam bidang pertanian. Dengan informasi ini, petani dapat mengetahui waktu dan tempat yang tepat untuk menanam, sehingga dapat memperoleh hasil panen yang maksimal. Selain itu, petani juga bisa menentukan jenis tanaman apa yang tepat atau cocok ditanam pada kondisi cuaca atau curah hujan yang terjadi [7].

Perkembangan cepat dalam ilmu pengetahuan dan teknologi mengharuskan manusia untuk bisa menyesuaikan diri dengan perubahan dan dampaknya. Hal ini membutuhkan kemampuan untuk terus mengikuti perkembangan teknologi [8]. Untuk memperoleh informasi tentang tingkat curah hujan, diperlukan penggunaan teknologi canggih seperti aplikasi prediksi tingkat curah hujan. Aplikasi ini berfungsi untuk melihat dan menganalisa pola tingkat curah hujan yang akan terbentuk kedepannya. Aplikasi prediksi tingkat curah hujan yang akan dibangun menggunakan logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* digunakan karena dapat memetakan suatu input ke dalam suatu output dan memiliki toleransi terhadap data-data yang bersifat abu-abu atau ambiguitas yang tersedia [9]. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan prediksi tingkat curah hujan di Kota Pekanbaru menggunakan Logika *Fuzzy* Mamdani [2]. Namun, dalam penelitian tersebut hanya memprediksi tingkat curah hujan menggunakan logika *fuzzy* Mamdani. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan memprediksi tingkat curah hujan Kota Kendari menggunakan ketiga metode logika *fuzzy*, yaitu metode Mamdani, Takagi-Sugeno, dan Tsukamoto.

2. Metodologi Penelitian

Pembuatan aplikasi prediksi tingkat curah hujan di Kota Kendari terdiri dari beberapa proses, yaitu proses pengumpulan data, proses pembentukan himpunan *fuzzy*, proses pengolahan data dengan *fuzzy*, proses implementasi prediksi, dan proses perbandingan hasil prediksi antara tiga metode *fuzzy* yang digunakan.

a. Pengumpulan Data

Pada proses ini, peneliti mengumpulkan data cuaca untuk Kota Kendari, Provinsi Sulawesi Tenggara. Data cuaca yang dimaksud terdiri dari beberapa unsur cuaca, antara lain curah hujan, temperatur udara, kecepatan angin, kelembaban udara, dan tekanan udara. Data cuaca yang akan dikumpulkan adalah data cuaca bulanan yakni data bulan januari sampai bulan desember tahun 2009-2018. Hal ini dilakukan untuk memperoleh hasil prediksi cuaca yang baik.

b. Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

Proses selanjutnya adalah proses pembentukan himpunan *fuzzy*. Pada proses ini, setiap unsur cuaca yang dilibatkan akan ditentukan himpunan *fuzzy*-nya masing-masing. Baik itu unsur cuaca yang berperan sebagai variabel input maupun sebagai variabel output. Satu unsur cuaca dapat terdiri dari dua, tiga, atau lebih himpunan *fuzzy*. Setiap unsur cuaca dijadikan sebagai variabel. Kemudian setiap variabel dibagi ke dalam beberapa

himpunan *fuzzy*, ditentukan semesta pembicaraannya, lalu ditentukan domain untuk masing-masing himpunan *fuzzy*-nya.

c. Pengolahan Data dengan *Fuzzy*

Setelah data terkumpul dan pembentukan himpunan *fuzzy* untuk setiap unsur cuaca yang dilibatkan telah dilakukan, proses selanjutnya adalah pengolahan data dengan metode *fuzzy*. Pada proses ini dilakukan pengolahan data untuk masing-masing metode *fuzzy*, yaitu yaitu metode Mamdani, Takagi-Sugeno, dan Tsukamoto. Ketiga metode tersebut masing-masing memiliki empat tahapan, yaitu tahap fuzzyfikasi, pembentukan basis pengetahuan *fuzzy* (rule dalam bentuk if...then), inferensi, dan defuzzyfikasi. Setiap tahapan dilakukan sesuai dengan metode *fuzzy* yang digunakan, karena proses yang terjadi pada setiap tahap untuk masing-masing metode memiliki ciri tersendiri, khususnya pada tahap mesin inferensi dan defuzzyfikasi.

