



Penerapan Metode Fuzzy Mamdani dalam Prediksi Cuaca di Tegal

Muhammad Nur Aslam¹, Sarif Surejo², Erni Unggul Sedy Utami³

¹Teknik Informatika STMIK YMI Tegal

^{2,3}Sistem Informasi STMIK YMI Tegal

aslammnur83@gmail.com, sarif_surejo@stmik-tegal.ac.id, eunggulsu@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini membahas penerapan metode Fuzzy Mamdani untuk memprediksi kondisi cuaca di Kabupaten Tegal dengan memanfaatkan tiga variabel utama, yaitu suhu udara, kelembapan udara, dan kecepatan angin. Data cuaca diperoleh dari BMKG Tegal periode 2024–2025 dan diolah melalui proses fuzzifikasi, pembentukan aturan IF–THEN, inferensi fuzzy, dan defuzzifikasi menggunakan metode centroid. Sistem yang dibangun menghasilkan prediksi cuaca berupa kategori “cerah”, “berawan”, “hujan ringan”, dan “hujan lebat”. Hasil evaluasi menggunakan Mean Absolute Error (MAE) sebesar 0,29 dan Root Mean Squared Error (RMSE) sebesar 1,08 menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dan kesalahan prediksi yang sangat rendah. Dengan demikian, metode Fuzzy Mamdani terbukti efektif dalam menghasilkan prediksi cuaca yang akurat dan relevan, sehingga dapat dimanfaatkan oleh masyarakat, khususnya petani dan nelayan, untuk perencanaan aktivitas serta mitigasi risiko akibat perubahan cuaca mendadak.

Kata Kunci: Fuzzy Mamdani, Prediksi Cuaca, Logika Fuzzy, Fuzzifikasi, Kabupaten Tegal.

1. Latar Belakang

Cuaca memiliki pengaruh signifikan terhadap kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat, terutama di wilayah beriklim tropis seperti Indonesia. Perubahan kondisi cuaca yang cepat dan tidak menentu dapat berdampak langsung terhadap aktivitas manusia, termasuk transportasi, kesehatan, pendidikan, dan produktivitas kerja [1]. Di daerah agraris seperti Kabupaten Tegal, yang juga merupakan wilayah pesisir utara Pulau Jawa, cuaca berperan sentral dalam mendukung sektor pertanian dan perikanan. Karakteristik iklim tropis yang kompleks, dipengaruhi oleh angin muson, perubahan iklim global, serta faktor lokal, menjadikan pola cuaca di daerah ini sulit diprediksi secara akurat [2]. Kondisi tersebut menuntut tersedianya informasi prediksi cuaca yang relevan, tepat waktu, dan dapat dipercaya, agar masyarakat dapat merencanakan kegiatan harian dan meminimalkan risiko akibat perubahan cuaca mendadak.

Seiring meningkatnya kebutuhan masyarakat akan informasi cuaca yang relevan dan tepat waktu, tantangan bagi sistem prediksi cuaca menjadi semakin kompleks. Perubahan iklim, variabilitas cuaca harian, dan faktor lokal yang dinamis menuntut pendekatan yang mampu menangani data tidak pasti dan bersifat adaptif. Untuk itu, diperlukan pemanfaatan metode prediksi yang lebih fleksibel dibandingkan pendekatan konvensional. Salah satu solusi yang menjanjikan adalah penggunaan teknologi kecerdasan buatan, khususnya metode logika fuzzy, yang dapat mengolah data kompleks menjadi informasi linguistik yang mudah dipahami dan lebih sesuai dengan kondisi lapangan [3].

Logika fuzzy adalah suatu pendekatan dalam sistem logika yang dikembangkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965, yang memungkinkan penalaran dengan nilai kebenaran yang bersifat *degree* atau bertingkat, tidak hanya terbatas 9 pada nilai benar (1) dan salah (0) seperti dalam logika klasik [4]. Dalam logika fuzzy, suatu pernyataan dapat memiliki nilai kebenaran antara 0 dan 1, mencerminkan ketidakpastian atau ambiguitas yang sering ditemui dalam kehidupan nyata. Pendekatan ini sangat berguna dalam pengambilan keputusan yang kompleks dan sistem yang memerlukan toleransi terhadap data yang tidak pasti, kabur, atau tidak lengkap [5].

Fuzzy Mamdani adalah salah satu metode dalam sistem logika fuzzy yang diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. metode fuzzy Mamdani merupakan salah satu pendekatan logika fuzzy yang banyak digunakan untuk memodelkan sistem pengambilan keputusan berbasis data yang tidak pasti [6]. Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya mengubah data numerik menjadi informasi linguistik melalui aturan *if-then*, sehingga dapat meniru proses penalaran manusia. Dalam konteks prediksi cuaca, metode ini mampu mengolah parameter seperti suhu, kelembapan, dan kecepatan angin menjadi deskripsi cuaca yang mudah dipahami, misalnya “cerah,” “berawan,” atau “hujan ringan.” Keandalan fuzzy Mamdani dalam menangani ketidakpastian dan

kompleksitas data menjadikannya pilihan tepat untuk daerah dengan dinamika cuaca tinggi seperti Kabupaten Tegal, sehingga hasil prediksi menjadi lebih kontekstual, informatif, dan relevan bagi masyarakat lokal.

