

ANALYSIS OF ANTHRACNOSE DISEASE IN CURLY CHILI USING FUZZY LOGIC METHOD

ANALISIS PENYAKIT ANTRAKNOSA PADA CABAI KERITING MENGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC

Esterika Simangunsong¹, Johan Medi Situmeang², Aikel³, Ertina Sabarita Barus⁴

Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Prima Indonesia

Jl. Sampul No.3, Kec. Medan Petisah, Medan, Indonesia

esterikasimangunsong25@gmail.com¹, johanmedi.1809@gmail.com², aikeldragneel@gmail.com³,

ertinasabaritabarus@unpri.ac.id⁴

Abstract - Curly chilli (*Capsicum annuum* L.) is one of the horticultural products that has a high economic value and is often consumed by the people of Indonesia, both as a flavour enhancer for dishes and as a source of nutrition. However, until now, the production of chilli peppers has not been able to meet demand, one of which is caused by anthracnose disease that attacks plants through fungi of the genus *Colletotrichum*, potentially causing yield losses of 50 to 90%. Until now, there have not been many disease risk prediction systems that consider environmental variables adaptively. This research aims to develop an anthracnose disease risk prediction system based on the Mamdani fuzzy logic method that is able to handle the uncertainty of environmental data such as temperature, humidity, and soil pH. Data are obtained from trusted literature sources and have undergone a validation process before being used in modelling. The system was developed using MATLAB because it supports various features in the implementation of fuzzy logic. Simulation results show high consistency between manual calculations and software results, indicating that the system has a good level of accuracy and potential to be applied in agricultural management.

Keywords - Curly chilli, Anthracnose Disease, Fuzzy Logic Mamdani, MATLAB

Abstrak - Cabai keriting (*Capsicum annuum* L.) Merupakan salah satu hasil hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan kerap dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia, baik sebagai penambah cita rasa masakan maupun sebagai sumber gizi. Namun, hingga kini produksi cabai masih belum mampu memenuhi permintaan, salah satunya diakibatkan oleh penyakit antraknosa yang menyerang tanaman melalui jamur dari genus *Colletotrichum*., berpotensi menyebabkan kehilangan hasil panen sebesar 50 sampai 90%. Hingga saat ini, belum banyak sistem prediksi risiko penyakit yang mempertimbangkan variabel lingkungan secara adaptif. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem prediksi risiko penyakit antraknosa berbasis metode *fuzzy logic Mamdani* yang mampu menangani ketidakpastian data lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan pH tanah. Data diperoleh dari sumber literatur terpercaya dan telah melalui proses validasi sebelum digunakan dalam pemodelan. Sistem dikembangkan menggunakan MATLAB karena mendukung berbagai fitur dalam implementasi *fuzzy logic*. Hasil simulasi menunjukkan konsistensi yang tinggi antara perhitungan manual dan hasil perangkat lunak, yang mengindikasikan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang baik dan potensial untuk diterapkan dalam manajemen pertanian.

Kata Kunci - Cabai Keriting, Antraknosa, Fuzzy Logic Mamdani, MATLAB

I. PENDAHULUAN

Cabai keriting (*Capsicum annuum L.*) merupakan salah satu tanaman hortikultura yang paling menguntungkan secara finansial. Di Indonesia tanaman ini dibudidayakan secara luas. Sebagai negara tropis, Indonesia dapat membudidayakan cabai sepanjang tahun [1]. Namun demikian, serangan penyakit tanaman cabai masih sering menyebabkan produktivitas tanaman cabai mengalami penurunan yang signifikan [2]. Antraknosa merupakan salah satu penyakit utama yang kerap menyerang tanaman cabai, dan penyakit ini disebabkan oleh jamur dari genus *Colletotrichum.*, penyakit ini menyebar melalui air hujan, angin, atau alat pertanian yang tercemar[3]. Tanda-tanda awal yang biasa terlihat adalah adanya bercak kehitaman kecil yang melesak ke dalam pada buah cabai, tanpa memandang tingkat kematangan buahnya[4].