d. Implementasi Prediksi

Adapun *software* yang digunakan untuk membangun aplikasi prediksi tingkat curah hujan Kota Kendari adalah Matlab. Penelitian ini akan memanfaatkan *Fuzzy Logic Toolbox* yang telah tersedia di dalam *software* Matlab. *Fuzzy Logic Matlab Toolbox* terdiri dari lima GUI tools, yaitu *Fuzzy Inference System Editor*, *Membership Function Editor*, *Rule Editor*, *Rule Viewer*, dan *Surface Viewer* [10]. Penggunaan GUI pada pembuatan aplikasi prediksi tingkat curah hujan Kota Kendari dilakukan karena pembuatan aplikasi dengan menggunakan GUI tools lebih mudah dibandingkan dengan pembuatan aplikasi dengan menggunakan program yang berbasis console.

e. Perbandingan Hasil Prediksi

Setelah hasil prediksi untuk masing-masing metode Mamdani, Takagi-Sugeno, dan Tsukamoto diketahui, maka dilanjutkan dengan proses perbandingan. Pada proses ini akan dibandingkan tingkat akurasi dari ketiga metode *fuzzy* tersebut. Dari hasil perbandingan ini diharapkan dapat diperoleh informasi untuk menjawab pertanyaan berikut:

- 1) Apakah ketiga metode *fuzzy* ini dapat diaplikasikan untuk memprediksi tingkat curah hujan Kota Kendari.
- 2) Apakah ketiga metode *fuzzy* ini memiliki tingkat akurasi yang baik untuk memprediksi tingkat curah hujan Kota Kendari.
- 3) Apakah ketiga metode *fuzzy* tersebut memiliki tingkat akurasi yang sama dalam memprediksi tingkat curah hujan Kota Kendari.
- 4) Apakah diantara ketiga metode *fuzzy* tersebut ada yang memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan metode *fuzzy* lainnya dalam memprediksi tingkat curah hujan Kota Kendari.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini dibahas tentang hasil yang diperoleh dari setiap tahapan dalam metodologi penelitian.

a. Pengumpulan Data

Hasil yang diperoleh pada tahap pengumpulan data berupa data cuaca Kota Kendari yang bersumber dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Stasiun Klimatologi Ranomeeto, Kendari, Sulawesi Tenggara. Data cuaca yang diperoleh terdiri dari data temperatur udara, kecepatan angin, kelembaban udara, tekanan udara, dan curah hujan. Data tersebut merupakan data bulanan selama 10 tahun. Contoh data yang dikumpulkan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Cuaca Bulan Januari 2009 - Desember 2009
(Sumber: BMKG Stasiun Klimatologi Ranomeeto Kendari)

Bulan	Temperatur (°C)	Kecepatan Angin (knot)	Kelembaban Relatif (%)	Tekanan (mbar)	Curah Hujan (mm3)
Januari	27.9	2.4	80	1010.3	157.8
Februari	27.4	2	84	1010.9	221.3
Maret	26.9	2.4	85	1008.9	249.3
April	26.9	1.5	85	1010.1	353.2
Mei	27.8	1.9	83	1009.9	339.8
Juni	27.6	2.1	80	1010.3	84.1
Juli	27.5	1.4	85	1010.9	238.9

Agustus	28.3	0.9	82	1012.6	99.4
September	27.9	0.6	82	1009.8	162.8
Oktober	27.6	0.5	84	1008.3	223.5
November	27.4	2.1	82	1009.3	225.7
Desember	27.4	2.4	84	1012	263

b. Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

Berdasarkan data cuaca ditentukan bahwa curah hujan dimasukkan sebagai variabel output dan keempat data lainnya dijadikan sebagai variabel input. Setelah penentuan variabel input dan output, selanjutnya dibentuk himpunan *fuzzy* untuk seluruh variabel.

