

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai prediksi hasil panen padi telah banyak dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya menggunakan *Fuzzy Inference System* (FIS) Mamdani. Metode ini dinilai mampu menangani ketidakpastian data yang sering muncul pada sektor pertanian, khususnya pada variabel luas panen dan produktivitas. Zulfa dkk., (2022) melakukan penelitian tentang prediksi produktivitas padi menggunakan pendekatan statistik dan Fuzzy Mamdani dengan data produksi dan luas panen dari Badan Pusat Statistik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Fuzzy Mamdani dapat digunakan sebagai sistem pendukung keputusan dalam perencanaan produksi padi karena mampu menghasilkan estimasi yang stabil meskipun data memiliki variasi (Zulfa dkk., 2022).

Septyono dkk., (2023), menerapkan metode Mamdani untuk memprediksi produksi padi dengan mempertimbangkan beberapa variabel seperti luas panen dan kondisi lingkungan. Penelitian tersebut membuktikan bahwa metode Mamdani dapat menghasilkan nilai prediksi yang representatif dan mudah diinterpretasikan.

Septyono dkk., (2023), membandingkan metode Fuzzy Mamdani dengan regresi linier dalam prediksi produksi beras nasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun regresi linier memiliki tingkat akurasi lebih tinggi pada data tertentu, Fuzzy Mamdani tetap unggul dalam fleksibilitas dan kemampuannya menangani ketidakpastian data.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terdahulu terletak pada ruang lingkup, sumber data, dan keluaran penelitian. Penelitian terdahulu berfokus pada prediksi produksi padi dalam cakupan wilayah yang lebih luas, yaitu Pulau Sumatra, dengan memanfaatkan data sekunder dari platform Kaggle serta melibatkan beberapa variabel lingkungan seperti curah hujan, kelembapan, dan suhu rata-rata, tanpa disertai implementasi sistem prediksi dalam bentuk aplikasi. Sementara itu, penelitian ini mengambil studi kasus yang lebih spesifik, yaitu

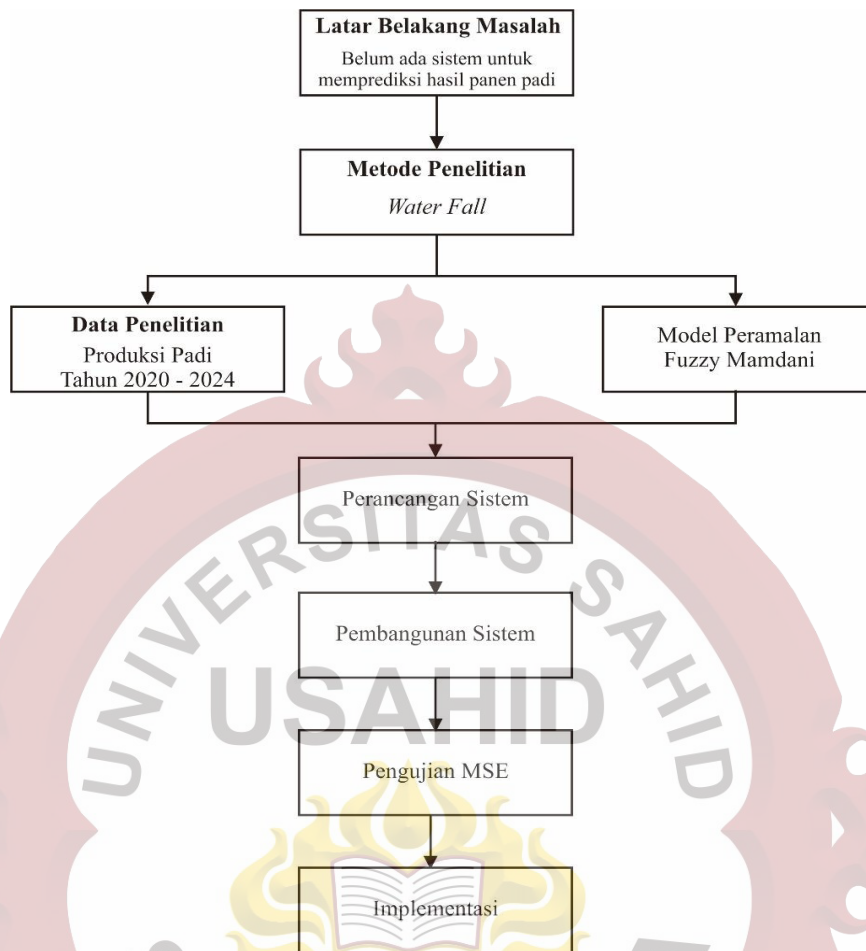
Kota Magelang, dengan menggunakan data resmi dari Badan Pusat Statistik (BPS) yang meliputi luas panen, produksi, dan produktivitas padi. Selain itu, penelitian ini tidak hanya menerapkan metode Fuzzy Mamdani secara konseptual, tetapi juga mengimplementasikannya dalam sebuah sistem prediksi berbasis web yang dilengkapi dengan evaluasi akurasi menggunakan *Mean Squared Error* (MSE) untuk mengukur tingkat kesalahan hasil prediksi terhadap data aktual (Septyono dkk., 2023).