Penelitian yang dilakukan oleh[5] menemukan bahwa penyakit antraknosa paling sering terjadi pada lahan rawa di Kalimantan Selatan, dengan tingkat kejadian 57,54%. Namun, pengobatan di lapangan masih menggunakan fungisida kimia. Metode ini dianggap tidak efektif dalam jangka panjang dan jika tidak dikontrol, dapat membahayakan lingkungan. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem deteksi dini yang fleksibel, akurat, dan ramah lingkungan diperlukan untuk membantu petani mengendalikan penyakit dengan cepat. Namun hingga saat ini, sistem monitoring yang digunakan di lapangan masih bersifat reaktif dan belum mampu memberikan prediksi risiko penyakit secara akurat dan adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Pada penelitian sebelumnya telah menggunakan logika fuzzy untuk mengatasi ketidakpastian dalam sistem pertanian, seperti pada kontrol irigasi otomatis[6] dan sistem monitoring tanaman berbasis IoT[7]. Namun, masih belum banyak penelitian yang secara khusus membangun sistem untuk memprediksi kemungkinan penyakit antraknosa dengan memperhitungkan semua variabel lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan pH tanah. Melihat kondisi tersebut, tujuan dari penelitian ini untuk mengembangkan sistem prediksi risiko penyakit antraknosa yang berbasis metode logika fuzzy Mamdani. Metode ini mampu memberikan prediksi linguistik dengan cepat dan dapat dimanfaatkan sebagai pendukung dalam proses pengambilan keputusan untuk pengendalian penyakit yang lebih efisien.

II. SIGNIFIKASI STUDI

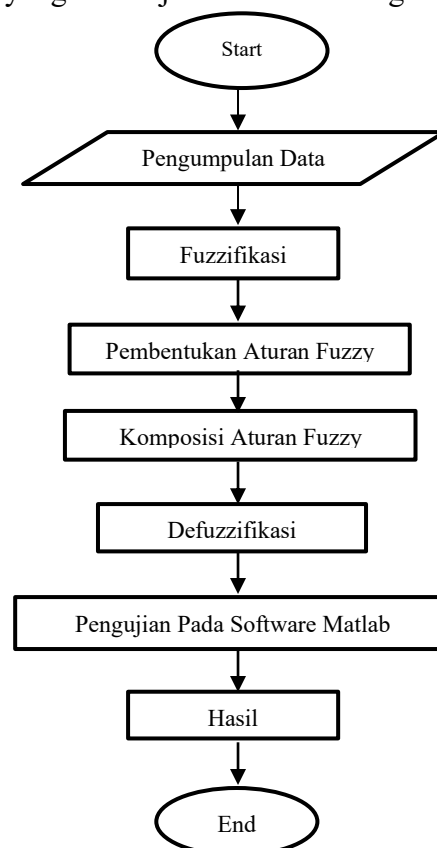
A. Penelitian Terdahulu

Logika Fuzzy pertama kali diusulkan oleh Zadeh (1965), Sistem ini telah banyak digunakan untuk menangani data lingkungan yang tidak pasti, terutama dalam sistem pertanian yang kompleks [8]. Metode fuzzy yang banyak diterapkan adalah sistem inferensi fuzzy tipe Mamdani, yang sebelumnya telah dimanfaatkan dalam pengaturan sistem penyiraman otomatis menggunakan sensor suhu dan kelembaban [7], maupun dalam sistem pemantauan serta penyiraman otomatis pada tanaman cabai [9]. Tidak hanya itu, penelitian lain juga mengembangkan sistem irigasi yang berbasis teknologi IoT, serta pengendalian kelembaban tanah pada cabai [10]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada pengaturan input pertanian, bukan pada aspek prediksi penyakit. Dalam penelitian ini, metode Fuzzy Logic Mamdani secara khusus diterapkan untuk memprediksi risiko penyakit antraknosa dengan mempertimbangkan variabel suhu, kelembaban, dan pH tanah.

Metode fuzzy Mamdani memungkinkan pembuatan aturan yang jelas dan dapat disesuaikan dengan keadaan lokal. Hal ini berbeda dari metode statistik yang memerlukan asumsi distribusi data, serta machine learning yang bersifat black box dan membutuhkan pelatihan dengan data besar. Ini membuatnya lebih fleksibel dan dapat digunakan oleh orang awam, seperti petani. Sistem ini memberikan Keluaran linguistik yang mudah dipahami seperti "risiko rendah", "sedang", dan "tinggi". Dan dapat diakses dengan cepat di lapangan serta membantu petani membuat keputusan pengendalian lebih awal dengan waktu pemrosesan prediksi kurang dari satu menit. Metode ini menawarkan peluang nyata untuk menurunkan risiko kerugian panen secara signifikan jika dibandingkan dengan metode konvensional.