Langkah awal dalam pembentukan himpunan *fuzzy* adalah penentuan semesta pembicaraan. Penentuan semesta pembicaraan dapat dilakukan dengan bantuan nilai minimum dan maksimum variabel. Berdasarkan data bulanan untuk 10 tahun dari wilayah Ranomeeto, Kendari. Dapat diketahui bahwa nilai minimum temperatur udara adalah 25.1 0C dan nilai maksimumnya sebesar 28.8 0C. Untuk itu, semesta pembicaraan variabel temperatur udara ditetapkan pada interval [24-30]. Dengan cara yang sama diperoleh semesta pembicaraan untuk variabel kecepatan angin, kelembaban udara, tekanan udara, dan curah hujan seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Himpunan *Fuzzy*

Fungsi	Nama Variabel	Nama Himpunan <i>Fuzzy</i>	Semesta Pembicaraan	Domain	Keterangan
Input	Temperatur Udara	Sejuk	[24-30]	[24-26.5]	(°C)
		Sedang		[26-27.5]	
		Panas		[27-30]	
	Kecepatan Angin	Lambat	[0-3]	[0-1]	(knot)
		Sedang		[0.5-2]	
		Kencang		[1.5-3]	
	Kelembaban Udara	Kering	[0-100]	[0-80.5]	(%)
		Agak Kering		[80-88.5]	
		Basah		[88-100]	
	Tekanan Udara	Rendah	[1007-1015]	[1007-1011]	(mbar)
		Sedang		[1010-1013]	
		Tinggi		[1012-1015]	
Output	Curah Hujan	Rendah	[0-826]	[0-105]	(mm ³)
		Sedang		[95-305]	
		Tinggi		[295-405]	
		Sangat Tinggi		[395-826]	

Langkah selanjutnya adalah membagi variabel ke dalam beberapa himpunan dan menentukan domain setiap himpunan tersebut. Untuk temperatur udara, rentang sejuk, sedang, dan panas ditentukan berdasarkan pola distribusi suhu yang sering terjadi, dengan sejuk antara 24°C hingga 26.5°C, sedang antara 26°C hingga 27.5°C, dan panas antara 27°C hingga 30°C. Domain kecepatan angin dibagi menjadi lambat (0-1 knot), sedang (0.5-2 knot), dan kencang (1.5-3 knot) berdasarkan pola distribusi kecepatan angin dalam data. Kelembaban udara dibagi menjadi kering (0-80.5%), agak kering (80-88.5%), dan basah (88-100%) sesuai dengan distribusi kelembaban yang tercatat. Tekanan udara dibagi menjadi rendah (1007-1011 mbar), sedang (1010-1013 mbar), dan tinggi (1012-1015 mbar) berdasarkan data tekanan udara historis. Untuk curah hujan, kategori rendah mencakup rentang 0-105 mm³, mencerminkan curah hujan terendah yang sering terjadi.

c. Pengolahan Data dengan *Fuzzy*

Dalam pengolahan data dengan metode *fuzzy*, terdapat beberapa tahapan yang dilakukan untuk masing-masing metode *fuzzy*, seperti Metode Mamdani, Takagi-Sugeno, dan Tsukamoto. Ini melibatkan representasi

fungsi keanggotaan untuk variabel input dan output, pembentukan himpunan *fuzzy*, pembentukan aturan logika *fuzzy*, aplikasi fungsi implikasi, komposisi antar aturan, dan proses defuzzifikasi.

Representasi fungsi keanggotaan untuk setiap variabel dilakukan menggunakan *Fuzzy Logic Toolbox* pada Matlab. Setiap variabel memiliki himpunan *fuzzy* yang direpresentasikan dengan fungsi trapesium atau fungsi segitiga, tergantung pada jenisnya. Setelah representasi fungsi keanggotaan, dilakukan pembentukan aturan logika *fuzzy* berdasarkan data latih yang telah diperoleh.