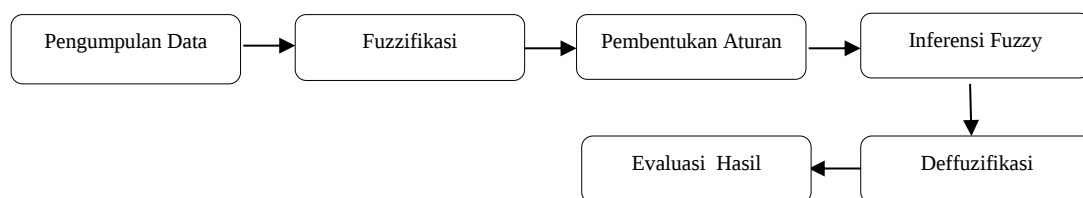
Penelitian terdahulu telah menunjukkan beragam pendekatan dalam prediksi cuaca. Penelitian [7] menguji metode Fuzzy Tsukamoto untuk memprediksi suhu, kelembapan, dan curah hujan melalui pengembangan model, analisis data historis, dan validasi, yang menghasilkan tingkat kesalahan prediksi lebih rendah dibandingkan metode tradisional. Penelitian [8] menerapkan algoritma C4.5 berbasis Decision Tree untuk memprediksi cuaca Kota Bekasi menggunakan 638 data historis, menghasilkan akurasi tertinggi 82,8% dengan kelembapan sebagai atribut paling berpengaruh serta 22 aturan prediksi yang aplikatif. Penelitian [9] mengembangkan sistem prediksi cuaca harian di Kabupaten Cilacap berbasis fuzzy Mamdani dengan empat variabel input dan satu output, diimplementasikan menggunakan MATLAB, menghasilkan akurasi 70,72% dan menunjukkan kelembapan sebagai faktor dominan meskipun akurasi bervariasi antar bulan. Sementara itu, penelitian [10] menerapkan fuzzy Mamdani untuk prediksi curah hujan di Kota Kendari menggunakan tiga variabel input dan satu output, membentuk 27 aturan inferensi, dan menghasilkan akurasi 89,3%, meskipun akurasi menurun pada kondisi cuaca ekstrem. Temuan-temuan tersebut membuktikan efektivitas logika fuzzy maupun metode pembelajaran mesin lainnya dalam prediksi cuaca, namun juga menunjukkan perlunya optimasi model agar lebih adaptif terhadap variasi kondisi lokal.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengimplementasikan metode fuzzy Mamdani dalam memprediksi cuaca di wilayah penelitian menggunakan variabel suhu, kelembapan, dan kecepatan angin sebagai parameter utama. Pemilihan metode fuzzy Mamdani didasarkan pada kemampuannya menangani ketidakpastian data dan menghasilkan prediksi yang lebih realistis dibandingkan metode deterministik [11]. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menguji efektivitas metode Fuzzy Mamdani dalam memprediksi variabel cuaca penting seperti suhu, kelembapan, dan curah hujan, serta memberikan masukan bagi pengembangan model prediksi cuaca yang lebih akurat di masa mendatang, termasuk peluang integrasi dengan metode lain untuk meningkatkan akurasi.

2. Metode Penelitian

2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan model eksperimen, di mana data historis cuaca digunakan sebagai dasar pengembangan sistem. Diagram ini mencakup langkah-langkah penting seperti pengumpulan data, fuzzifikasi, pembentukan aturan fuzzy, inferensi fuzzy, defuzzifikasi, dan evaluasi hasil.



Gambar 1. Diagram Alur

Gambar 1. Menjelaskan bahwa Prosesnya dimulai dengan pengumpulan data dari sumber yang BMKG. Setelah itu, data yang dikumpulkan diolah (Data Processing) untuk memastikan kualitas dan kesiapan data untuk analisis lebih lanjut. Langkah selanjutnya adalah pemodelan set fuzzy, di mana variabel yang digunakan dalam prediksi diubah menjadi set fuzzy melalui proses fuzzification. Kemudian, inferensi fuzzy dilakukan untuk memproses data fuzzy dan menghasilkan output fuzzy yang relevan. Hasil dari proses inferensi ini kemudian didefuzzifikasi untuk mengubahnya kembali menjadi nilai yang dapat diinterpretasikan. Terakhir, hasil prediksi dievaluasi dan dianalisis (Evaluation and Results) untuk menilai keakuratan dan efektivitas model prediksi yang telah dibuat.

2.2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari website resmi Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Tegal. Dataset tersebut merupakan data cuaca tahun 2024-2025.

Tabel 1. Data Cuaca

TANGGAL	Temperatur rata-rata(°C)	Kelembapan rata-rata(%)	Kecepatan angin rata-rata(m/s)
01/01/2024	29.5	79	2
02/01/2024	29.6	79	2
03/01/2024	28.8	81	2
04/01/2024	26.6	90	2
05/01/2024	28.5	80	2
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
10/04/2025	28.6	83	1
11/04/2025	28.7	80	1
12/04/2025	27.5	87	1
13/04/2025	28.1	82	2

2.3. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses dalam sistem logika fuzzy yang mengubah data numerik atau nilai input yang bersifat tegas (*crisp*) menjadi nilai fuzzy berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan [12]. Dalam konteks penelitian ini, fuzzifikasi diterapkan pada data cuaca seperti temperatur rata-rata, kelembapan rata-rata, dan kecepatan angin rata-rata dengan mengelompokkannya ke dalam kategori linguistik seperti Rendah, Sedang, dan Tinggi. Setiap nilai input akan dihitung derajat keanggotaannya terhadap masing-masing himpunan fuzzy, sehingga satu nilai dapat memiliki keanggotaan parsial pada lebih dari satu kategori. Proses ini memungkinkan sistem untuk menangani ketidakpastian dan variasi dalam data secara lebih fleksibel dibandingkan pendekatan logika biner [13]. Rumus Fuzzifikasi pada persamaan (1)

$$\mu A[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; & a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)}; & b \leq x \leq c \\ 0; & x \geq c \end{cases} \quad (1)$$