B. Metode Penelitian

Penelitian kuantitatif ini bertujuan memanfaatkan Fuzzy Logic Mamdani untuk mengembangkan sistem yang mampu memprediksi risiko penyakit antraknosa pada tanaman cabai keriting. Sistem inferensi fuzzy sendiri adalah sebuah model yang melakukan penarikan kesimpulan berdasarkan sekumpulan aturan fuzzy yang telah ditetapkan. Penelitian ini memakai model Mamdani, karena strukturnya yang mudah dipahami, yaitu operasi MIN-MAX, model Mamdani banyak digunakan dalam penelitian [11] [12]. Metode ini dipilih karena dapat menangani data lingkungan yang tidak pasti dan tidak jelas, seperti suhu, kelembaban, dan pH tanah, yang mempengaruhi pertumbuhan penyakit tanaman. Proses pengembangan sistem dilakukan dalam empat tahap utama. Tahap pertama adalah Fuzzifikasi, untuk mengubah nilai input numerik menjadi nilai fuzzy linguistik yang didasarkan pada fungsi keanggotaan. Selanjutnya dilakukan inferensi aturan dengan menggunakan 27 aturan IF-THEN yang dibuat dari kombinasi variabel-variabel input. Hasil inferensi kemudian digabungkan melalui proses agregasi, dengan menggunakan metode maksimum (MAX) untuk mendapatkan output fuzzy gabungan. Tahap terakhir adalah defuzzifikasi dengan menggunakan pendekatan centroid untuk mengubah hasil fuzzy menjadi output crisp (numerik). Dalam penelitian ini, kami memiliki beberapa langkah metodologi untuk mendukung penelitian yang akan dilakukan. Beberapa metodologi penelitian yang kami ajukan adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Tahapan Penelitian

1. *Pengumpulan Data*, Data dikumpulkan dengan melakukan observasi langsung setelah memperoleh informasi seperti jurnal ilmiah, artikel, buku, serta media referensi lainnya. Dalam penelitian ini, fokus utama pengamatan adalah untuk mengidentifikasi dan memahami masalah yang berkaitan dengan penyakit antraknosa pada tanaman cabai keriting.
2. *Fuzzifikasi*, tahap di mana nilai input yang bersifat pasti diubah menjadi nilai fuzzy yang berada dalam rentang antara 0 hingga 1. Sebelum melakukan fuzzifikasi, langkah awal yang perlu dilakukan adalah menetapkan variabel masukan (input) dan variabel keluaran (output) yang akan dipakai dalam sistem. Pada proses ini, fungsi keanggotaan untuk masing-masing variabel input dan output ditentukan berdasarkan data yang telah dikumpulkan [13].
3. *Aplikasi Fungsi Implikasi*, Tahap selanjutnya, dirumuskan sejumlah aturan fuzzy yang berperan dalam mengaitkan variabel input dengan variabel output. Proses ini menggunakan pendekatan fungsi minimum (MIN) sebagaimana diterapkan dalam metode Mamdani. Bentuk umum dari aturan tersebut dapat dinyatakan seperti rumus dibawah ini:

$$\text{IF } (x_1 \text{ adalah } A_1) \text{ AND } (x_2 \text{ adalah } A_2) \text{ AND } \dots \text{ AND } (x_n \text{ adalah } A_n) \text{ THEN } y \text{ adalah } B \quad (1)$$

Disini A1, A2, An merupakan label linguistik dari variabel input, sementara B mempresentasikan output yang dihasilkan.

$$\mu(x_i) = \min(\mu_a(x_i), \mu(x_i)) \quad (2)$$

4. *Komposisi Aturan Fuzzy* Tidak seperti penalaran yang hanya berdasarkan satu aturan, pada proses komposisi dalam sistem fuzzy, hasil akhir diperoleh melalui integrasi dari sejumlah aturan secara bersamaan. Umumnya, pendekatan yang digunakan adalah metode MAX, yaitu dengan menggabungkan nilai derajat keanggotaan dari output seluruh aturan menggunakan operasi logika OR (union). Pendekatan ini menghasilkan nilai tertinggi yang digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan. Rumus komposisi aturan tersebut dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu(x_i) = \max(\mu_{sf}(x_i), \mu_{kf}(x_i)) \quad (3)$$

5. Defuzzifikasi, proses yang bertujuan mengonversi himpunan fuzzy hasil dari komposisi aturan menjadi nilai numerik yang tegas (crisp). Himpunan fuzzy ini terdiri dari elemen-elemen dengan tingkat keanggotaan yang bervariasi [14]. Terdapat berbagai teknik defuzzifikasi yang dapat diterapkan untuk mengkonversi output dari aturan fuzzy Mamdani menjadi nilai crisp. Penelitian ini tentunya menggunakan metode centroid, yang bekerja dengan menghitung titik pusat dari area di bawah kurva fungsi keanggotaan fuzzy. Secara matematis, pendekatan ini dirumuskan sebagai berikut:

$$Z^* = \frac{\int_a^b z \mu(z) dz}{\int_a^b \mu(z) dz} \quad (4)$$

6. *Pengujian Dengan Software Matlab* yang memiliki keunggulan yang handal dalam menangani perhitungan matematis yang cukup kompleks, peneliti pun memanfaatkannya untuk mendukung proses analisis dan implementasi. Penggunaan perangkat lunak ini bertujuan agar sistem yang dikembangkan dapat bekerja secara efektif dalam memprediksi risiko penyakit antraknosa.
7. Hasil, Setelah menyelesaikan semua proses pada metodologi, baik dari pengumpulan data hingga pengujian menggunakan MATLAB R2024b, tentunya selanjutnya melakukan analisis terhadap hasil. Tujuan analisis ini adalah untuk mengevaluasi keakuratan dan kesesuaian model melalui perbandingan prediksi risiko penyakit antraknosa yang didasarkan pada teori logika fuzzy Mamdani dengan hasil implementasi perangkat lunak.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 dan Tabel 2 menyajikan variabel-variabel yang digunakan dalam sistem inferensi fuzzy untuk menganalisis risiko penyakit antraknosa pada tanaman cabai keriting, yang mencakup suhu, kelembaban, dan pH tanah sebagai variabel input, serta tingkat risiko sebagai output. Nilai pada setiap variabel dihitung dengan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari literatur yang tentunya terpercaya dan penelitian terdahulu yang relevan dengan kondisi pertanian cabai keriting di wilayah tropis, khususnya Indonesia. Selain itu, rentang-rentang tersebut juga telah dibandingkan dengan hasil observasi lapangan secara umum, yang menunjukkan kesesuaian dalam kisaran suhu (22–32°C), kelembaban (65–90%), dan pH tanah (4.0–7.0) yang umum ditemukan pada lahan pertanian cabai [15] [16]. Rentang tersebut mencerminkan kondisi aktual yang relevan dan dijadikan dasar dalam pembentukan himpunan fuzzy untuk setiap variabel, sehingga model yang dibangun dapat menggambarkan situasi di lapangan secara representatif. Dalam penelitian ini kami menggunakan tiga variabel sebagai inputan dan satu variabel sebagai output.

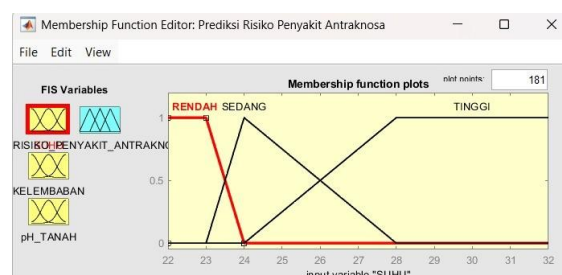
Tabel 1. Pendefinisian Variabel

Jenis Variabel	Nama Variabel	Semesta Pembicaraan	Keterangan
Variabel <i>input fuzzy</i>	Suhu	22 - 32°C	Nilai Penilaian
	Kelembaban	65 - 90%	Nilai Penilaian
	pH Tanah	4.0 - 7.0	Nilai Penilaian
Variabel <i>output fuzzy</i>	Risiko Penyakit Antraknosa	0 - 58%	Hasil Penilaian

Table 2. Pembentukan Himpunan Fuzzy

Nama Variabel	Himpunan Fuzzy	Domain	Fungsi Keanggotaan	Parameter
Suhu (<i>Input</i>)	Rendah	[22,24]	Bahu kiri	(22;23;24)
	Sedang	[23,28]	Segitiga	(23;24;28)
	Tinggi	[24,32]	Bahu Kanan	(24;28;32)
Kelembaban (<i>Input</i>)	Rendah	[65,74]	Bahu kiri	(65;69;74)
	Sedang	[69,84]	Segitiga	(69;74;84)
	Tinggi	[74,90]	Bahu Kanan	(74;84;90)
pH Tanah (<i>VInput</i>)	Asam	[4.0,5.5]	Bahu kiri	(4.0;4.75;5.5)
	Netral	[4.75,6.8]	Segitiga	(4.75;5.5;6.8)
	Basa	[5.5,7.0]	Bahu Kanan	(5.5;6.8;7.0)
Risiko Penyakit Antraknosa (<i>Output</i>)	Rendah	[0,20]	Bahu kiri	(0;10;20)
	Sedang	[10,35]	Segitiga	(10;20;35)
	Tinggi	[20,58]	Bahu Kanan	(20;35;58)

Dibawah ini merupakan diagram yang menunjukkan tingkat risiko penyakit antraknosa berdasarkan keanggotaan himpunan fuzzy:



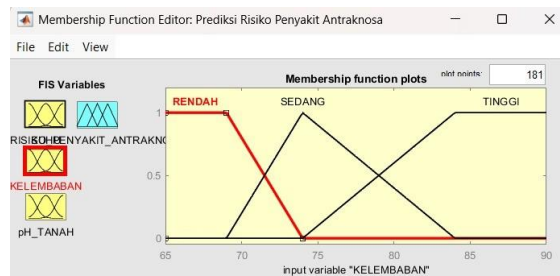
Gambar 2. Fungsi Keanggotaan Variabel Suhu

variabel suhu keanggotaan untuk risiko penyakit antrankosa menggunakan Fungsi keanggotaan fuzzy terdiri atas tiga kategori, yaitu suhu rendah, sedang, dan tinggi.

