

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terkait

Penelitian pertama yang dilakukan oleh [13] dengan judul *Application of fuzzy tsukamoto method in forecasting weather*. Penelitian ini bertujuan untuk menguji keefektifan metode Fuzzy Tsukamoto dalam memprediksi variabel cuaca seperti suhu, kelembapan, dan curah hujan. Dengan pendekatan kombinasi, penelitian ini mencakup pengembangan model, analisis data cuaca historis, dan validasi menggunakan data lain untuk memastikan keakuratan hasil. Hasilnya menunjukkan bahwa metode ini mampu memberikan prediksi yang lebih akurat dibandingkan metode tradisional, dengan penurunan yang signifikan pada tingkat kesalahan prediksi. Kesimpulannya, metode Fuzzy Tsukamoto terbukti sebagai solusi yang andal untuk memprediksi cuaca, memberikan manfaat besar bagi sektor-sektor yang sangat bergantung pada informasi cuaca, seperti pertanian, transportasi, dan manajemen bencana.

Selanjutnya, Penelitian oleh [14] berjudul "Penerapan Metode Decision Tree untuk Prakiraan Cuaca Kota Bekasi" mengembangkan model prediksi cuaca menggunakan algoritma C4.5 berbasis *Decision Tree* dengan memanfaatkan data historis suhu, tekanan udara, kecepatan angin, kelembapan, dan kondisi cuaca dari Agustus 2021 hingga April 2023 sebanyak 638 data yang diperoleh dari timeanddate.com, dimana penelitian ini menerapkan metode *Knowledge Discovery in Database* (KDD) melalui tahapan pemilihan data, *preprocessing*, transformasi, pemodelan, dan evaluasi, menghasilkan pohon keputusan dengan kelembapan sebagai atribut paling berpengaruh serta mencapai akurasi tertinggi 82.8% pada rasio data latih-test 90:10 dengan menghasilkan 22 rules prediksi yang dapat diaplikasikan untuk meningkatkan akurasi prakiraan cuaca di Bekasi, khususnya untuk mendukung sektor pertanian, transportasi, dan manajemen bencana.

Kemudian, Penelitian yang dilakukan oleh [15] berjudul "Penerapan Logika Fuzzy Mamdani Pada Prakiraan Cuaca Harian di Kabupaten Cilacap"

mengembangkan sistem prediksi cuaca berbasis logika fuzzy Mamdani dengan memanfaatkan empat variabel input (suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, dan lama penyinaran matahari) serta satu variabel output (kondisi cuaca), diimplementasikan menggunakan MATLAB R2020a dengan dataset 304 data harian dari BMKG Cilacap periode Januari-Oktober 2021, menghasilkan akurasi prediksi sebesar 70,72% melalui proses fuzzifikasi, pembentukan 81 aturan fuzzy, komposisi aturan, dan defuzzifikasi metode Centroid of Area, di mana kelembaban udara teridentifikasi sebagai faktor paling berpengaruh dan validasi bulanan menunjukkan variasi akurasi antara 58,06%-83,87%, menyimpulkan bahwa metode ini efektif untuk prakiraan cuaca harian meskipun masih memerlukan pengembangan lebih lanjut.

Selanjutnya, Penelitian yang dilakukan oleh [16] berjudul "Implementasi Logika Fuzzy Mamdani Dalam Prediksi Curah Hujan Di Kota Kendari" mengembangkan sistem prediksi curah hujan menggunakan tiga variabel input (suhu, kelembaban, tekanan udara) dan satu output (kategori curah hujan), berdasarkan 135 data historis tahun 2022 dari BMKG dan BPS Kendari. Metode fuzzy Mamdani diterapkan melalui empat tahap: fuzzifikasi input ke dalam himpunan linguistik (misalnya suhu: dingin, hangat, panas), pembentukan 27 aturan inferensi, komposisi aturan dengan operator *MIN*, dan defuzzifikasi menggunakan metode Centroid. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata error prediksi 10.7%, dengan akurasi tertinggi (0% *error*) pada kondisi umum Kendari (suhu hangat, kelembaban lembab, tekanan normal), serta *error* tertinggi (40.32%) pada kondisi cuaca ekstrem. Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode fuzzy Mamdani efektif digunakan untuk prediksi curah hujan dengan akurasi 89.3%, dibutuhkan optimasi aturan untuk meningkatkan hasil pada kondisi tidak umum.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Logika Fuzzy**

