

# Klasifikasi Kondisi Greenhouse Secara Real-Time Menggunakan Fuzzy Mamdani Berbasis Bot Telegram

Pramana Adi Setiawan<sup>1</sup>, Arita Witanti<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Mercu Buana Yogyakarta  
e-mail: [1211110056@student.mercubuana-yogya.ac.id](mailto:1211110056@student.mercubuana-yogya.ac.id), [arita@mercubuana-yogya.ac.id](mailto:arita@mercubuana-yogya.ac.id)

**Abstract** – Environmental conditions within a greenhouse, such as water temperature, water pH, light, and CO<sub>2</sub>, are crucial factors that determine the success of a harvest. Manual monitoring is often inefficient and prone to errors, necessitating an automated, real-time monitoring system. This research aims to design and build a greenhouse condition classification system using the Mamdani Fuzzy Logic method, integrated with a Telegram Bot as the user interface. This system utilizes four input variables from sensors—water temperature, water pH, light, and CO<sub>2</sub>—to produce an output that classifies the greenhouse conditions into three categories: Poor, Fair, and Good. The Mamdani Fuzzy Logic is used to model the decision-making process based on a predefined rule base. To test the system's reliability, real-time testing was conducted over a seven-day period, with data collected on a schedule six times per day. The research results indicate that the system was successfully built and is capable of effectively presenting classification information through the Telegram Bot. Out of a total of 42 data points tested, 39 of the system's classifications matched the manual classifications made by the manager, demonstrating a very high accuracy rate of 92.86%. This accuracy proves that the implemented Mamdani Fuzzy method is both valid and reliable. The system offers a practical and efficient solution for greenhouse managers to conduct remote monitoring and take swift action to maintain crop quality.

**Keywords** – Classification, Greenhouse, Mamdani Fuzzy, Telegram Bot.

**Abstrak** – Kondisi lingkungan dalam greenhouse, seperti suhu air, pH air, cahaya, CO<sub>2</sub>, merupakan faktor penting yang menentukan keberhasilan panen. Pemantauan secara manual seringkali tidak efisien dan rentan terhadap kesalahan, sehingga diperlukan sistem monitoring otomatis yang dapat diakses secara *real-time*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah sistem klasifikasi kondisi greenhouse menggunakan metode Logika Fuzzy Mamdani yang diintegrasikan dengan Bot Telegram sebagai antarmuka pengguna. Sistem ini menggunakan empat variabel input dari sensor, yaitu suhu air, pH air, cahaya, CO<sub>2</sub>, untuk menghasilkan output berupa klasifikasi kondisi greenhouse ke dalam tiga kategori: Buruk, Cukup, dan Baik. Logika Fuzzy Mamdani digunakan untuk memodelkan proses pengambilan keputusan berdasarkan basis aturan yang telah ditentukan. Untuk menguji keandalan sistem, dilakukan pengujian secara *real-time* selama periode tujuh hari, dengan pengambilan data terjadwal sebanyak enam kali per hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem berhasil dibangun dan mampu menyajikan informasi klasifikasi melalui Bot Telegram secara efektif. Dari total 42 data poin yang diuji, 39 data klasifikasi sistem menunjukkan hasil yang sesuai dengan hasil klasifikasi manual pengelola, sehingga sistem menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi, yaitu sebesar 92.86%. Akurasi ini membuktikan bahwa metode Fuzzy Mamdani yang diimplementasikan valid dan andal. Sistem ini memberikan solusi yang praktis dan efisien bagi pengelola greenhouse untuk melakukan pemantauan jarak jauh dan mengambil tindakan secara cepat guna menjaga kualitas tanaman.

**Kata Kunci** – Bot Telegram, Fuzzy Mamdani, Greenhouse, Klasifikasi.

## I. PENDAHULUAN

Bidang pertanian memiliki peranan penting dalam upaya memenuhi kebutuhan pangan global. Namun kondisi lingkungan yang tidak menentu menjadi tantangan dalam praktik pertanian konvensional. Perubahan kondisi lingkungan dapat mempengaruhi pertumbuhan dan hasil panen tanaman. Di era sekarang sudah banyak inovasi terkait praktik pertanian modern yang dapat mengoptimalkan kondisi lingkungan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman contohnya *greenhouse*.