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 1; & ; x \leq 23 \\ \frac{24-x}{24-23}; & ; 23 \leq x \leq 24 \\ 0; & ; x \geq 24 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0; & ; x \leq 23 \text{ atau } x \geq 28 \\ \frac{x-23}{24-23}; & ; 23 \leq x \leq 24 \\ \frac{28-x}{28-24}; & ; 24 \leq x \leq 28 \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0; & ; x \leq 24 \\ \frac{x-24}{28-24}; & ; 24 \leq x \leq 28 \\ 1; & ; x \geq 28 \end{cases} \quad (7)$$



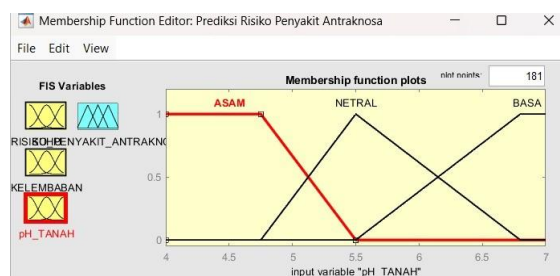
Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Variabel Kelembaban

variabel kelembaban keanggotaan untuk risiko penyakit antrankosa menggunakan Fungsi keanggotaan fuzzy yang diterapkan pada dibagi ke dalam beberapa kategori, yaitu kelembaban rendah, sedang, dan tinggi.

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 1; & ; x \leq 69 \\ \frac{74-x}{74-69}; & ; 69 \leq x \leq 74 \\ 0; & ; x \geq 74 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0; & ; x \leq 69 \text{ atau } x \geq 84 \\ \frac{x-69}{74-69}; & ; 69 \leq x \leq 74 \\ \frac{84-x}{84-74}; & ; 74 \leq x \leq 84 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0; & ; x \leq 74 \\ \frac{x-74}{84-74}; & ; 74 \leq x \leq 84 \\ 1; & ; x \geq 84 \end{cases} \quad (10)$$



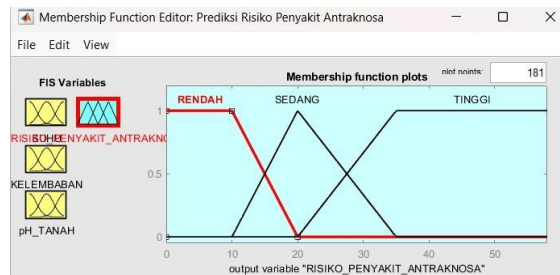
Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Variabel pH Tanah

Variable pH Tanah risiko penyakit antrankosa menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy yang mencakup tiga kategori, yaitu asam, netral, dan basa.

$$\mu_{Asam}(x) = \begin{cases} 1; & ; x \leq 4.75 \\ \frac{5.5 - x}{5.5 - 4.75}; & ; 4.75 \leq x \leq 5.5 \\ 0; & ; x \geq 5.5 \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{Netral}(x) = \begin{cases} 0; & ; x \leq 4.75 \text{ atau } x \geq 6.8 \\ \frac{x - 4.75}{5.5 - 4.75}; & ; 4.75 \leq x \leq 5.5 \\ \frac{6.8 - x}{6.8 - 5.5}; & ; 5.5 \leq x \leq 6.8 \end{cases} \quad (12)$$

$$\mu_{Basa}(x) = \begin{cases} 0; & ; x \leq 5.5 \\ \frac{x - 5.5}{6.8 - 5.5}; & ; 5.5 \leq x \leq 6.8 \\ 1; & ; x \geq 6.8 \end{cases} \quad (13)$$



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Variabel Output Resiko Penyakit Antraknosa

Variable output risiko penyakit antraknosa menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy yang terdiri atas beberapa kategori, yaitu rendah, sedang, dan tinggi.