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode Fuzzy Mamdani layak digunakan dalam prediksi hasil panen padi. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terletak pada objek penelitian, yaitu Kota Magelang, serta perancangan sistem prediksi berbasis web yang dilengkapi dengan evaluasi hasil menggunakan *Mean Squared Error* (MSE) (Burhanuddin, 2023).

2.2. Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran digunakan sebagai acuan dalam menyelesaikan permasalahan penelitian secara sistematis. Penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah berupa penurunan luas lahan panen padi di Kota Magelang yang berdampak pada produksi padi. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data produksi padi dari Badan Pusat Statistik Kota Magelang.

Data yang telah diperoleh kemudian diolah menggunakan metode Fuzzy Mamdani melalui tahapan fuzzifikasi, pembentukan aturan fuzzy, inferensi, dan defuzzifikasi. Hasil prediksi yang diperoleh selanjutnya dievaluasi menggunakan metode *Mean Squared Error* (MSE) untuk mengetahui tingkat akurasi prediksi. Tahapan tersebut diimplementasikan dalam sebuah sistem berbasis web yang dapat digunakan sebagai alat bantu prediksi hasil panen padi. Adapun kerangka penelitian yang digunakan seperti terlihat di Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Kerangka Pemikiran

Berdasarkan kerangka kerja penelitian yang telah digambarkan pada Gambar 2.1 maka dapat diuraikan pembahasan masing-masing tahap dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Latar Belakang Masalah

Permasalahan utama penelitian ini adalah belum adanya sistem yang mampu memprediksi hasil panen padi secara akurat untuk mendukung perencanaan pertanian.

2. Metode Penelitian (*Waterfall*)

Metode *waterfall* digunakan sebagai kerangka pengembangan sistem yang dilakukan secara bertahap dan sistematis.

3. Data Penelitian

Data yang digunakan berupa data produksi padi tahun 2020–2024 yang bersumber dari Badan Pusat Statistik (BPS).

4. Model Peramalan (*Fuzzy Mamdani*)

Prediksi hasil panen dilakukan menggunakan metode *Fuzzy Inference System Mamdani* yang mampu menangani ketidakpastian data pertanian.

5. Perancangan Sistem

Tahap ini mencakup perancangan alur sistem, basis data, dan antarmuka pengguna.

6. Pembangunan Sistem

Sistem prediksi dikembangkan berdasarkan hasil perancangan dengan mengimplementasikan metode *Fuzzy Mamdani*.

7. Pembangunan Sistem

Pengujian dilakukan menggunakan *Mean Squared Error* (MSE) untuk mengukur tingkat kesalahan hasil prediksi.