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

pada nilai benar (1) dan salah (0) seperti dalam logika klasik [17]. 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. Logika fuzzy sering digunakan dalam berbagai bidang seperti karena kemampuannya untuk meniru cara manusia berpikir dan membuat keputusan berdasarkan informasi yang tidak pasti [18]. Menurut [19] logika fuzzy dianggap sangat efektif untuk merepresentasikan pengetahuan manusia dalam bentuk aturan linguistik (jika-maka), sehingga banyak digunakan dalam sistem pakar, prediksi cuaca, kontrol industri, dan kecerdasan buatan. Dengan demikian, logika fuzzy memberikan dasar teoritis yang kuat untuk membangun sistem prediktif yang lebih adaptif dan realistis terhadap kondisi dunia nyata.

### **2.2.2 Fuzzy Mamdani**

Fuzzy Mamdani adalah salah satu metode dalam sistem logika fuzzy yang diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 [20]. Menurut [21] metode ini merupakan salah satu pendekatan paling populer dalam sistem inferensi fuzzy karena kemampuannya yang intuitif dan mudah dipahami, terutama dalam meniru cara manusia dalam mengambil keputusan secara linguistik. Fuzzy Mamdani menggunakan aturan berbentuk *IF-THEN* (jika-maka) yang berbasis pada pengetahuan atau pengalaman ahli, dan memproses input melalui empat tahap utama: fuzzifikasi, inferensi, komposisi aturan, dan defuzzifikasi. Pada tahap fuzzifikasi, data input numerik dikonversi menjadi nilai fuzzy berdasarkan fungsi keanggotaan. Kemudian, melalui proses inferensi dan komposisi aturan, sistem mengevaluasi dan menggabungkan aturan-aturan fuzzy untuk menghasilkan output fuzzy. Terakhir, pada tahap defuzzifikasi, hasil fuzzy tersebut dikonversi kembali menjadi nilai numerik yang dapat digunakan sebagai hasil akhir. Fuzzy Mamdani banyak diterapkan dalam sistem kontrol, prediksi, dan pengambilan keputusan karena mampu menangani ketidakpastian dan memberikan hasil yang mendekati cara berpikir manusia [22]. Metode ini juga memiliki beberapa

kekurangan. Salah satunya adalah ketergantungan pada keahlian pakar dalam merancang aturan dan fungsi keanggotaan, yang dapat bersifat subjektif dan memerlukan waktu. Selain itu, ketika jumlah variabel dan aturan semakin banyak, kompleksitas sistem akan meningkat, sehingga menyulitkan proses perancangan dan komputasi. Meskipun demikian, fleksibilitas dan kemampuan interpretatifnya membuat Fuzzy Mamdani tetap menjadi pilihan yang relevan dalam berbagai aplikasi pengambilan keputusan yang melibatkan ketidakpastian.

Langkah-langkah utama dalam metode Fuzzy Mamdani adalah sebagai berikut:

a. Fuzzifikasi

Proses mengubah nilai input yang pasti (*crisp input*) menjadi nilai fuzzy berdasarkan fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan ini menunjukkan seberapa besar nilai input tersebut termasuk dalam kategori tertentu (misalnya suhu bisa "dingin", "sedang", atau "panas").

b. Penerapan Aturan Fuzzy

Setiap aturan fuzzy dirumuskan dalam bentuk logika *IF-THEN*.

c. Inferensi Fuzzy (Evaluasi Aturan)

Pada tahap ini, sistem akan mengevaluasi semua aturan yang relevan untuk kondisi input saat itu. Setiap aturan akan menghasilkan output dalam bentuk fuzzy juga (seperti "cukup hujan", "sangat cerah", dll.).

d. Agresi Output

Semua hasil dari aturan-aturan tadi digabungkan menjadi satu kesimpulan fuzzy. Misalnya, jika beberapa aturan menghasilkan prediksi "hujan", "berawan", dan "cerah", maka semuanya akan disatukan dalam satu output fuzzy.

e. Defuzzifikasi

Sistem mengubah output fuzzy yang kompleks tadi menjadi satu nilai akhir yang pasti (*crisp value*). Nilai ini menjadi hasil akhir dari proses pengambilan keputusan. Misalnya, "80% kemungkinan hujan" atau "cuaca berawan".