Dalam Metode Mamdani, pembentukan aturan logika *fuzzy* memperhitungkan semua kombinasi variabel input dengan menggunakan fungsi MIN. Kemudian, aplikasi fungsi implikasi dilakukan dengan menghitung α -predikat dari setiap aturan *fuzzy*. Setelah itu, dilakukan komposisi antar aturan menggunakan metode MAX. Proses defuzzifikasi akhir dilakukan dengan metode Centroid untuk mendapatkan output yang tepat. Sedangkan dalam Metode Sugeno, pembentukan himpunan *fuzzy* dan pembentukan aturan logika *fuzzy* dilakukan seperti pada Metode Mamdani. Namun, dalam aplikasi fungsi implikasi, nilai output ditentukan berdasarkan persamaan linear. Komposisi antar aturan dan proses defuzzifikasi juga dilakukan untuk mendapatkan output akhir. Metode Tsukamoto memiliki karakteristik yang sedikit berbeda, di mana fungsi keanggotaan untuk variabel output umumnya adalah fungsi naik dan turun atau fungsi segitiga. Pembentukan aturan logika *fuzzy* dan proses defuzzifikasi dilakukan dengan mempertimbangkan hubungan antara variabel input dan output.

d. Hasil Implementasi Prediksi

Bagian implementasi prediksi tingkat curah hujan untuk Kota Kendari menggambarkan proses implementasi menggunakan tiga metode, Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto. Untuk metode Mamdani, proses melibatkan penggunaan MATLAB 2014b dengan *Fuzzy Logic Matlab Toolbox* yang terdiri dari lima GUI tools, termasuk *Fuzzy Inference System Editor*, *Membership Function Editor*, *Rule Editor*, *Rule Viewer*, dan *Surface Viewer*. Sementara itu, implementasi metode Sugeno juga melibatkan alat yang sama dengan fokus pada pembentukan fungsi keanggotaan dan aturan berdasarkan persamaan linear untuk variabel output. Namun, metode Tsukamoto tidak menggunakan *Fuzzy Logic Matlab Toolbox*, sehingga prosesnya dijelaskan melalui koding pada setiap tahap logika *fuzzy*, termasuk fuzzifikasi, pembentukan aturan, dan defuzzifikasi. Selain itu, pembuatan aplikasi prediksi menggunakan *Graphic User Interface* (GUI), menampilkan desain program dalam format figure (.fig), script M-file pada MATLAB, serta tampilan GUI saat dijalankan dengan memasukkan nilai variabel input untuk memperoleh prediksi tingkat curah hujan yang sesuai.

The screenshot shows a MATLAB GUI titled "GUI Mamdani" with the main heading "PREDIKSI TINGKAT CURAH HUJAN KOTA KENDARI". It is divided into several sections:

- Variabel Input:** Four input fields with their values and units:
 - TEMPERATUR: 26.7 °C
 - KECEPATAN ANGIN: 1.9 knot
 - KELEMBABAN UDARA: 80.3 (%)
 - TEKANAN: 1011.5 mbar
- Curah Hujan Metode Mamdani:** Output field showing "Sedang" with a value of 161.79.
- Curah Hujan Metode Sugeno:** Output field showing "Sedang" with a value of 91.5.
- Curah Hujan Metode Tsukamoto:** Output field showing "Sedang" with a value of 114.286.
- Buttons:** "PREDIKSI" (highlighted in blue), "RESET", and "KELUAR".
- Ket (Notes):** A text box at the bottom left providing ranges for input variables:
 - Temperatur (24-30) °C
 - Tekanan (1007-1015) mbar
 - Kecepatan Angin (0-3) knot
 - Kelembaban Udara (0-100) %