Dimana $\mu A[x]$ adalah nilai derajat keanggotaan himpunan fuzzy, x adalah nilai variabel input, a adalah titik awal fungsi segitiga, b adalah titik puncak fungsi segitiga, c adalah titik akhir fungsi segitiga, 0 menunjukkan derajat keanggotaan nol, $\frac{(x-a)}{(b-a)}$ rumus kenaikan linear dari μ ke $\mu = 1$ pada sisi kiri segitiga, $\frac{(c-x)}{(c-b)}$ rumus penurunan linear dari μ ke $\mu = 0$ pada sisi kanan segitiga, $x \leq a$ atau $x \geq c$ kondisi di luar rentang segitiga, sehingga $\mu = 0$, $a \leq x \leq b$ bagian naik fungsi segitiga, dan $b \leq x \leq c$ bagian turun fungsi segitiga.

2.4. Pembentukan Aturan Fuzzy

Pembentukan aturan fuzzy merupakan proses penyusunan hubungan logis antara variabel input dan output dalam bentuk pernyataan *IF-THEN* yang digunakan dalam sistem logika fuzzy. Aturan ini biasanya diperoleh dari pengetahuan pakar, pengamatan terhadap fenomena, analisis data historis, atau hasil eksperimen [14]. Tujuannya adalah untuk merepresentasikan pola atau kecenderungan tertentu secara linguistik, misalnya “Jika suhu tinggi dan kelembapan rendah, maka cuaca cerah”. Dalam penelitian ini, aturan fuzzy dibentuk berdasarkan kombinasi nilai fuzzy dari tiga variabel input temperatur rata-rata, kelembapan rata-rata, dan kecepatan angin rata-rata yang masing-masing diklasifikasikan ke dalam kategori Rendah, Sedang, dan Tinggi. Kombinasi antar kategori ini kemudian digunakan untuk menentukan kondisi cuaca sebagai output sistem, seperti cerah, berawan, atau hujan, sehingga memungkinkan sistem untuk menangani data yang bersifat tidak pasti dan tidak tegas secara lebih fleksibel.

2.5. Inferensi Fuzzy

Inferensi fuzzy adalah proses pengambilan keputusan dalam sistem logika fuzzy yang menghubungkan nilai-nilai input yang telah difuzzifikasi dengan output melalui seperangkat aturan fuzzy (aturan *IF-THEN*) [15]. Proses ini bertujuan untuk meniru cara berpikir manusia dalam menangani ketidakpastian dan ambiguitas, terutama saat

informasi yang tersedia tidak bersifat pasti atau tegas. Dalam tahap inferensi, setiap aturan fuzzy yang relevan diaktifkan berdasarkan derajat keanggotaan input terhadap himpunan fuzzy. Kemudian, sistem menghitung kontribusi masing-masing aturan terhadap output berdasarkan kombinasi kondisi tersebut. Hasil dari proses inferensi ini adalah keluaran fuzzy (output yang masih dalam bentuk derajat keanggotaan), yang selanjutnya akan diproses lebih lanjut melalui tahap defuzzifikasi untuk menghasilkan nilai akhir yang bersifat tegas. Inferensi fuzzy memungkinkan sistem untuk mengambil keputusan secara fleksibel dan adaptif, terutama dalam situasi yang kompleks atau tidak pasti [16].

2.6. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses terakhir dalam sistem logika fuzzy yang bertujuan mengubah output fuzzy (berupa nilai linguistik dan derajat keanggotaan) menjadi nilai tegas atau numerik (*crisp value*) yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan [17]. Dalam metode Mamdani, defuzzifikasi dilakukan setelah semua aturan fuzzy dievaluasi dan digabungkan. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah *Centroid* (pusat gravitasi), yang menghitung rata-rata berbobot dari semua kemungkinan output berdasarkan derajat keanggotaannya. Dengan kata lain, defuzzifikasi menghasilkan satu nilai akhir yang merepresentasikan hasil keputusan dari keseluruhan proses fuzzy [18]. Rumus Defuzzifikasi dituliskan pada persamaan (2)

$$Z = \frac{\sum(\mu_i \cdot x_i)}{\sum \mu_i} \quad (2)$$

Dimana Z adalah nilai tegas (*crisp*), μ_i adalah derajat keanggotaan pada titik ke- i , x_i adalah nilai variabel output pada titik ke- i , $\sum \mu_i$ adalah jumlah seluruh derajat keanggotaan (total bobot).

2.7. Evaluasi Hasil

Untuk menilai akurasi dari sistem prediksi cuaca yang dibangun dengan metode fuzzy Mamdani, dilakukan evaluasi menggunakan dua metode statistik, yaitu *Mean Absolute Error* (MAE) dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Kedua metode ini digunakan untuk mengukur seberapa dekat hasil prediksi sistem terhadap nilai aktual (*real*). Metrik tersebut berfungsi untuk mengukur tingkat kesalahan prediksi yang dihasilkan oleh model dan membantu dalam menilai sejauh mana model dapat diandalkan untuk prediksi di masa mendatang. Rumus MAE dituliskan pada persamaan (3)

$$MAE = \left(\frac{1}{n}\right) * \sum |i = 1 \wedge n| y^i - \hat{y}^i | \quad (3)$$

Dimana n adalah jumlah data, y^i adalah data aktual, $\hat{y}^i$ adalah nilai yang di prediksi

Rumus RMSE dituliskan pada persamaan (4)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y^i - \hat{y}^i)^2}{n}} \quad (4)$$

Dimana n adalah jumlah data, y^i adalah data aktual, $\hat{y}^i$ adalah nilai yang di prediksi

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari website resmi Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Tegal. Dataset tersebut merupakan data cuaca tahun 2024-2025. Namun data pada tahun 2025 hanya sampai bulan April 2025, karena data tahun 2025 belum sampai pada bulan desember.