8. Implementasi

Sistem yang telah diuji kemudian diimplementasikan sebagai alat bantu pengambilan keputusan di bidang pertanian.

2.3. Landasan Teori

2.3.1. Padi

Padi merupakan tanaman pangan utama yang menghasilkan beras sebagai bahan makanan pokok masyarakat Indonesia. Produksi padi dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, antara lain luas panen dan produktivitas. Perubahan pada kedua faktor tersebut akan berpengaruh langsung terhadap jumlah produksi padi yang dihasilkan (La Alio dkk., 2025).

2.3.2. Sistem dan Sistem Informasi

Sistem adalah sekumpulan elemen yang saling berinteraksi untuk mencapai tujuan tertentu. Sistem informasi merupakan kombinasi dari perangkat keras, perangkat lunak, data, prosedur, dan pengguna yang berfungsi untuk mengolah data menjadi informasi yang bermanfaat dalam pengambilan keputusan (Fithrie Soufitri, S.Kom., 2023).

2.3.3. Logika Fuzzy

Sistem Fuzzy ditemukan pertama kali oleh Prof. Lotfi Zadeh pada pertengahan tahun 1965 Universitas California. Sistem ini diciptakan karena *Boolean logic* tidak membuat ketelitian yang tinggi, hanya mempunyai logika 0 dan 1 saja. Sehingga untuk membuat sistem mempunyai ketelitian yang tinggi maka kita tidak dapat menggunakan *Boolean logic*. *Logika fuzzy* merupakan suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output (Muhammad Yusril Helmi & Setyawan, 2020).

Ada beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem fuzzy, yaitu (Galang Persada Nurani Hakim, S.T., 2021)

1. Variabel fuzzy

Variabel fuzzy merupakan variable yang hendak diterapkan dalam suatu sistem fuzzy. Contoh: umur, temperatur, permintaan, dan sebagainya.

2. Himpunan fuzzy

Himpunan fuzzy merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu. Himpunan fuzzy memiliki 2 atribut, yaitu:

- a. Linguistik, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti : DINGIN, NORMAL, PANAS.
- b. Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel, seperti: 25, 50, dan sebagainya.

3. Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam variabel fuzzy. Contoh: semesta pembicaraan untuk variabel temperatur: $[0 \ 40]$.

4. Domain

Domain himpunan fuzzy adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam semesta pembicaraan, boleh dioperasikan dalam suatu himpunan fuzzy. Contoh domain himpunan fuzzy:

Redup = $[0, 45]$

Terang = $[35, 55]$.

Ada beberapa alasan mengapa orang menggunakan logika fuzzy yaitu:

- a. Konsep matematis yang mendasari penalaran logika fuzzy mudah dimengerti.
 - b. Logika fuzzy sangat fleksibel.
 - c. Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
 - d. Logika fuzzy mampu memodelkan fungsi-fungsi non linier yang sangat kompleks.
 - e. Logika fuzzy dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
 - f. Logika Fuzzy dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
 - g. Logika fuzzy didasarkan pada bahasa alami.
5. Fungsi Keanggotaan Fuzzy

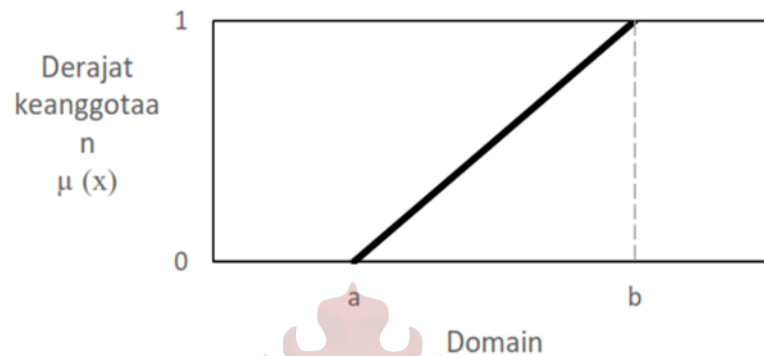
Fungsi keanggotaan (membership function) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1 (Yulmaini, 2023). Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang dapat digunakan:

a. Representasi Linear

Representasi linear, pemetaan input ke derajat keanggotaannya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Bentuk ini paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas. Ada 2 keadaan himpunan Fuzzy linear, yaitu (Dr. Eng. Anik Nur H, S.T. dkk., 2021):