Gambar 1. Tampilan Program Saat Dijalankan

e. Perbandingan Hasil Prediksi

Seperti yang telah diuraikan sebelumnya bahwa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data cuaca Kota Kendari selama 10 tahun, yaitu tahun 2009-2018. Data latih digunakan sebanyak tujuh tahun, yaitu tahun 2009-2015 dan data uji digunakan sebanyak tiga tahun, yaitu tahun 2016-2018. Adapun data uji ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Uji

NO	Temperatur Udara	Kecapatan Angin	Kelembaban Udara	Tekanan Udara	Data BMKG	Tingkat
1	26.6	1.9	82	1013.1	29.2	Rendah
2	25.5	0.7	79	1014.2	0	Rendah
3	25.6	2.1	80	1014.8	0	Rendah
4	27.5	0.8	81	1011.9	83.7	Rendah
5	26.8	0.8	86	1012.7	29	Rendah
6	26.3	2.3	78	1013.3	20	Rendah
7	27.8	2.9	77	1012.8	1.5	Rendah
8	27	1.4	87	1010.7	227.3	Sedang
9	27.2	2.1	84	1012.1	91.3	Rendah
10	27.3	2.3	80	1012.6	51.9	Rendah
11	27.7	2.1	80	1012.9	17.9	Rendah
12	26.6	0.7	77	1013.2	0	Rendah
13	26.7	2.1	79	1015	4.5	Rendah
14	27.7	0.7	82	1011.2	187.9	Sedang
15	28.2	0.7	82	1010.9	65.9	Rendah
16	28	2.4	78	1012.5	0	Rendah
17	28.5	2.8	79	1010.2	62.6	Rendah
18	27.6	2.1	85	1010.1	114.6	Sedang
19	27.7	2.1	82	1010.7	87.5	Rendah
20	28	2.1	81	1011	62.3	Rendah
21	27.6	2.1	81	1010.9	112.1	Sedang
22	28.2	0.9	78	1011.3	22.1	Rendah
23	28.8	2.1	77	1011.3	0.7	Rendah
24	28.5	0.7	81	1010.4	32.6	Rendah
25	28.3	0.7	81	1008.8	233.6	Sedang
26	28.4	2.3	80	1011.1	130.1	Sedang
27	27.7	2.2	83	1010.8	207.9	Sedang
28	27.4	2.3	85	1008	147.8	Sedang
29	27.5	2.2	84	1009.1	76	Rendah
30	27.5	1.7	83	1009.8	131.8	Sedang
31	27.2	1.4	85	1009.9	287.1	Sedang
32	27.6	0.6	84	1010.1	436.7	Tinggi
33	28.6	1.4	81	1011.3	251.1	Sedang
34	28	0.5	84	1009.3	206.7	Sedang
35	28.4	0.6	81	1009.5	148.1	Sedang
36	28.8	2	80	1008.2	198.5	Sedang

Tingkat derajat Curah Hujan pada Tabel 3. diperoleh berdasarkan pembagian domain untuk himpunan *fuzzy* variabel Curah Hujan yang terdapat pada Tabel 2. Semua data yang ada dalam tabel data uji (Tabel 3.) diuji pada aplikasi GUI yang telah dihasilkan. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian

NO	Data BMKG	Metode Mamdani	Metode Sugeno	Metode Tsukamoto
1	Rendah	Sedang	Rendah	Sedang
2	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
3	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
4	Rendah	Sedang	Rendah	Sedang
5	Rendah	Sedang	Rendah	Sedang
6	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
7	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah

8	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
9	Rendah	Sedang	Sedang	Sedang
10	Rendah	Rendah	Sedang	Rendah
11	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
12	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
13	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
14	Sedang	Sedang	Rendah	Sedang
15	Rendah	Sedang	Rendah	Sedang
16	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
17	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
18	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
19	Rendah	Sedang	Sedang	Sedang
20	Rendah	Sedang	Sedang	Sedang
21	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
22	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
23	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
24	Rendah	Sedang	Rendah	Sedang
25	Sedang	Sedang	Rendah	Sedang
26	Sedang	Rendah	Rendah	Rendah
27	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
28	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
29	Rendah	Sedang	Sedang	Sedang
30	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
31	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
32	Tinggi	Sedang	Sedang	Sedang
33	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
34	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
35	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
36	Sedang	Rendah	Rendah	Rendah