3.2. Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi terhadap variabel suhu berdasarkan data cuaca yang telah diperoleh dari BMKG Tegal. Rentang nilai suhu kemudian dikelompokkan ke dalam tiga kategori, yaitu dingin, sedang, dan panas, sesuai dengan batas-batas yang ditentukan pada Tabel berikut.

Tabel 2. Fungsi Keanggotaan Suhu

Kategori	Rentang Nilai
Dingin	≤ 26 hingga 28

Sedang	27 hingga 31.75
Panas	28.75 hingga ≥ 32

Tabel 2. menunjukkan kategori suhu berdasarkan rentang nilainya yang dibagi menjadi tiga tingkat, yaitu Dingin, Sedang, dan Panas. Suhu dikategorikan Dingin apabila berada pada rentang kurang dari atau sama dengan 26 hingga 28 derajat Celsius. Suhu dikatakan Sedang jika berada dalam kisaran 27 hingga 31 derajat Celsius. Sementara itu, suhu termasuk dalam kategori Panas apabila berada pada rentang 29 derajat hingga lebih dari atau sama dengan 32 derajat Celsius. Rentang yang saling tumpang tindih ini menunjukkan adanya keanggotaan ganda dalam sistem fuzzy, sehingga suatu nilai suhu bisa termasuk dalam dua kategori sekaligus dengan derajat keanggotaan tertentu.

Tabel 3. Fungsi Keanggotaan Kelembapan

Kategori	Rentang Nilai
Rendah	≤ 50 hingga 70
Sedang	65 hingga 85
Tinggi	80 hingga ≥ 93

Tabel 3. menunjukkan kategori kelembapan berdasarkan rentang nilai yang digunakan dalam proses fuzzifikasi pada logika fuzzy. Kategori “Rendah” mencakup kelembapan dari kurang dari atau sama dengan 50 hingga 70 persen. Kategori “Sedang” mencakup kelembapan dari 65 hingga 85 persen, sedangkan kategori “Tinggi” mencakup nilai kelembapan dari 80 hingga lebih dari atau sama dengan 93 persen. Adanya rentang yang saling tumpang tindih antar kategori memungkinkan satu nilai kelembapan memiliki derajat keanggotaan pada dua kategori secara bersamaan.

Tabel 4. Fungsi Keanggotaan Kecepatan Angin

Kategori	Rentang Nilai
Lambat	≤ 1 hingga 1.5
Sedang	1 hingga 2.25
Kencang	2.5 hingga ≥ 4.5

Tabel 4. menunjukkan kategori kecepatan angin berdasarkan rentang nilai yang digunakan dalam proses fuzzifikasi pada sistem logika fuzzy. Kategori “Lambat” mencakup kecepatan angin dari kurang dari atau sama dengan 1 hingga 1,5 meter per detik. Kategori “Sedang” mencakup rentang dari 1 hingga 2,25 meter per detik, sedangkan kategori “Kencang” mencakup kecepatan angin dari 2,5 hingga lebih dari atau sama dengan 4,5 meter per detik. Rentang yang saling tumpang tindih ini memungkinkan satu nilai kecepatan angin berada dalam dua kategori dengan derajat keanggotaan berbeda.

Tabel 5. Hasil Total Fuzzifikasi

TANGGAL	S_Dingin	S_Sedang	S_Panas	K_Rendah	K_Sedang	K_Tinggi	A_Lambat	A_Sedang	A_Kencang
01/01/2024	0	0.75	0.25	0	0.73	0	0	1	0
02/01/2024	0	0.717	0.283	0	0.73	0	0	1	0
03/01/2024	0	0.983	0.017	0	0.487	0.154	0	1	0
04/01/2024	0.6	0	0	0	0	0.462	0	1	0
05/01/2024	0	0.857	0	0	0.608	0	0	1	0
⋮				⋮	⋮				⋮
⋮				⋮	⋮				⋮
⋮				⋮	⋮				⋮
10/04/2025	0	0.914	0	0	0.243	0.462	1	0	0
11/04/2025	0	0.971	0	0	0.608	0	1	0	0
12/04/2025	0.5	0.286	0	0	0	0.923	1	0	0
13/04/2025	0	0.629	0	0	0.365	0.308	0	1	0

Tabel 5. Tabel di atas menampilkan hasil fuzzifikasi data cuaca dari Januari 2024 hingga April 2025, di mana setiap parameter cuaca (temperatur, kelembapan, dan kecepatan angin) telah diubah dari nilai tegas (crisp) menjadi

derajat keanggotaan dalam himpunan fuzzy. Setiap variabel memiliki tiga kategori, yaitu temperatur (dingin, sedang, panas), kelembapan (rendah, sedang, tinggi), dan kecepatan angin (lambat, sedang, kencang). Nilai derajat keanggotaan berkisar antara 0 hingga 1, di mana nilai 1 menunjukkan keanggotaan penuh, nilai 0 menunjukkan tidak ada keanggotaan, dan nilai antara 0–1 menunjukkan keanggotaan parsial. Hasil fuzzifikasi ini menjadi dasar untuk proses inferensi pada metode Fuzzy Mamdani.