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 1; & ; x \leq 10 \\ \frac{20 - x}{20 - 10}; & ; 10 \leq x \leq 20 \\ 0; & ; x \geq 20 \end{cases} \quad (14)$$

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0; & ; x \leq 10 \text{ atau } x \geq 35 \\ \frac{x - 10}{20 - 10}; & ; 10 \leq x \leq 20 \\ \frac{35 - x}{35 - 20}; & ; 20 \leq x \leq 35 \end{cases} \quad (15)$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0; & ; x \leq 20 \\ \frac{x - 20}{35 - 20}; & ; 20 \leq x \leq 35 \\ 1; & ; x \geq 35 \end{cases} \quad (16)$$

Setelah seluruh variabel diubah ke dalam bentuk fuzzy, selanjutnya disusun algoritma inferensi yang sesuai dengan kebutuhan penelitian. Dalam hal ini, digunakan sebanyak 27 aturan fuzzy yang merepresentasikan kombinasi dari tiga variabel input (suhu, kelembaban, dan pH tanah). Aturan-aturan tersebut digunakan untuk menghasilkan output berupa prediksi tingkat risiko penyakit antraknosa dengan menggunakan pendekatan metode Mamdani. Seluruh aturan fuzzy tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Aturan-aturan Fuzzy

No	Suhu	Kelembaban	pH Tanah	Risiko Penyakit
1	Rendah	Rendah	Asam	Sedang
2	Rendah	Rendah	Netral	Rendah
3	Rendah	Rendah	Basa	Rendah
4	Rendah	Sedang	Asam	Sedang
5	Rendah	Sedang	Netral	Rendah
6	Rendah	Sedang	Basa	Rendah
7	Rendah	Tinggi	Asam	Tinggi
8	Rendah	Tinggi	Netral	Sedang
9	Rendah	Tinggi	Basa	Sedang

Implementasi pada permasalahan:

Untuk mengevaluasi keakuratan metode yang diterapkan, dilakukan studi kasus dengan menggunakan contoh data yang dimasukkan ke dalam sistem. Sebagai contoh, seorang petani A memiliki lahan dengan kondisi suhu udara sebesar 26°C (Sedang), Kelembaban mencapai 82% (Tinggi), serta pH tanah sebesar 5,8 (Netral).

1. Fuzzifikasi

Ini merupakan proses mengubah nilai input dari angka crips menjadi nilai *fuzzy*.

Suhu (26°C):

$$\mu_{Rendah}(26) = 0$$

$$\mu_{Sedang}(26) = \frac{28-26}{28-24} = \frac{2}{4} = 0.5$$

$$\mu_{Tinggi}(26) = \frac{26-24}{28-24} = \frac{2}{4} = 0.5$$

Kelembaban (82%):

$$\mu_{Rendah}(82) = 0$$

$$\mu_{Sedang}(82) = \frac{84-82}{84-74} = \frac{2}{10} = 0.2$$

$$\mu_{Tinggi}(82) = \frac{82-74}{84-74} = \frac{8}{10} = 0.8$$

pH Tanah (5.8):

$$\mu_{Asam}(5.8) = 0$$

$$\mu_{Netral}(5.8) = \frac{6.8-5.8}{6.8-5.5} = \frac{1.0}{1.3} \approx 0.77$$

$$\mu_{Basa}(5.8) = 0$$

2. Aplikasi Fungsi Implikasi

Langkah berikutnya melibatkan evaluasi terhadap setiap aturan logika fuzzy yang telah dibuat dalam format IF-THEN, menerapkan metode minimum (MIN) sebagai dasar perhitungan.

Aturan yang didapat:

[R14] IF (SUHU is SEDANG (0.5)) and (KELEMBABAN is SEDANG (0.2)) and (pH TANAH is NETRAL (0.77)) $\rightarrow$ RISIKO PENYAKIT is SEDANG

$$\alpha_{R14} = \min(0.5, 0.2, 0.77) = 0.2$$

[R17] IF (SUHU is SEDANG (0.5)) and (KELEMBABAN is TINGGI (0.8)) and (pH TANAH is NETRAL (0.77)) $\rightarrow$ RISIKO is TINGGI

$$\alpha_{R17} = \min(0.5, 0.8, 0.77) = 0.5$$

3. Komposisi Aturan

Pada bagian ini, seluruh hasil inferensi yang berbentuk output fuzzy dikombinasikan dijadikan satu kesimpulan fuzzy tunggal. Hal ini dilakukan menggunakan metode MAX, yakni pengambilan nilai derajat keanggotaan yang paling tinggi dari seluruh output yang dihasilkan.

Output Fuzzy Risiko:

$$\mu_{Sedang}(z) = 0.2 \text{ (Dari R14)}$$

$$\mu_{Tinggi}(z) = 0.5 \text{ (Dari R17)}$$

$$\mu_{Gabungan}(z) = \max(0.2, 0.5) = 0.5$$

4. Defuzzifikasi

Untuk tahap berikutnya langkah penutup, di mana output dalam bentuk fuzzy dikonversi menjadi nilai crisp yang dapat ditafsirkan serta digunakan dalam proses mengambil keputusan.