Berdasarkan Tabel 4. diperoleh bahwa hasil prediksi dengan Metode Mamdani dan Metode Tsukamoto memiliki kesamaan dengan data uji sebanyak 24 data. Sedangkan hasil prediksi dengan Metode Sugeno memiliki kesamaan dengan data uji sebanyak 28 data. Berdasarkan hasil tersebut diperoleh kesimpulan bahwa Metode Mamdani dan Metode Tsukamoto memiliki tingkat akurasi sebesar 67%. Sedangkan Metode Sugeno memiliki tingkat akurasi sebesar 78%. Rangkuman hasil tersebut ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Tingkat Akurasi Hasil Prediksi

	Prediksi Benar	Prediksi Salah	Tingkat Akurasi
Metode Mamdani	24	12	67%
Metode Sugeno	28	8	78%
Metode Tsukamoto	24	12	67%

Selanjutnya dihitung nilai Kappa dari hasil prediksi untuk ketiga metode tersebut. Proses perhitungan nilai Kappa membutuhkan susunan data seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Susunan Data Perhitungan Nilai Kappa untuk Metode Mamdani dan Tsukamoto

		Data Uji			
		Rendah	Sedang	Tinggi	Total
Metode Mamdani dan Tsukamoto	Rendah	12	2	0	14
	Sedang	9	12	1	22
	Tinggi	0	0	0	0
	Total	21	14	1	36

Dihitung nilai Kappa untuk Metode Mamdani dan Tsukamoto. Hasil perhitungan nilai Kappa diuraikan sebagai berikut:

$$P_1 = \frac{(A1+B1)}{2N}$$

$$P_1 = \frac{(21+14)}{2(36)}$$

$$P_1 = 0.49$$

Selanjutnya, dihitung nilai $e(\gamma)$.

$$e(\gamma) = 2P_1(1 - P_1)$$

$$e(\gamma) = 2(0.49)(1 - 0.49)$$

$$e(\gamma) = 0.5$$

Selanjutnya, dihitung nilai AC1 dan p .

$$AC1 = \frac{p - e(\gamma)}{1 - e(\gamma)} = \frac{0.67 - 0.5}{1 - 0.5} = 0.34$$

Dengan,

$$p = \frac{(A+D+C)}{N} = \frac{(12+12+0)}{36} = 0.67$$

Dengan cara yang sama dan berdasarkan susunan data pada Tabel 7. diperoleh nilai Kappa untuk hasil prediksi Metode Sugeno sebesar 0.57.

Tabel 7. Susunan Data Perhitungan Nilai Kappa untuk Metode Sugeno

		Data Uji			
		Rendah	Sedang	Tinggi	Total
Metode Sugeno	Rendah	17	3	0	20
	Sedang	4	11	1	16
	Tinggi	0	0	0	0
	Total	21	14	1	36

Berdasarkan interpretasi nilai Kappa menurut Landis dan Koch [11], nilai Kappa Metode Mamdani dan Tsukamoto sebesar 0.34 menunjukkan bahwa proporsi kesepakatan antara hasil prediksi BMKG dengan Metode Mamdani dan Tsukamoto adalah cukup (*fair agreement*). Sedangkan nilai Kappa Metode Sugeno sebesar 0.57 menunjukkan bahwa proporsi kesepakatan antara hasil prediksi BMKG dan Metode Sugeno adalah sedang (*moderate agreement*). Adapun rangkuman tingkat prediksi dan nilai Kappa dari hasil prediksi untuk ketiga metode disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Tingkat Akurasi dan Nilai Kappa Hasil Prediksi

Metode	Tingkat Akurasi	Nilai Kappa	Interpretasi Nilai Kappa
Mamdani	67%	0.34	Cukup (<i>fair agreement</i>)
Sugeno	78%	0.57	Sedang (<i>moderate agreement</i>)
Tsukamoto	67%	0.34	Cukup (<i>fair agreement</i>)

Berdasarkan Tabel 8. dapat disimpulkan bahwa:

1. Metode Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto dapat diaplikasikan untuk memprediksi tingkat curah hujan Kota Kendari.
2. Ketiga metode *fuzzy* ini memiliki tingkat akurasi yang baik untuk memprediksi tingkat curah hujan Kota Kendari.