3.3. Pembentukan Aturan Fuzzy

Tahap pembentukan aturan fuzzy dilakukan dengan menyusun kombinasi kondisi dari variabel suhu, kelembapan, dan kecepatan angin untuk menentukan prediksi cuaca. Setiap aturan fuzzy dirumuskan berdasarkan logika IF–THEN, di mana kombinasi nilai linguistik dari ketiga variabel input akan menghasilkan keluaran berupa kondisi cuaca tertentu.

Tabel 6. Aturan Fuzzy

No	Suhu	Kelembaban	Angin	Cuaca
1	dingin	rendah	lambat	cerah
2	dingin	rendah	sedang	cerah
3	dingin	rendah	kencang	berawan
4	dingin	sedang	lambat	cerah
5	dingin	sedang	sedang	berawan
⋮		⋮		⋮
⋮		⋮		⋮
24	panas	sedang	kencang	hujan_ringan
25	panas	tinggi	lambat	berawan
26	panas	tinggi	sedang	hujan_ringan
27	panas	tinggi	kencang	hujan_lebat

Tabel 6. merupakan daftar lengkap berisi 27 aturan inferensi fuzzy Mamdani yang dibentuk dari kombinasi tiga variabel input, yaitu suhu, kelembapan, dan kecepatan angin, yang masing-masing memiliki tiga kategori linguistik: suhu (dingin, sedang, panas), kelembapan (rendah, sedang, tinggi), dan angin (lambat, sedang, kencang). Kombinasi ketiganya menghasilkan total $3 \times 3 \times 3 = 27$ kemungkinan aturan. Setiap baris mewakili satu aturan logika fuzzy yang menghubungkan kondisi input dengan hasil prediksi cuaca tertentu, seperti cerah, berawan, hujan ringan, atau hujan lebat. Misalnya, jika suhu dingin, kelembapan rendah, dan angin lambat, maka diprediksi cuaca cerah, sedangkan kombinasi suhu panas, kelembapan tinggi, dan angin kencang menghasilkan cuaca hujan lebat. Tabel ini berfungsi sebagai dasar dalam proses inferensi fuzzy Mamdani yang digunakan untuk menentukan keluaran berdasarkan data aktual yang telah mengalami proses fuzzifikasi, sehingga sistem dapat menangani berbagai variasi data cuaca secara menyeluruh dan logis.

3.4. Inferensi Fuzzy

Tahap pembentukan aturan fuzzy dilakukan dengan menyusun kombinasi kondisi dari variabel suhu, kelembapan, dan kecepatan angin untuk menentukan prediksi cuaca. Setiap aturan fuzzy dirumuskan berdasarkan logika IF–THEN, di mana kombinasi nilai linguistik dari ketiga variabel input akan menghasilkan keluaran berupa kondisi cuaca tertentu.

Tabel 7. Hasil Total Inferensi Fuzzy

TANGGAL	Temperatur rata-rata(°C)	Kelembapan rata-rata(%)	Kecepatan angin rata-rata(m/s)	Aturan Aktif	Cuaca (dari aturan)	α (Alpha)	Hasil Akhir Inferensi Cuaca
01/01/2024	29.5	79	2	14, 23	berawan	0.730, 0.250	berawan: 0.730
02/01/2024	29.6	79	2	14, 23	berawan	0.717, 0.283	berawan: 0.717
03/01/2024	28.8	81	2	14, 17, 23, 26	berawan, hujan_ringan	0.487, 0.154, 0.017, 0.017	berawan: 0.487, hujan_ringan: 0.154
⋮				⋮			⋮
⋮				⋮			⋮
⋮				⋮			⋮

TANGGAL	Temperatur rata-rata(°C)	Kelembapan rata-rata(%)	Kecepatan angin rata-rata(m/s)	Aturan Aktif	Cuaca (dari aturan)	α (Alpha)	Hasil Akhir Inferensi Cuaca
11/04/2025	28.7	80	1	13, 16	cerah, berawan	0.608	cerah: 0.608
12/04/2025	27.5	87	1	13	cerah	0.500, 0.286	berawan: 0.500 berawan: 0.365,
13/04/2025	28.1	82	2	7, 16	berawan	0.365, 0.308	hujan_ringan: 0.308

Tabel 7. merupakan hasil inferensi fuzzy Mamdani yang menampilkan prediksi kondisi cuaca harian berdasarkan data temperatur, kelembapan, dan kecepatan angin rata-rata. Setiap baris merepresentasikan satu hari pengamatan, dengan mencantumkan tanggal, nilai input cuaca, aturan-aturan fuzzy yang aktif, output cuaca dari aturan tersebut, nilai α (alpha) yang menunjukkan tingkat keaktifan masing-masing aturan, serta hasil akhir inferensi dalam bentuk kondisi cuaca dengan nilai derajat keanggotaan tertinggi. Misalnya, pada tanggal 01/01/2024, dengan suhu 29.5°C, kelembapan 79%, dan angin 2 m/s, dua aturan aktif (aturan 14 dan 23) menghasilkan output berawan dengan nilai alpha tertinggi 0.730 yang dijadikan sebagai hasil akhir inferensi. Tabel ini menggambarkan bagaimana sistem fuzzy bekerja dalam memilih output cuaca berdasarkan kombinasi kondisi input dan aturan yang relevan secara logis.