Hasil akhir diperoleh dengan menghitung rata-rata berbobot dari semua *output crisp* berdasarkan nilai  $\mu$

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

di mana:

$Z$ : nilai *crisp* akhir sebagai *output* sistem.

$\mu_i$ : Derajat keanggotaan untuk aturan ke-  $i$

$x_i$ : Nilai *output crisp* untuk aturan ke- $i$

### 2.2.3 Prediksi

Prediksi adalah proses memperkirakan atau meramalkan suatu kejadian, nilai, atau kondisi di masa depan berdasarkan data, informasi, atau pola yang telah terjadi sebelumnya [23]. Prediksi dapat dilakukan secara kualitatif, yang mengandalkan intuisi, pengalaman, atau pendapat ahli, maupun secara kuantitatif, yang menggunakan model matematis, statistik, atau algoritma komputasi seperti machine learning dan logika fuzzy. Tujuan utama dari prediksi adalah membantu pengambilan keputusan yang lebih akurat dan efektif, terutama dalam kondisi yang mengandung ketidakpastian [24]. Proses prediksi umumnya melibatkan analisis data historis untuk mengidentifikasi pola atau tren yang kemudian digunakan untuk meramalkan kejadian di masa depan. Dalam berbagai bidang seperti bisnis, kesehatan, cuaca, pendidikan, dan teknologi, prediksi sangat penting untuk perencanaan, pengendalian risiko, serta peningkatan efisiensi dan efektivitas system [25]. Dengan pendekatan yang tepat dan data yang akurat, prediksi dapat menjadi alat strategis yang sangat bernilai dalam pengambilan keputusan.

### 2.2.4 Cuaca

Menurut [26] cuaca adalah kondisi atmosfer pada suatu tempat dan waktu tertentu yang ditentukan oleh berbagai unsur seperti suhu udara, kelembapan, tekanan udara, curah hujan, angin, dan tingkat awan, yang bersifat dinamis dan dapat berubah dalam hitungan jam atau hari. Cuaca dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti posisi geografis, topografi, pergerakan angin, serta sirkulasi atmosfer global yang menyebabkan terjadinya berbagai fenomena seperti hujan, panas terik, angin kencang, hingga badai. Informasi cuaca sangat penting bagi berbagai sektor kehidupan seperti pertanian, transportasi, pariwisata, dan mitigasi bencana, karena dapat berdampak langsung terhadap aktivitas dan keselamatan manusia [27]. Oleh karena itu, prediksi cuaca dilakukan dengan menggunakan teknologi pengamatan

seperti satelit, radar, dan sensor cuaca, serta diproses melalui model numerik berbasis komputer untuk memperkirakan kondisi atmosfer di masa depan. Dalam perkembangan teknologi saat ini, metode seperti logika fuzzy juga digunakan dalam prediksi cuaca karena mampu menangani data yang tidak pasti dan memberikan hasil yang lebih fleksibel serta menyerupai cara manusia dalam menilai kondisi lingkungan.

### **2.2.5 Prediksi Cuaca**

Prediksi cuaca adalah proses memperkirakan kondisi atmosfer di masa depan berdasarkan analisis data cuaca yang diperoleh dari berbagai sumber pengamatan seperti satelit, radar, stasiun cuaca, dan sensor otomatis [28]. Menurut prediksi cuaca merupakan hasil dari analisis dinamika atmosfer yang dilakukan secara sistematis melalui kombinasi data pengamatan, model numerik, dan interpretasi oleh para ahli meteorologi [29]. Tujuannya adalah untuk mengetahui kemungkinan terjadinya fenomena cuaca seperti hujan, suhu, angin, kelembapan, dan tekanan udara dalam jangka waktu tertentu, baik itu beberapa jam ke depan (prakiraan jangka pendek) maupun beberapa hari ke depan (prakiraan jangka menengah atau panjang). Proses ini melibatkan penggunaan model matematika dan fisika atmosfer yang kompleks untuk mensimulasikan pergerakan dan perubahan massa udara di atmosfer. Selain metode numerik tradisional, kini juga banyak digunakan metode berbasis kecerdasan buatan, seperti logika fuzzy, yang dapat mengolah data yang tidak pasti atau kabur untuk menghasilkan prediksi yang lebih adaptif dan mendekati cara berpikir manusia. Prediksi cuaca sangat penting karena memberikan informasi yang dibutuhkan untuk perencanaan aktivitas harian, pengelolaan sumber daya alam, serta mitigasi terhadap potensi bencana alam seperti banjir, badai, atau kekeringan, sehingga dapat membantu mengurangi risiko dan kerugian yang ditimbulkan oleh kondisi cuaca ekstrem [30].