*Greenhouse* atau rumah kaca adalah suatu tempat budidaya tanaman yang beberapa kondisi di dalamnya dapat diatur supaya kondisi sesuai dengan kebutuhan tanaman yang dibudidayakan. Terdapat beberapa teknologi sensor parameter pertumbuhan tanaman di dalam *greenhouse* untuk monitoring ekosistem *greenhouse*, dengan demikian petani dapat terbantu dalam kegiatan pertanian[1][2]. Sensor dapat mengambil data variabel secara *real-time*. Beberapa *greenhouse* hanya memiliki data mentah dari sensor yang belum diolah dengan tepat, sehingga petani seringkali merasa kebingungan dalam memantau dan mengklasifikasikan kondisi *greenhouse* yang sebenarnya.

Klasifikasi kondisi memerlukan waktu yang lama dan pengetahuan yang cukup sehingga tidak semua petani dapat melakukannya dengan akurat. Data sensor yang berubah-ubah sepanjang waktu mengharuskan pengambilan keputusan yang cepat dalam tindakan penyesuaian kondisi optimal *greenhouse*. Dengan demikian diperlukan metode yang tepat yang dapat mengklasifikasi kondisi *greenhouse* berdasarkan variabel penting *greenhouse*. Klasifikasi kondisi secara realtime mempermudah petani ataupun pengelola supaya mendapatkan informasi kondisi yang cepat dan akurat.

Disisi lain, penyampaian informasi kondisi *greenhouse* yang secara cepat merupakan aspek penting dalam sistem monitoring *greenhouse* .sehingga petani dan pengelola dapat melakukan tindakan secepat mungkin dalam penyesuaian kondisi *greenhouse*. Dengan demikian perlu adanya media yang dapat menerima dan menyampaikan informasi terkait klasifikasi kondisi *greenhouse*.

Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode *Fuzzy Mamdani* dalam sistem untuk mengolah data mentah sensor yang sudah ada di *Firestore Real-time DB*. Untuk mengolah data kondisi lingkungan *greenhouse* yang mungkin memiliki variasi ambiguitas metode *Fuzzy Mamdani* sangat cocok digunakan. Penulis juga menggunakan Bot Telegram untuk menampilkan output secara cepat dan efektif kepada petani maupun pengelola. Dengan demikian data yang sudah diolah dan diklasifikasikan akan dikirim sistem melalui pesan notifikasi bot telegram. Penelitian bertujuan untuk menerapkan metode *Fuzzy Mamdani* untuk klasifikasi kondisi *greenhouse* dan menghasilkan informasi yang tepat dan informatif serta Mengimplementasikan sebuah sistem notifikasi menggunakan Bot Telegram yang dapat menampilkan hasil klasifikasi kondisi *greenhouse* kepada petani maupun pengelola. Manfaat penelitian ini Memberi kemudahan petani atau pengelola dalam memantau kondisi *greenhouse* secara efisien dan efektif serta menjadi landasan dan bahan acuan bagi penelitian selanjutnya yang ingin mengembangkan sistem serupa.