3.5. Defuzzifikasi

Nilai output fuzzy yang berupa himpunan linguistik diubah menjadi nilai tegas (crisp output) agar dapat digunakan untuk pengambilan keputusan. Proses ini dilakukan menggunakan metode *Centroid* yang menghitung rata-rata berbobot dari setiap kemungkinan output berdasarkan derajat keanggotaannya.

Tabel 8. Nilai Linguistik		
Cuaca Linguistik	z (Crisp Output)	Keterangan Tambahan
Cerah	20	Cuaca sangat terang dan kering
Berawan	40	Antara akan hujan atau cerah
Hujan Ringan	60	Gerimis atau hujan kecil
Hujan Lebat	80	Curah hujan tinggi

Tabel 8. menunjukkan nilai linguistik cuaca yang telah dikonversi ke dalam bentuk crisp (output z) sebagai hasil dari proses defuzzifikasi pada sistem fuzzy Mamdani. Setiap kondisi cuaca seperti cerah, berawan, hujan ringan, dan hujan lebat diberikan nilai numerik tertentu, yaitu 20, 40, 60, dan 80 secara berurutan. Nilai ini merepresentasikan intensitas kondisi cuaca dalam skala kontinu untuk keperluan pengambilan keputusan atau analisis lanjutan. Selain itu, disediakan juga keterangan tambahan untuk memperjelas arti dari masing-masing kategori, seperti cerah yang berarti cuaca sangat terang dan kering, serta berawan yang menunjukkan kondisi transisi antara cerah dan hujan. Tabel ini digunakan untuk mengubah hasil fuzzy menjadi nilai pasti yang dapat diinterpretasikan secara praktis.

Tabel 9. Hasil Total Defuzzifikasi						
TANGGAL	Temperatur rata-rata(°C)	Kelembapan rata-rata(%)	Kecepatan angin rata-rata(m/s)	Cuaca (α dan z)	Hasil Defuzzifikasi (ϕ dan Proses)	Cuaca
01/01/2024	29.5	79	2	berawan: 0.730 (z=40)	$\phi = (0.730 \times 40) / 0.730 = 40.000$	Berawan
02/01/2024	29.6	79	2	berawan: 0.717 (z=40)	$\phi = (0.717 \times 40) / 0.717 = 40.000$	Berawan
03/01/2024	28.8	81	2	berawan: 0.487 (z=40), hujan_ringan: 0.154 (z=60)	$\phi = (0.487 \times 40 + 0.154 \times 60) / (0.487 + 0.154) = 44.804$	Berawan, sedikit kemungkinan hujan ringan
04/01/2024	26.6	90	2	hujan_ringan: 0.462 (z=60)	$\phi = (0.462 \times 60) / 0.462 = 60.000$	Hujan ringan
:			:			:
:			:			:

12/04/2025	27.5	87	1	berawan: 0.500	$\emptyset = (0.500 \times 40) / 0.500 =$ 40.000	Berawan
13/04/2025	28.1	82	2	berawan: 0.365, hujan_ringa n: 0.308	$\emptyset = (0.365 \times 40 +$ $0.308 \times 60) / 0.673 =$ 49.149	Berawan, sedikit kemungkn inan hujan ringan

Tabel 9. menunjukkan hasil akhir dari prediksi cuaca harian yang diperoleh melalui metode fuzzy Mamdani, dengan proses defuzzifikasi menggunakan metode centroid. Setiap baris dalam tabel mencakup data tanggal, nilai rata-rata suhu, kelembapan, dan kecepatan angin, kemudian diikuti oleh hasil inferensi berupa nilai keanggotaan (α) untuk masing-masing kondisi cuaca, nilai crisp (z), serta hasil defuzzifikasi ($\emptyset$) yang dihitung menggunakan rumus rata-rata tertimbang. Sebagai ilustrasi, pada tanggal 01 Januari 2024, hanya kondisi cuaca berawan yang aktif dengan nilai α sebesar 0,730 dan nilai z sebesar 40. Karena hanya satu kondisi yang aktif, maka hasil defuzzifikasinya adalah 40,000. Nilai ini bukan berarti empat puluh ribu, melainkan empat puluh koma nol nol nol, yang ditulis dalam format desimal tiga angka di belakang koma. Hasil ini secara langsung menunjukkan cuaca berawan sesuai dengan nilai z yang digunakan. Berbeda halnya dengan kasus pada tanggal 03 Januari 2024, di mana terdapat dua kondisi cuaca yang aktif, yaitu berawan dan hujan ringan. Nilai defuzzifikasi yang dihasilkan adalah 44,804, yang menunjukkan bahwa kondisi cuaca berada di antara berawan dan hujan ringan, dengan kecenderungan dominan berawan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem fuzzy mampu menangani berbagai kombinasi input dan menghasilkan prediksi cuaca yang bersifat fleksibel, realistis, dan dapat diterjemahkan secara numerik melalui proses defuzzifikasi.

3.5. Evaluasi Hasil

Evaluasi hasil prediksi cuaca dilakukan dengan membandingkan nilai defuzzifikasi (Z_Prediksi) dari sistem fuzzy Mamdani dengan nilai cuaca aktual (Z_Aktual) yang telah dikonversi ke bentuk numerik (cerah = 20, berawan = 40, hujan ringan = 60, hujan lebat = 80). Data aktual dan prediksi digabungkan berdasarkan tanggal, nilai defuzzifikasi diekstrak menggunakan regular expression, dan data dengan nilai kosong dihapus untuk menjaga akurasi perhitungan.