Fungsi keanggotaan untuk Output Risiko:

Rendah : 0, 10, 20

Sedang : 10, 20, 35

Tinggi : 20, 35, 58

Perhitungan:

$$z^* = \frac{\int_{10}^{35} z \cdot 0.2 \, dz + \int_{20}^{58} z \cdot 0.5 \, dz}{\int_{10}^{35} 0.2 \, dz + \int_{20}^{58} 0.5 \, dz}$$

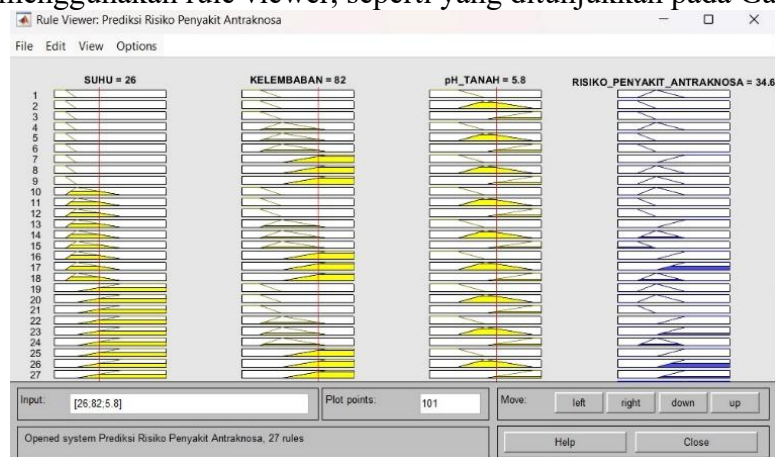
Nilai Centroid:

$$z^* = \frac{112.5 + 741}{5 + 9} = \frac{853.5}{14} \approx 35.56$$

Untuk studi kasus diatas terlihat bahwa penginputan suhu 26°C, Kelembaban 82%, dan pH Tanah 5.8 menunjukkan risiko penyakit antraknosa 35.56% (Tinggi).

Hasil Pengujian

Data input berupa [26;82;5.8] dimasukkan ke dalam Sistem Inferensi Fuzzy Mamdani yang telah dibangun, dengan menggunakan rule viewer, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Pengujian Menggunakan Matlab

Berdasarkan gambar di atas, hasil prediksi risiko penyakit antraknosa menggunakan MATLAB sebesar 34.6%, sedangkan perhitungan manual sebesar 35.56% dengan selisih 0,96%. Meskipun terdapat sedikit perbedaan, keduanya masih berada dalam rentang yang sama dan menghasilkan keputusan akhir yang sama, yaitu kategori Tinggi. Hasil ini menunjukkan performa sistem yang sebanding dengan pendekatan lain seperti Fuzzy Tsukamoto atau metode machine learning, namun dengan keunggulan pada transparansi aturan dan kemudahan penerapan di lapangan.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa metode Fuzzy Logic Mamdani efektif digunakan untuk memprediksi risiko penyakit antraknosa pada tanaman cabai keriting berdasarkan input suhu 26°C, kelembaban 82%, dan pH tanah 5,8. Sistem menghasilkan prediksi risiko penyakit sebesar 35,56% melalui perhitungan manual dan 34,6% melalui simulasi MATLAB, dengan selisih kurang dari 1% yang mengindikasikan tingkat konsistensi dan akurasi yang tinggi. Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya menangani data lingkungan yang tidak pasti dan menghasilkan keluaran linguistic yang mudah dipahami oleh petani. Namun, sistem ini masih memiliki keterbatasan pada jumlah variabel input dan fungsi keanggotaan yang belum divalidasi di lapangan. Agar sistem ini dapat digunakan secara efektif oleh petani, dibutuhkan peran aktif penyuluh pertanian dalam memberikan pendampingan, pengembang teknologi dalam pembuatan aplikasi berbasis web atau mobile.