1) Representasi Linear Naik

Kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol (0) bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi, (A. D. Putri & Maulana, 2023). Dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini :



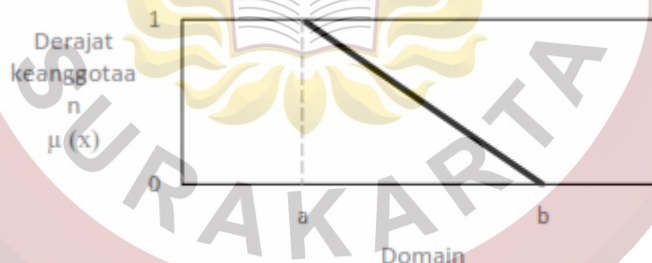
Gambar 2.2 Menjelaskan Representasi Linear Naik

Fungsi keanggotaan

$$\mu[x] = \begin{cases} (x-a)^0; x \leq a \\ (b-1); x \geq b \end{cases} \dots\dots\dots (2.1)$$

2) Representasi Linear Turun

Representasi linear turun merupakan kebalikan dari linear naik. Garis lurus dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah (Siregar dkk., 2023). Dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah ini:



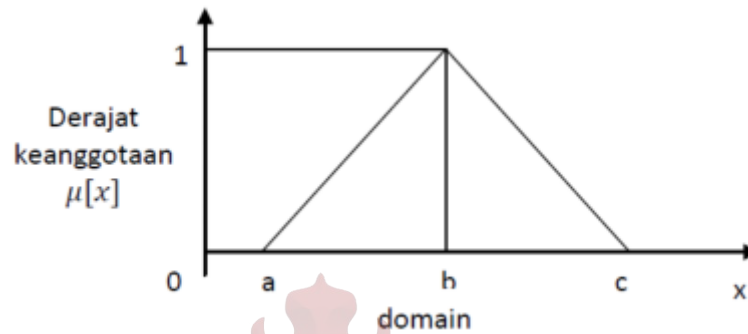
Gambar 2.3 Menjelaskan Representasi Linear Turun

Fungsi keanggotaan

$$\mu [x] = \begin{cases} (b - x)/(b - a) a \leq x \leq b \\ 0; x \geq b \end{cases} \dots\dots\dots (2.2)$$

3) Representasi Kurva Segitiga

Fungsi keanggotaan segitiga ditandai oleh adanya tiga parameter {a,b,c} yang akan menentukan koordinat x dari tiga sudut. Kurva ini pada dasarnya merupakan gabungan antara dua garis lurus, (Maryam dkk., 2021). Dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah ini :



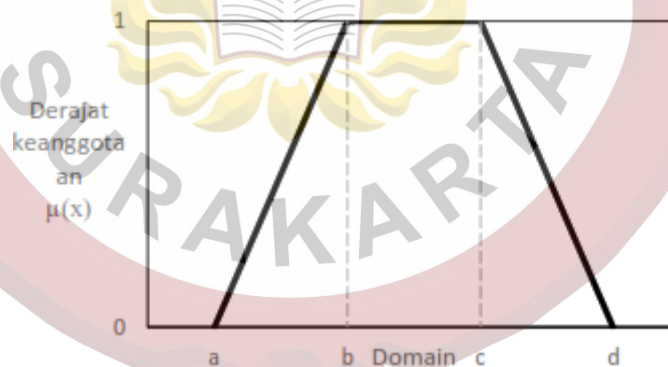
Gambar 2.4 Menjelaskan Representasi Kurva Segitiga