### **2.2.6 Metrik Evaluasi**

Metrik evaluasi adalah ukuran atau indikator yang digunakan untuk menilai kinerja suatu model, sistem, atau metode dalam melakukan tugas tertentu, seperti prediksi, klasifikasi, atau regresi [31]. Dalam konteks sistem prediksi atau

pembelajaran mesin, metrik evaluasi sangat penting untuk menentukan sejauh mana model mampu menghasilkan output yang akurat dan dapat diandalkan. Pemilihan metrik evaluasi tergantung pada jenis masalah yang dihadapi. Untuk masalah regresi, metrik yang umum digunakan meliputi *Mean Absolute Error* (MAE), *Mean Squared Error* (MSE), dan *Root Mean Squared Error* (RMSE), yang semuanya mengukur seberapa besar perbedaan antara nilai prediksi dan nilai aktual. Dengan menggunakan metrik evaluasi yang tepat, pengembang atau peneliti dapat membandingkan berbagai model dan memilih yang paling sesuai untuk diterapkan dalam konteks permasalahan tertentu, sekaligus mengidentifikasi kelemahan model yang perlu diperbaiki.

Pada penelitian ini, beberapa metrik evaluasi yang digunakan untuk mengukur kinerja model fuzzy mamdani antara lain sebagai berikut:

1. *Mean Absolute Error* (MAE) adalah rata-rata dari selisih absolut antara nilai aktual dan nilai prediksi. MAE memberikan gambaran tentang seberapa besar kesalahan prediksi secara keseluruhan. Rumus MAE adalah sebagai berikut:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i|$$

Dimana  $n$  adalah jumlah sampel dalam data,  $y^i$  adalah aktual dan  $\hat{y}^i$  adalah nilai prediksi.

nilai prediksi.

2. *Root Mean Squared Error* (RMSE) adalah akar kuadrat dari MSE. RMSE memiliki interpretasi yang serupa dengan MSE, namun lebih mudah dipahami karena berada dalam satuan yang sama dengan data asli. Rumus RMSE adalah sebagai berikut:

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

Dimana  $n$  adalah jumlah data,  $i$  adalah urutan data pada database,  $y_i$  adalah aktual dan  $\hat{y}_i$  adalah nilai prediksi.

Metrik-metrik evaluasi ini sangat penting untuk menentukan seberapa baik

fuzzy mamdani yang diterapkan dalam memprediksi cuaca di tegal. Dengan menggunakan MAE dan RMSE peneliti dapat menilai keakuratan prediksi yang dibuat dan mengidentifikasi area yang perlu diperbaiki.

### **2.2.7 Python**

*Python* adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi yang bersifat interpretatif, interaktif, dan berorientasi objek yang dikembangkan oleh Guido van Rossum dan dirilis pada tahun 1991 [32]. *Python* dirancang dengan sintaksis yang sederhana dan mudah dipahami, sehingga sangat cocok digunakan oleh pemula maupun profesional dalam berbagai bidang pengembangan perangkat lunak. *Python* memiliki pustaka (library) yang sangat kaya dan mendukung berbagai kebutuhan, seperti analisis data, kecerdasan buatan, pengolahan citra, pengembangan web, hingga komputasi ilmiah. Dalam konteks penelitian dan sistem prediksi, *Python* sering digunakan karena menyediakan berbagai pustaka seperti *NumPy*, *Pandas*, *Scikit-learn*, dan *Matplotlib* yang memudahkan dalam pengolahan data, pembuatan model, serta visualisasi hasil analisis [33]. Kemampuannya dalam mengintegrasikan berbagai teknologi membuat *Python* menjadi salah satu bahasa pemrograman yang paling banyak digunakan di dunia akademik maupun industry. Dalam penelitian ini, bahasa pemrograman *Python* digunakan sebagai alat untuk mengembangkan sistem prediksi cuaca berbasis metode fuzzy Mamdani karena kemudahan pengolahan data dan dukungan library yang lengkap.