Dua metrik evaluasi yang digunakan adalah Mean Absolute Error (MAE) dan Root Mean Square Error (RMSE). MAE menghitung rata-rata dari selisih mutlak antara nilai prediksi dan nilai aktual, sedangkan RMSE memberikan penalti lebih besar terhadap kesalahan prediksi yang ekstrem karena menggunakan kuadrat dari selisih. Perhitungan MAE dilakukan dengan mengambil rata-rata dari nilai absolut perbedaan antara Z_Aktual dan Z_Prediksi, sementara RMSE dihitung dengan mengambil akar kuadrat dari rata-rata kuadrat selisih antara kedua nilai tersebut. Nilai MAE dan RMSE yang rendah menunjukkan bahwa sistem fuzzy Mamdani yang dibangun memiliki tingkat akurasi yang baik dalam memprediksi kondisi cuaca berdasarkan data suhu, kelembapan, dan kecepatan angin harian.

Tabel 10. Hasil RMSE dan MAE	
MAE	RMSE
0,29	1,08

Tabel 10. menunjukkan hasil evaluasi akurasi prediksi cuaca dengan menggunakan dua ukuran, yaitu MAE dan RMSE. Nilai MAE sebesar 0,29 berarti bahwa rata-rata perbedaan antara hasil prediksi dan data cuaca yang sebenarnya sangat kecil, yaitu hanya sekitar 0,29 dari skala nilai cuaca yang digunakan. Artinya, prediksi yang dihasilkan oleh sistem hampir sama dengan data aktual. Sementara itu, nilai RMSE sebesar 1,08 menunjukkan bahwa penyimpangan atau kesalahan prediksi terhadap data aktual juga tergolong rendah dan tidak bervariasi secara ekstrem. Kedua nilai ini menunjukkan bahwa metode Fuzzy Mamdani yang digunakan dalam sistem prediksi cuaca bekerja dengan baik dan mampu menghasilkan prediksi yang akurat serta mendekati kondisi cuaca yang sebenarnya.

Berdasarkan hasil penelitian, sistem prediksi cuaca harian berbasis metode Fuzzy Mamdani terbukti mampu memberikan hasil yang akurat dan relevan terhadap kondisi cuaca di Kabupaten Tegal dengan menggunakan tiga variabel utama sebagai input, yaitu suhu udara, kelembapan, dan kecepatan angin yang difuzzifikasi ke dalam kategori linguistik seperti “rendah”, “sedang”, dan “tinggi”. Proses fuzzifikasi memungkinkan setiap data numerik memiliki derajat keanggotaan pada lebih dari satu kategori yang kemudian diproses melalui mekanisme inferensi fuzzy berdasarkan aturan IF-THEN yang telah ditetapkan, menghasilkan prediksi output seperti “cerah”, “berawan”, “hujan ringan”, dan “hujan lebat”. Sistem inferensi mengolah data secara fleksibel menyerupai cara berpikir manusia, sedangkan proses defuzzifikasi metode centroid mengubah hasil fuzzy menjadi output numerik

(z) yang konkret dan dapat dievaluasi. Validasi akurasi menggunakan Mean Absolute Error (MAE) dan Root Mean Squared Error (RMSE) menunjukkan nilai MAE sebesar 0,29 dan RMSE sebesar 1,08, yang tergolong sangat kecil dibandingkan skala output z (20 untuk cerah, 40 untuk berawan, 60 untuk hujan ringan, dan 80 untuk hujan lebat), menandakan kesalahan prediksi berada pada tingkat minimum dan hasilnya mendekati kondisi cuaca sebenarnya. Dengan tingkat akurasi ini, sistem dapat dimanfaatkan oleh masyarakat, terutama petani dan nelayan, untuk merencanakan aktivitas secara efektif dan mengurangi risiko akibat perubahan cuaca mendadak, serta bersifat fleksibel untuk dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan variabel atau menyesuaikan aturan fuzzy sesuai karakteristik wilayah lain.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian penerapan metode Fuzzy Mamdani dalam prediksi cuaca di Tegal, menunjukan bahwa variabel suhu udara, kelembapan udara, dan kecepatan angin memiliki pengaruh signifikan terhadap kondisi cuaca harian, di mana masing-masing variabel dibagi ke dalam tiga nilai linguistik sehingga membentuk 27 aturan fuzzy yang menghasilkan output cuaca berupa cerah, berawan, hujan ringan, dan hujan lebat. Evaluasi model menunjukkan tingkat akurasi yang baik dengan nilai MAE sebesar 0,29 dan RMSE sebesar 1,08, menandakan prediksi yang mendekati kondisi aktual. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan penambahan variabel cuaca lain seperti tekanan udara atau curah hujan, perbandingan dengan metode lain seperti Sugeno, ANFIS, atau algoritma machine learning, perluasan cakupan dan periode data, pengembangan aplikasi berbasis GUI untuk kemudahan akses, serta penggabungan Fuzzy Mamdani dengan metode adaptif seperti jaringan saraf tiruan atau model LSTM guna meningkatkan kemampuan prediksi jangka panjang dengan tetap mempertahankan interpretabilitas sistem.