Fungsi Keanggotaan

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)}; b \leq x \leq c \end{cases} \dots\dots\dots (2.3)$$

4) Representasi Kurva Trapesium

Kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan satu (Ramawati Fadila, 2022). Dapat dilihat pada gambar 2.5 dibawah ini:



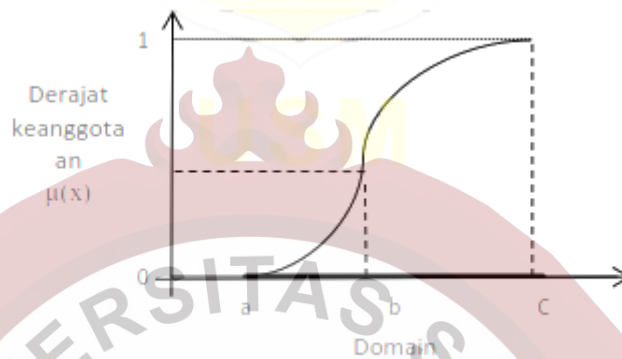
Gambar 2.5 Menjelaskan Representasi Kurva Trapesium

Fungsi Keanggotaan

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; a \leq x \leq b \\ 1; b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)}; x \geq c \end{cases} \dots\dots\dots (2.4)$$

5) Representasi Kurva S

Kurva pertumbuhan dan penyusutan merupakan kurva S atau sigmoid berhubungan dengan kenaikan dan penurunan permukaan secara tak linear (Dary Daffa Haque, 2023). Dapat dilihat pada gambar 2.6 dibawah ini:



Gambar 2.6 Menjelaskan Representasi Kurva S

Fungsi Keanggotaan

$$S(x;a,\beta,\gamma) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ 2\left(\frac{x-a}{y-a}\right)^a & a \leq x \leq \beta \\ 1 - 2\left(\frac{y-x}{y-a}\right)^2 & \beta \leq x \leq y \\ 1 & x \geq y \end{cases} \quad (2.5)$$

b. Operator-operator Fuzzy

1) Operator AND

Operator ini berhubungan dengan operasi interseksi pada himpunan. α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator AND, diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan himpunan yang bersangkutan (Ningrum dkk., 2021).

$$\mu_{A \cap B} = \min (\mu_A [x], \mu_B [y]) \quad (2.6)$$

2) Operator OR

Operator ini berhubungan dengan operasi union pada himpunan. α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator OR, diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan (Küçüktopçu dkk., 2023).

$$\mu_{A \cup B} = \max (\mu_A [x], \mu_B [y]) \quad (2.7)$$

3) Operator NOT

Operator ini berhubungan dengan operasi komplemen pada himpunan. α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator AND, diperoleh dengan mengurangi nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan yang bersangkutan dari 1 (S. N. Putri & Saputro, 2021).

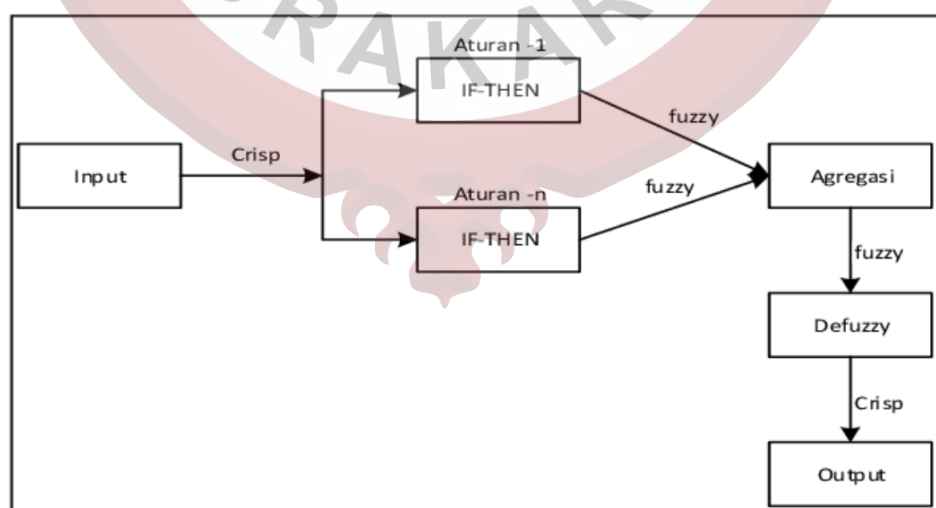
$$\mu_{A'} = 1 - \mu_A [x] \dots\dots\dots (2.8)$$