3. Metode Mamdani dan Tsukamoto memiliki tingkat akurasi yang sama dalam memprediksi tingkat curah hujan Kota Kendari. Namun Metode Sugeno memiliki tingkat akurasi yang berbeda dengan dua metode lainnya.
4. Metode Sugeno memiliki tingkat akurasi dan nilai Kappa yang lebih baik dibandingkan dengan Metode Mamdani dan Tsukamoto dalam memprediksi tingkat curah hujan Kota Kendari. Konsistensi dan efisiensi dari metode Sugeno yang lebih stabil dalam menghasilkan output. Ini karena metode Sugeno menggunakan fungsi linear atau konstanta untuk output, yang mengurangi ketidakpastian pada proses defuzzifikasi. Metode Sugeno memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menangani hubungan non-linear antara variabel input dan output, yang merupakan karakteristik umum dalam prediksi cuaca. Hubungan non-linear ini sering kali sulit ditangani dengan metode lain, namun Sugeno mampu mengintegrasikannya dengan lebih efektif, menghasilkan prediksi yang lebih akurat.

Namun, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang dapat mempengaruhi tingkat akurasi atau hasil perhitungan metode. Salah satu keterbatasan utama adalah data cuaca yang digunakan hanya berasal dari tahun 2009 hingga 2018 dan merupakan data bulanan. Ketidaklengkapan atau ketidaktepatan dalam data ini dapat menyebabkan ketidakakuratan dalam model prediksi. Selain itu, model fuzzy yang digunakan tidak sepenuhnya menangkap kompleksitas dinamika cuaca, karena pendekatannya berbasis aturan dan set fuzzy yang tidak merepresentasikan fenomena cuaca yang lebih kompleks secara sempurna. Keterbatasan lain adalah pada generalisasi hasil penelitian, di mana model ini dirancang khusus untuk data cuaca Kota Kendari, sehingga tidak dapat diterapkan secara efektif pada wilayah lain dengan kondisi cuaca yang berbeda. Keterbatasan-keterbatasan ini dapat mempengaruhi akurasi prediksi, karena model tidak cukup robust untuk menangani variabilitas yang lebih luas atau ketidakpastian data.

Tingkat akurasi dan nilai Kappa dari hasil prediksi untuk Metode Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto masih kurang dari 80% dan baru mencapai interpretasi sedang. Hal ini disebabkan pada proses pembentukan aturan *fuzzy*. Kendala yang dialami pada proses pembentukan aturan *fuzzy* pada Metode Mamdani dan Tsukamoto adalah data latih BMKG yang kurang bagus. Pada proses pengecekan nilai dengan mengurutkan dan mengelompokkan data berdasarkan nilai curah hujan, diperoleh bahwa nilai variabel Kelembaban Udara cukup memberi korelasi yang baik terhadap penentuan tingkat curah hujan. Nilai Kelembaban Udara yang tinggi memberi dampak nilai curah hujan yang tinggi pula. Kemudian disusul oleh nilai variabel Kecepatan Angin. Namun nilai variabel Temperatur Udara dan Tekanan Udara hampir tidak memberi korelasi terhadap nilai Variabel Curah Hujan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan bahwa Metode Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto dapat digunakan untuk memprediksi tingkat curah hujan di Kota Kendari. Ketiga metode *fuzzy* ini menunjukkan tingkat akurasi yang baik dalam memprediksi curah hujan di kota tersebut. Namun, Metode Sugeno menonjol dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan Metode Mamdani dan Tsukamoto. Metode Mamdani dan Tsukamoto memiliki tingkat akurasi sebesar 67% dengan nilai Kappa sebesar 0.34 yang dianggap cukup (*fair agreement*), sementara Metode Sugeno mencapai tingkat akurasi sebesar 78% dengan nilai Kappa sebesar 0.57 yang dianggap sedang (*moderate agreement*).