Referensi

- [1] D. Afifah, A. Chusni, A. N. Nahar, M. A. Sirojuddi, and N. N. Fatmawati, "Persepsi Masyarakat Nelayan Dalam Menghadapi Perubahan Iklim Studi Desa Ujung Batu Kawasan Pesisir Utara Pulau Jawa (Ditinjau Aspek Sosial Ekonomi)," *Util. J. Ilm. Pendidik. dan Ekon.*, vol. 8, no. 1, pp. 42–58, 2024.
- [2] M. Erlinda and A. Andrianingsih, "Rainfall Classification Based on El-Niño and La-Niña Climate Phenomenon Using Naive Bayes Classifier Algorithm," *J. Artif. Intell. Softw. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 239–251, 2025.
- [3] B. P. Asmorajati, N. A. Oesman, R. A. R. Hayah, N. Salsabilla, and M. M. Alfarisi, "PENERAPAN NILAI-NILAI PENALARAN SILOGISME DALAM CASE FUZZY LOGICS," *J. Cakrawala Ilm.*, vol. 3, no. 11, pp. 3147–3152, 2024.
- [4] A. R. Wardani, Y. N. Nasution, and F. D. T. Amijaya, "Aplikasi Logika Fuzzy Dalam Mengoptimalkan Produksi Minyak Kelapa Sawit Di PT. Waru Kaltim Plantation Menggunakan Metode Mamdani," *J. Inform. Mulawarman*, vol. 12, no. 2, pp. 94–103, 2017.
- [5] M. Marsa, N. Nurdiansah, M. K. M. Khadafi, and A. Ibrahim, "Aplikasi Pendukung Keputusan Dalam Optimisasi Penjualan Barang, Menggunakan Logika Fuzzy," in *SISITI: Seminar Ilmiah Sistem Informasi dan Teknologi Informasi*, 2023, pp. 10–21.
- [6] S. Rahmawati, "Perancangan aplikasi fuzzy logic dalam menentukan volume produksi dengan menggunakan metode mamdani," *J. Teknol. Inf. dan Pendidik.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–10, 2017.
- [7] A. A. Murtopo, M. N. Aslam, W. Andriani, and G. Gunawan, "Application of fuzzy tsukamoto method in forecasting weather," *J. Mandiri IT*, vol. 13, no. 1, pp. 116–126, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal.isha.or.id/index.php/Mandiri/article/view/305>
- [8] K. Halim, D. Erny Herwindiati, and T. Sutrisno, "Penerapan Metode Decision Tree Untuk Prakiraan Cuaca Kota Bekasi," *J. Ilmu Komput. dan Sist. Inf.*, vol. 11, no. 2, pp. 1–5, 2023, doi: 10.24912/jiksi.v11i2.26026.
- [9] N. Septiyani and A. Agoestanto, "Penerapan Logika Fuzzy Mamdani Pada Prakiraan Cuaca Harian di Kabupaten Cilacap," in *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika*, 2023, pp. 786–795.
- [10] F. K. Ghassani and R. A. Saputra, "Penerapan Logika Fuzzy Untuk Memprediksi Tingkat Curah Hujan di Kota Kendari," *J. Comput. Digit. Bus.*, vol. 3, no. 2, pp. 76–85, 2024.
- [11] I. Karima, "Implementasi Metode Fuzzy Mamdani dalam Pengambilan Keputusan Rekomendasi Jumlah Produksi," *J. Inov. Komput.*, vol. 1, no. 1, 2025.
- [12] A. Andhini, A. Amelia, A. Antika, L. Harianja, and S. R. Andani, "EVALUATION OF SOCIAL ASSISTANCE RECIPIENT ELIGIBILITY BASED ON INCOME AND NUMBER OF DEPENDENTS USING THE FUZZY MAMDANI APPROACH," *J. Ris. Sist. Inf. dan Apl. Komput.*, vol. 1, no. 2, pp. 67–78, 2025.
- [13] Y. I. NURHASANAH, E. M. A. KURNIA, and S. SUTARTI, "Integrasi Logika Fuzzy dengan Teknologi Cerdas: Tinjauan Sistematis atas Peluang, Tantangan, dan Arah Masa Depan," *MIND (Multimedia Artif. Intell. Netw. Database) J.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–17, 2025.
- [14] D. Rifai and F. Fitriyadi, "Penerapan Logika Fuzzy Sugeno dalam Keputusan Jumlah Produksi Berbasis Website," *Hello World J. Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 2, pp. 102–109, 2023.
- [15] R. S. Siregar and M. Ikhsan, "Implementasi Internet of Thing (IOT) untuk Monitoring dan Pengaman Beban Listrik 3 Phase Menggunakan Fuzzy Sugeno," *J. Algoritm.*, vol. 22, no. 1, pp. 1013–1025, 2025.
- [16] G. F. Tauhid, W. A. Wangni, R. D. Adinata, R. Dinargo, M. D. J. Saputra, and A. Rahman, "Fuzzy Logic dalam Keputusan Jumlah Produksi Berbasis Website Dengan Metode Mamdani," *J. Inov. Komput.*, vol. 1, no. 2, 2025.
- [17] J. M. Situmeang and E. S. Barus, "Analysis of Anthracnose Disease in Curly Chilli Using Fuzzy Logic Method," *INOVTEK Polbeng-Seri Inform.*, vol. 10, no. 2, pp. 901–911, 2025.
- [18] A. A. Khairo and S. Sitepu, "Perbandingan Metode Defuzzifikasi Dalam Sistem Inferensi Fuzzy Metode Mamdani Untuk Penentuan Kerentanan Rawan Banjir (Studi Kasus: Kota Medan)," *FARABI J. Mat. dan Pendidik. Mat.*, vol. 7, no. 2, pp. 175–184, 2024.