c. Variable Linguistik

Variabel linguistik adalah variabel yang bernilai kata/kalimat, bukan angka. Sebagai alasan menggunakan kata/kalimat dari pada angka karena peranan linguistik kurang spesifik dibandingkan angka, namun informasi yang disampaikan lebih informatif. Variabel linguistik ini merupakan konsep penting dalam logika fuzzy dan memegang peranan penting dalam beberapa aplikasi (Mattos-Vela, 2021).

2.3.4 Sistem Inferensi Fuzzy (FIS)

Sistem Inferensi Fuzzy (*Fuzzy Inference System* atau FIS) merupakan suatu kerangka komputasi yang didasarkan pada teori himpunan fuzzy, aturan fuzzy berbentuk IF – THEN, dan penalaran fuzzy (Yogachi dkk., 2021) . Secara garis besar, dapat dilihat pada gambar 2.7 diagram blok proses inferensi fuzzy sebagai berikut.



Gambar 2.7 Diagram Blok Proses Inferensi Fuzzy

Sistem Inferensi Fuzzy menerima input crisp. Input ini kemudian dikirim ke basis pengetahuan yang berisi n aturan fuzzy dalam bentuk IF-THEN. Fire strength akan dicari pada setiap aturan. Apabila jumlah aturan lebih dari satu, maka akan dilakukan agregasi dari sebuah aturan. Selanjutnya, pada hasil agregasi akan dilakukan defuzzy untuk mendapatkan nilai crisp sebagai output sistem (Yogachi dkk., 2021)

2.3.5 Metode Mamdani

Metode Mamdani sering juga dikenal dengan nama Metode Max- Min. Metode Mamdani ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 (Fikriya dkk., 2025). Untuk memperoleh output, diperlukan 4 tahapan yaitu:

1. Pembentukan Himpunan fuzzy

Menentukan semua variabel yang terkait dalam proses yang akan ditentukan. Untuk masing-masing variabel input, tentukan suatu fungsi fuzzifikasi yang sesuai. Pada metode Mamdani, baik variabel input maupun variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy.

2. Aplikasi

Fungsi implikasi Menyusun basis aturan, yaitu aturan-aturan berupa implikasi-implikasi fuzzy yang menyatakan relasi antara variabel input dengan variabel output. Pada metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah Min. Bentuk umumnya adalah sebagai berikut:

Jika a adalah A_j dan b adalah B_j , maka c adalah C_i dengan A_i , B_i , dan C_i adalah predikat-predikat fuzzy yang merupakan nilai linguistik dari masing-masing variabel. Banyaknya aturan ditentukan oleh banyaknya nilai linguistik untuk masing-masing variabel masukan.