## II. PENELITIAN YANG TERKAIT

Dalam klasifikasi metode *Fuzzy Mamdani* sudah banyak di gunakan di berbagai bidang. Metode ini pernah digunakan untuk klasifikasi kualitas air tanah kota Surabaya. Telah dilakukan uji pada penelitian ini dengan menggunakan 6 parameter dan telah diambil sampling di 31 titik kota Surabaya. Hasil dari penelitian terdapat 10 titik sampling yang diklasifikasikan tidak layak menjadi sumber air bersih [3]. Pada penelitian lainnya yang bertujuan untuk klasifikasi wilayah di Jawa Barat PDRB kota/kabupaten pada tahun 2022. Metode yang digunakan untuk klasifikasi adalah *Fuzzy Mamdani*. Penelitian mendapatkan hasil bahwa terdapat 6 wilayah diklasifikasikan sebagai wilayah maju, 6 wilayah tertinggal, dan 17 wilayah berkembang[4]. Di bidang lain metode *Fuzzy Mamdani* digunakan untuk klasifikasi besar potensi kemunculan batu ginjal. Dalam penelitian tersebut mengembangkan suatu sistem yang menggunakan FIS *Mamdani*. kondisi urin yang meliputi pH urin, Kalsium urin dan Urea urin digunakan sebagai variabel input. Output yang dihasilkan besarnya potensi kemunculan batu ginjal. Sistem ini menghasilkan akurasi klasifikasi yang cukup tinggi yaitu 94%[5]. Penelitian serupa membahas tentang klasifikasi penyakit hepatitis menggunakan *Fuzzy Mamdani* berbasis web. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini diagnosis hepatitis A sebesar 68%, B sebesar 53%, dan C sebesar 59%[6]. Penelitian selanjutnya bertujuan untuk mengklasifikasikan gangguan jiwa menggunakan metode logika *Muzzy Mamdani*. Penelitian ini menggunakan dua variabel input, yaitu gejala skizofrenia dan bipolar, untuk menghasilkan satu variabel output berupa kondisi kesehatan mental (*mental illness*). Berdasarkan pengujian, metode ini diklaim berhasil mencapai akurasi sebesar 88% untuk klasifikasi gejala skizofrenia dan 75% untuk gejala bipolar[7].

. Penelitian terdahulu mengenai monitoring *greenhouse* umumnya terbatas pada penyajian data mentah, yang kurang memberikan interpretasi kondisi secara cerdas dan seringkali menggunakan metode klasifikasi yang kaku. Menjawab keterbatasan tersebut, penelitian ini mengusulkan sebuah sistem yang mengisi celah tersebut dengan mengimplementasikan logika *Fuzzy Mamdani* untuk mengklasifikasikan kondisi *greenhouse* secara lebih intuitif dan mengatasi ambiguitas data. Lebih lanjut, celah aksesibilitas diatasi dengan mengintegrasikan sistem pada *platform* Bot Telegram, yang memungkinkan pengiriman notifikasi secara *real-time* dan interaksi yang praktis langsung ke ponsel pengguna, menjadikannya sebuah solusi klasifikasi yang cerdas dan informatif.

*Greenhouse* atau rumah kaca adalah suatu tempat budidaya tanaman yang beberapa kondisi di dalamnya dapat diatur supaya sesuai dengan kebutuhan tanaman yang dibudidayakan. Kondisi pokok yang dapat disesuaikan[1]. Ada

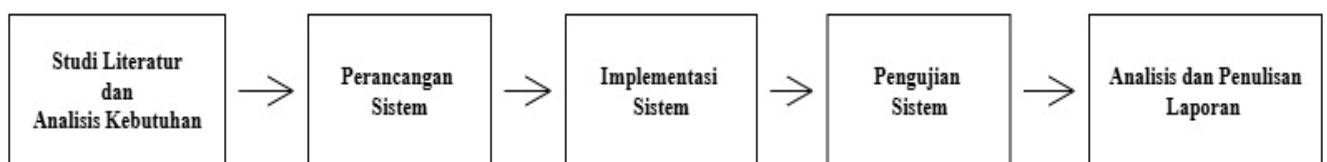
beberapa variabel yang dapat disesuaikan dan jadi penentu kondisi greenhouse yaitu Suhu Air, pH Air, Cahaya dan CO<sub>2</sub>. Suhu Air sangat berpengaruh untuk pertumbuhan tanaman. Suhu air yang terlalu rendah dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman lambat, dan penyerapan nutrisi dapat terhambat sehingga perkembangan tanaman tidak optimal. Disisi lain suhu air yang terlalu tinggi dapat menghambat penyerapan unsur hara dari media ke akar [8]. PH Air berpengaruh pada proses fotosintesis pada tanaman maka diperlukan Ph air yang sesuai untuk tanaman di greenhouse. Ph yang tidak memadai menyebabkan tanaman tidak dapat menyerap unsur hara. Ph yang terlalu rendah atau tinggi menyebabkan kematian dan kerusakan organisme hidup di tanah[9]. Cahaya merupakan sumber energi bagi tanaman untuk melakukan fotosintesis. Fotosintesis berfungsi mengkonversi energi (cahaya) matahari menjadi energi kimia yang disimpan dalam senyawa organik. Intensitas cahaya yang tidak sesuai membuat klorofil terhambat dalam penyerapan energi, sehingga mempengaruhi hasil panen tanaman. [10]. Karbon Dioksida Atau CO<sub>2</sub> merupakan sumber karbon utama untuk pertumbuhan tanaman. Pengaruh langsung CO<sub>2</sub> memiliki dampak positif pada terutama peningkatan fotosintesis bersih sehingga pertumbuhan dan perkembangan tanaman lebih optimal, serta berpengaruh dalam keberhasilan panen [11].