Ucapan Terima Kasih

Terima Kasih penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini.

Referensi

- [1] E. Suasaningdyah, "Peningkatan Nilai Peserta Didik Mata Pelajaran IPS Topik Bermain Layang-Layang Melalui Pembelajaran Kontesktual," *J. Pendidik. (Teori dan Prakt.*, vol. 2, no. 2, p. 105, 2018, doi: 10.26740/jp.v2n2.p105-115.
- [2] Z. Julisman and Erlin, "Prediksi Tingkat Curah Hujan di Kota Pekanbaru menggunakan Logika Fuzzy Mamdani," *J. SATIN - Sains dan Teknol. Inf.*, vol. 3, no. 1, pp. 65–72, 2014.
- [3] S. Alfiandy *et al.*, "Analisis Iklim Provinsi Sulawesi Tengah berdasarkan Data Pemantau Cuaca Otomatis BMKG," *Bul. GAW Bariri*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2020, doi: 10.31172/bgb.v1i1.5.
- [4] Y. Mardiana, T. U. Kalsum, and Y. A. Rozzi, "Rainfall Prediction In Bengkulu City Fuzzy Logic-Based," *J. Media Comput. Sci.*, vol. 1, no. 2, pp. 313–320, 2022, doi: 10.37676/jmcs.v1i2.2853.
- [5] I. H. Wele, N. D. Rumlaklak, and M. Boru, "Sistem Peramalan Cuaca dengan Fuzzy Mamdani (Studi Kasus: BMKG Lasiana)," *J. Komput. dan Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 163–169, 2020, doi: 10.35508/jicon.v8i2.2883.
- [6] A. dkk Fakhurozi, "Kajian Dampak Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera (JTTS) Terhadap

- Infrastruktur dan Lingkungan,” *J. Ilm. Penal. dan Penelit. Mhs.*, vol. 4, no. 1, pp. 14–29, 2020, [Online]. Available: <http://jurnal.ukmpenelitianuny.id/index.php/jipppm/article/view/185/77>
- [7] I. Dainty, S. H. Abdullah, and A. Priyati, “Analisis Peluang Curah Hujan Untuk Penetapan Pola Dan Waktu Tanam Serta Pemilihan Jenis Komoditi Yang Sesuai Di Desa Masbagik Kecamatan Masbagik Kabupaten Lombok Timur: Analysis on Rainfall Probability for Determine Pattern and Planting Period and Selection,” *J. Ilm. Rekayasa Pertan. dan Biosist.*, vol. 4, no. 1, pp. 207–216, 2016.
- [8] Lala Pricilia Sahfitri, “Analisis System Application and Product (SAP) Pada Bagian Keuangan di PT PLN UPDL Tuntungan,” *J. Comput. Digit. Bus.*, vol. 2, no. 1, pp. 24–31, 2023, doi: 10.56427/jcbd.v2i1.38.
- [9] N. Yulianti and A. Wijaya, “Implementasi Logika Fuzzy Metode Mamdani Pada Prediksi Biaya Pemakaian Listrik,” *J. Math.*, vol. 3, no. 3, pp. 57–65, 2014, [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujme>
- [10] E. Ramdani, “Fuzzy Logic Modeling untuk pengambilan keputusan menggunakan MATLAB,” *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 4, no. 2, p. 74, 2016, doi: 10.36055/setrum.v4i2.455.
- [11] J. Landis and G. Koch, “The measurement of observer agreement for categorical data. - PubMed - NCBI,” *Biometrics*, vol. 33, pp. 159–174, 1977.