REFERENSI

- [1] I. Widowati, A. Dhamira, H. Anggrasari, and R. N. Seleky, "Climatic Factors and Its Effect on Chili Production: One Step Forward Combating Climate Change," in *BIO Web of Conferences*, EDP Sciences, Oct. 2023. doi: 10.1051/bioconf/20236904001.
- [2] E. Air Biji Adas, T. Suganda, A. Fauzan Rizqullah, dan Fitri Widiyanti, K. Jatinangor, and J. K. Raya Bandung-Sumedang, "Ekstrak Air Biji Adas (*Foeniculum vulgare* Mill.) Efektif Menekan Jamur *Colletotrichum* sp., Penyebab Penyakit Antraknosa Cabai dalam Uji In-Vitro," *Jurnal Agrikultura*, vol. 2023, no. 2, pp. 228–236.
- [3] Y. ; T. F. R. ; L. J. ; P. W. F. Sondakh, "Intensitas Serangan Penyakit Antraknosa pada Pertanaman Cabai di Kecamatan Amurang Barat, Minahasa Selatan," *Jurnal Agrobisnis Fakultas Pertanian UKIT*, vol. 1, no. 1, pp. 10–15, 2019, Accessed: Jun. 06, 2025. [Online]. Available: <https://agrobisnis.faperta-ukit.ac.id/index.php/agrobisnis/article/view/25/19>
- [4] Y. Safitri, R. Pradana, I. Afifah Nugraheni, and D. Mindrati Fardhani, "Uji antagonis *Trichoderma* spp. Terhadap *Colletotrichum* spp. penyebab penyakit antraknosa pada tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens*) Secara In Vitro."
- [5] M. Mariana, E. Liestiany, F. R. Cholis, and N. S. Hasbi, "PENYAKIT ANTRAKNOSA CABAI OLEH *Colletotrichum* sp. DI LAHAN RAWA KALIMANTAN SELATAN," *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, vol. 23, no. 1, pp. 30–36, Jun. 2021, doi: 10.31186/jipi.23.1.30-36.
- [6] P. Saengarun *et al.*, "Combining ability analysis in anthracnose-resistant introgression inbreds and developing improved resistant lines of pepper (*Capsicum annuum* L.)," *Sci Horti*, vol. 339, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.scienta.2024.113899.
- [7] A. Prasetyo, A. R. Yusuf, Y. Litanianda, S. Sugianti, and F. Masykur, "Implementation of Fuzzy Logic for Chili Irrigation Integrated with Internet of Things," *Journal of Computer Networks, Architecture and High Performance Computing*, vol. 5, no. 2, pp. 494–502, Jul. 2023, doi: 10.47709/cnahpc.v5i2.2518.
- [8] T. Dewi Hendrawati and K. Algifary, "Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan) Politeknik Sukabumi," 2022. [Online]. Available: <https://sukabumikota.bps.go.id/>,
- [9] R. S. Setiadi and F. Sulianta, "SMART MONITORING AND WATERING OF CHILI PLANTS USING A FUZZY MAMDANI SYSTEM," vol. 4, no. 1, pp. 247–256, 2023, doi: 10.20884/1.jutif.2023.4.1.505.

- [10] A. Ferdianto, “PENGENDALIAN KELEMBABAN TANAH PADA TANAMAN CABAI BERBASIS FUZZY LOGIC,” 2018.
- [11] P. Jasmin *et al.*, “Potential Analysis of the Application of Fuzzy Logic in the Optimization of Pak Choi Hydroponic Cultivation: A Literature Study on Plant Growth Support System,” *Journal of Applied Science, Technology & Humanities*, vol. 1, no. 4, pp. 394–407, Sep. 2024, doi: 10.62535/qarba550.
- [12] D. Viondra Sihar Matondang, D. Saogo, R. F. Samuel Putra Sianturi, S. Dapit, E. Sabarita Barus, and F. Sains dan Teknologi, “ANALISIS PEMBERIAN NUTRISI MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC STUDI KASUS TANAMAN CABAI,” *Jurnal TEKINKOM*, vol. 6, no. 2, p. 2023, doi: 10.37600/tekinkom.v6i2.929.
- [13] A. Sa’dan, H. Haryanto, S. Astuti, and Y. Rahayu, “Agen Cerdas Berbasis Fuzzy Tsukamoto pada Sistem Prediksi Banjir,” *Eksplora Informatika*, vol. 8, no. 2, pp. 104–111, Mar. 2019, doi: 10.30864/eksplora.v8i2.154.
- [14] S. Basriati *et al.*, “Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto dalam Menentukan Jumlah Produksi Tahu,” *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, vol. 18, no. 1, pp. 120–125, 2020.
- [15] S. Agustini, H. Redin, I. P. Kulu, V. Amelia, P. Surawijaya, and Y. Ludang, “DINAMIKA POPULASI HAMA DAN PENYAKIT UTAMA PADA TANAMAN CABAI MERAH (*Capsicum annuum* L.) DI KOTA PALANGKA RAYA Population Dynamics Of Main Pests And Diseases On Red Chilli Plants (*Capsicum annuum* L.) In Palangka Raya City,” *Agrotekbis*, vol. 17, no. 2, pp. 85–100, 2023, doi: 10.36873/aev.v17i2.12662.
- [16] M. Rahmadhani, R. Bangun Sistem Pengendalian, and P. Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe, “RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN DAN MONITORING pH TANAH PADA TANAMAN CABAI BERBASIS IoT,” *JURNAL TEKTRONIKA*, vol. 7, no. 2, 2023.