Logika *Fuzzy* merupakan cara yang tepat untuk memetakan ruang input ke dalam ruang output. Lotfi A.Zadeh adalah seorang profesor dari *University of California* yang memperkenalkan dan mempublikasikan konsep ini untuk pertama kalinya pada tahun 1965. logika *Fuzzy* dapat menggunakan ungkapan bahasa untuk menggambarkan nilai variabel logika *Fuzzy*. Derajat keanggotaan dari sebuah nilai digunakan untuk menentukan hasil berdasar atas spesifikasi yang ditentukan[12]. Himpunan *Fuzzy* adalah *Crisp* atau himpunan tegas A didefinisikan oleh item-item yang ada pada himpunan itu. Himpunan *Fuzzy* dapat memperluas fungsi karakteristik hingga fungsi itu mencakup bilangan real interval [0,1]. Nilai keanggotaan menunjukkan suatu item bisa di antara 0 atau 1, dengan kata lain, nilai kebenaran item tidak hanya nilai 0 menunjukkan salah, nilai 1 menunjukkan benar, dan diantara keduanya masih ada nilai-nilai[12]. Metode *max-min* ata yang sering di sebut metode mamdani diperkenalkan pada tahun 1975 oleh Ebrahim Mamdani. Untuk mendapatkan output yang dibutuhkan[13]. Telegram adalah suatu aplikasi pesan singkat yang di kembangkan pada tahun 2013 oleh Nikolai dan Pavel Durov. dengan adanya telegram seseorang dapat dengan berkomunikasi dengan orang lain walaupun jaraknya jauh. telegram dapat digunakan di berbagai platform mobile maupun desktop[14]. Bot Telegram merupakan program otomatis yang dirancang dengan sejumlah perintah untuk melaksanakan instruksi yang diberikan oleh pengguna[15]. Salah satu *Platform Database* yang dapat digunakan secara *real-time* adalah *Firebase Realtime Database*. Aplikasi yang terhubung padai *Firebase* akan memperbaharui otomatis jika terjadi perubahan data. *Firebase* dapat dihubungkan dengan *Framework* seperti *Java*, *Node*, *Python* dan yang lainnya[16]. *Firebase Realtime Database* sangat cocok digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan sinkronisasi data secara langsung, seperti aplikasi percakapan. Selain itu, layanan ini juga mendukung pengembangan aplikasi yang memerlukan skalabilitas cepat dan mudah, karena mampu menangani lalu lintas data yang tinggi serta memastikan data tetap terbaru dan selalu tersedia[17]. Bahasa Pemrograman *Python* ditemukan oleh Guido van Rossum di *Stichting Mathematisch Centrum* (CWI), Amsterdam pada tahun 1991. *Python* menggunakan interpreter untuk menjalankan kodenya. Interpreter tersebut dapat menerjemahkan kode secara langsung. *Python* memiliki banyak pustaka yang dapat digunakan secara gratis dan terbuka[18].