3. Komponen aturan

Kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem fuzzy, yaitu: max, additive dan probabilistic OR (Fikriya dkk., 2025).

a. Metode Max (Maximum)

Metode ini solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah

fuzzy dan mengaplikasikan ke output dengan menggunakan operator OR (union). Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka output akan berisi suatu himpunan fuzzy yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap proposisi (Shi dkk., 2019). Secara umum dapat dituliskan:

$$\mu_{sf}[xi] \leftarrow \max(\mu_{sf}[xi], \mu_{kf}[xi]) \dots\dots\dots (2.9)$$

dengan:

$\mu_{sf}[xi]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i;-

$\mu_{kf}[xi]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-i;

- b. Metode Additive (Sum) Metode ini solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan bounded-sum terhadap semua output daerah fuzzy (Aditya & Fitriana, 2021). Secara umum dituliskan:

$$\mu_{sf}[xi] \leftarrow \min(1, \mu_{sf}[xi] + \mu_{kf}[xi]) \dots\dots\dots (2.10)$$

dengan:

$\mu_{sf}[xi]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i;

$\mu_{kf}[xi]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-i;

- c. Metode Probabilistik OR

Metode ini solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan product terhadap semua output daerah fuzzy. Secara umum dituliskan:

$$\mu_{sf}[xi] \leftarrow \max(\mu_{sf}[xi] + \mu_{kf}[xi]) - (\mu_{sf}[xi] * \mu_{kf}[xi]) \dots\dots\dots (2.11)$$

dengan:

$\mu_{sf}[xi]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i;

$\mu_{kf}[xi]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy aturan ke-i;

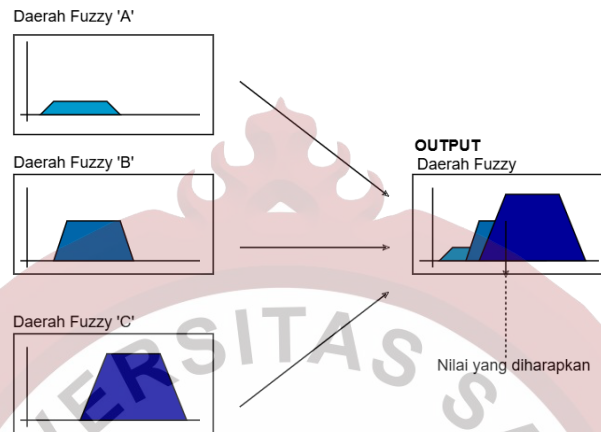
- d. Penegasan (defuzzy)

Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan output yang dihasilkan merupakan bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut (Muhammad Yusril Helmi & Setyawan, 2020).

2.3.6 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah mengubah fuzzy output menjadi crisp value berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Defuzzifikasi merupakan proses pengubahan besaran fuzzy yang disajikan dalam bentuk himpunan-

himpunan fuzzy keluaran dengan fungsi keanggotaannya untuk mendapatkan keluaran bentuk tegasnya, (Galang Persada Nurani Hakim, S.T., 2021). Dapat dilihat pada gambar 2.8 dibawah ini:



Gambar 2.8 Defuzzifikasi

Ada beberapa metode defuzzifikasi yaitu:

a. Metode Centroid

Metode Centroid (*Composite Moment*). Pada metode centroid solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah fuzzy. Secara umum dapat dituliskan:

$$z\mu(z)dz \int z * Z = \mu \int z(z)dz \dots\dots\dots(2.12)$$

b. Metode Bisektor

Metode bisektor solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain yang memiliki nilai keanggotaan setengah dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah fuzzy.

c. Metode *Mean of Maximum* (MOM)

Metode mean of maximum solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

d. Metode *Largest of Maximum* (LOM)

Metode largest of maximum solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

e. Metode *Smolest of Maximum* (SOM)

Metode smallest of maximum solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum (Yulmaini, 2023).

2.3.7 Mean Squared Error (MSE)

Mean Squared Error (MSE) adalah metode evaluasi yang digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan prediksi dengan menghitung rata-rata kuadrat selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi. Nilai MSE yang semakin kecil menunjukkan bahwa hasil prediksi semakin mendekati data actual (Teti dkk., 2024).