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

#### B. Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data sensor lingkungan *greenhouse* yang dikelola Romansa Garden, beralamat di Ds. Boja, Kec. Tersono. Kab. Batang. Data bersumber dari *Firebase Real-time Database*. Selain itu digunakan pula data hasil wawancara dengan pengelola *greenhouse* yaitu ibu Anissa

Kamalia Kusumastuti [S.Si.](#),M.P. selaku *Head Grower greenhouse* untuk memahami praktik pemantauan manual, ambang batas kritis parameter berdasarkan pengalaman untuk menjadi dasar pembentukan fungsi keanggotaan. Serta logika klasifikasi kondisi *greenhouse* yang menjadi dasar basis aturan *Fuzzy Mamdani*.

### C. Alat Penelitian

Alat yang digunakan penelitian ini adalah komputer. Sistem evaluasi kondisi *greenhouse* akan diimplementasikan melalui *prototype* yang akan di jalankan di komputer. Spesifikasi minimum yang komputer *Sistem Operasi Windows 7/8/10*, RAM sebesar 4 GB, *Storage* 10 GB, Prosesor Core I5. Direkomendasikan menggunakan perangkat keras yang memiliki spesifikasi yang lebih baik untuk menjalankan *tool editor* seperti *Visual Studio Code* atau Notepad.

### D. Data Penelitian

Untuk keperluan pengujian sistem, data akan diambil dari *Firestore Real-time Database* untuk periode 1 minggu (7 hari). Data diambil pada pukul 07.00, 09.00, 11.00, 13.00, 15.00 dan 17.00 WIB. Maka jumlah set yang akan dianalisis sebanyak 42 dataset. Jumlah data ini dianggap cukup untuk merepresentasikan berbagai kondisi yang mungkin terjadi di dalam *greenhouse* dan untuk menguji keandalan sistem dalam jangka waktu tertentu. Proses pengambilan data parameter kondisi *greenhouse* dari *Firestore Real-time Database*. Sumber data berupa pembacaan sensor secara *real-time* yang di ambil di *Firestore Realtime Database*. Data ini mencakup Suhu Air (Celcius), pH Air (pH), Cahaya (%) dan, CO<sub>2</sub> (ppm). Sistem ini dikembangkan dapat terkoneksi dengan *Firestore Real-time Database*. Menggunakan *listener* untuk proses pengambilan data secara *real-time* maupun berkala. Data yang diterima akan diparsing dan digunakan sebagai input sistem logika *Fuzzy Mamdani* kemudian diolah.

### E. Perancangan Sistem

#### 1. Tahap Penilaian

Tahap penilaian awal terdiri dari 2 proses yaitu:

##### - Identifikasi masalah

Permasalahan yang akan diteliti awalah *greenhouse* yang masih melakukan evaluasi penilaian kondisi *greenhouse* secara manual, dimana keseluruhan penilaian kondisi *greenhouse* masih berdasarkan perkiraan pengelola maupun petani *greenhouse*. Hal ini sering membuat petani mengalami kesulitan karena parameter yang mempengaruhi kondisi *greenhouse* selalu berubah-ubah setiap saat. Dengan demikian penilaian secara manual memakan waktu yang cukup lama dan memungkinkan human error sehingga menghambat lajunya kegiatan pertanian *greenhouse*.

##### - Analisis kebutuhan

Kebutuhan dalam sistem evaluasi dalam menentukan kondisi *greenhouse* meliputi kebutuhan sistem dan kebutuhan pengguna

#### 2. Tahap Perancangan Logika

Terdapat beberapa proses dalam penilaian kondisi *greenhouse* untuk menghasilkan data berupa nilai kondisi *greenhouse* yang informatif dan cepat. Tahapan mengolah data dengan metode *Fuzzy Mamdani* sebagai berikut [19]:

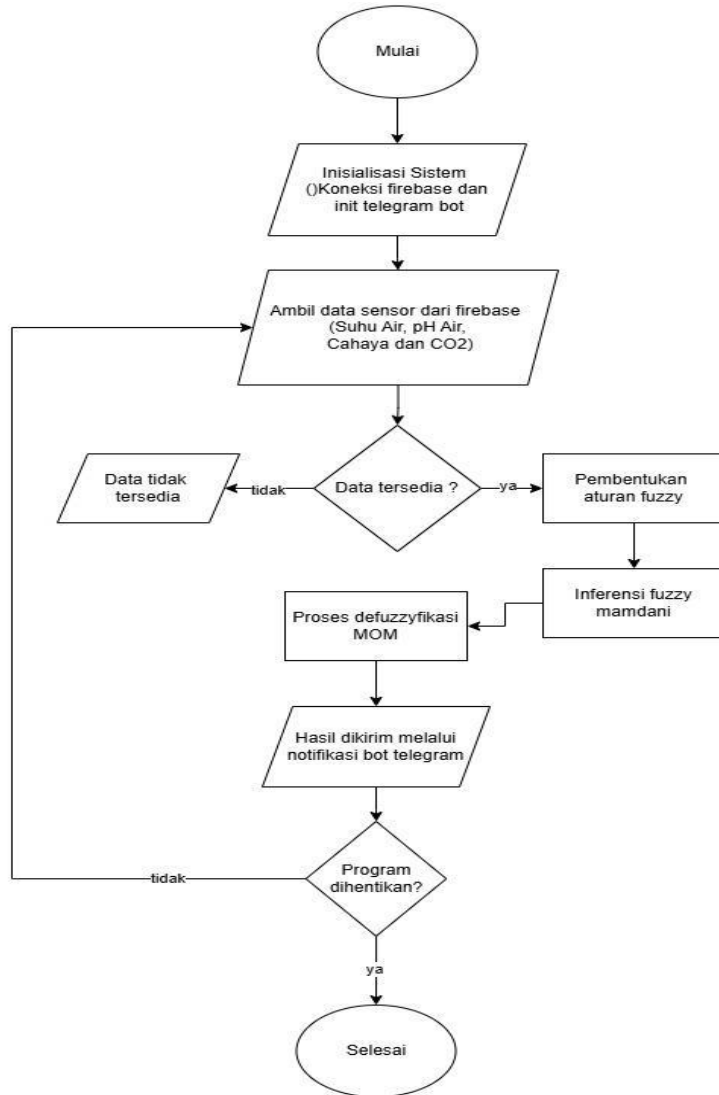
- Fuzzifikasi, Proses mengubah data numerik menjadi himpunan fuzzy dilakukan melalui penggunaan fungsi keanggotaan. Fungsi ini merepresentasikan tingkat keanggotaan setiap nilai input terhadap masing-masing himpunan fuzzy [20].

- Inferensi, proses menggunakan aturan AND-THEN untuk mengubah input Fuzzy menjadi output Fuzzy. Pada tahap ini dilakukan perhitungan untuk menghasilkan keputusan Fuzzy

- Defuzzifikasi, Proses ini mengubah output Fuzzy yang di dapat dari inferensi menjadi input yang bernilai tegas menggunakan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan [21]. Pada penelitian ini menggunakan metode defuzzifikasi MoM.

#### 3. Flowchart

*Flowchart* adalah alur penyelesaian masalah yang ditulis dan dilambangkan dengan simbol-simbol tertentu. *Flowchart* menunjukkan alur program yang lebih realistis dan logis [22]. *Flowchart* untuk sistem dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart

F. Implementasi Fuzzy Mamdani

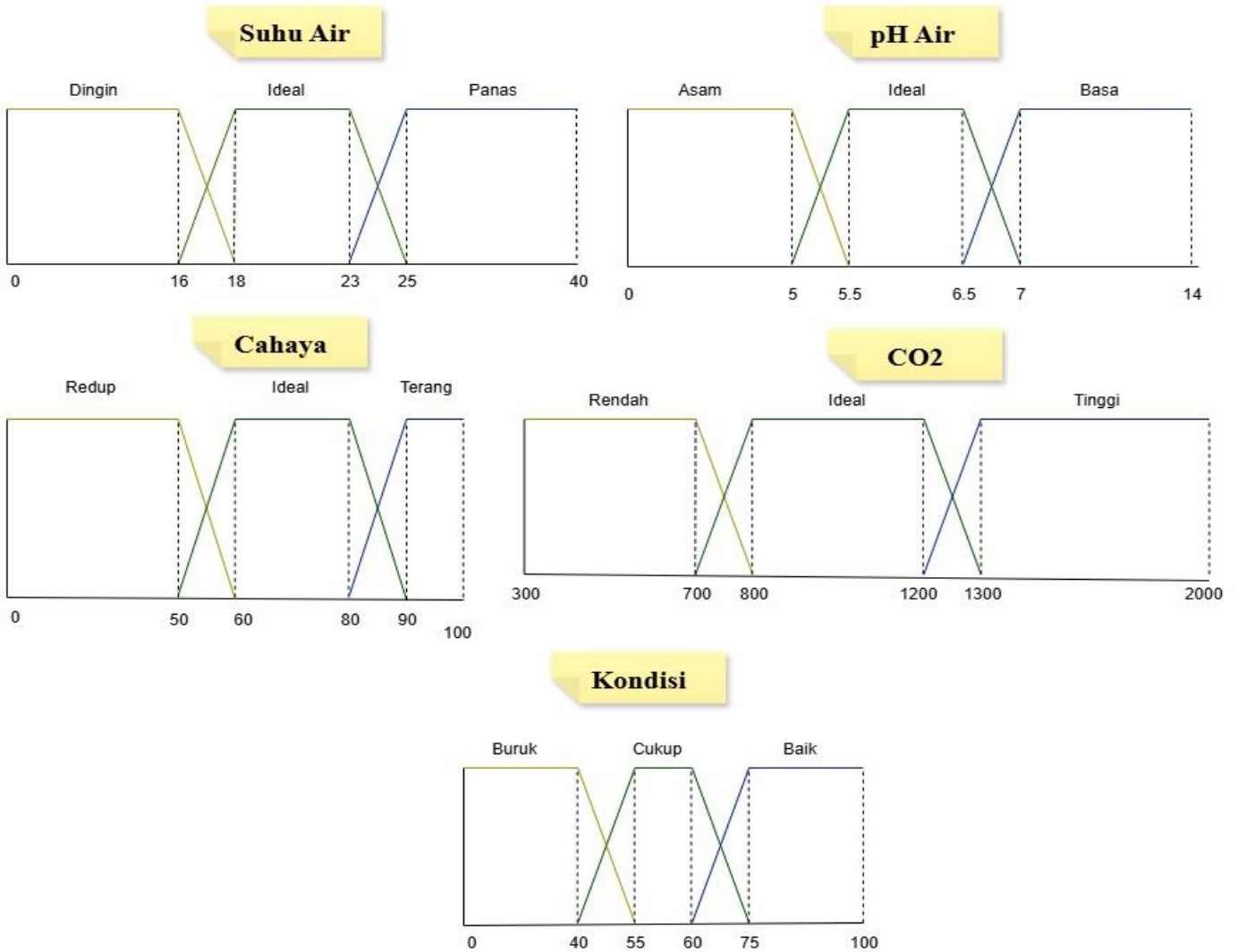
Pembentukan fungsi keanggotaan yang ditunjukkan pada Tabel III.

Tabel IIIIV  
FUNGSI KEANGGOTAAN

Fungsi	Variabel	Himpunan Fuzzy	Semesta Pembicaraan
Input dari Firebase <i>Real-time</i> DB	Suhu Air (C1)	Dingin	[x: 0, 0, 16, 18]
		Ideal	[x: 16, 18, 23, 25]
		Panas	[x: 23, 25, 40, 40]
	pH Air (C2)	Asam	[x: 0, 0, 5.0, 5.5]
		Ideal	[x: 5.0, 5.5, 6.5, 7.0]
		Basa	[x: 6.5, 7.0, 14, 14]
	Cahaya (C3)	Redup	[x: 0, 0, 50, 60]
		Ideal	[x: 50, 60, 80, 90]
		Terang	[x: 80, 90, 100, 100]
		Rendah	[x: 300, 300, 700, 800]

	CO <sub>2</sub> (C3)	Ideal	[x: 700, 800, 1200, 1300]
		Tinggi	[x: 1200, 1300, 2000, 200]
Output	Kondisi (K)	Buruk	[x: 0, 0, 40, 55]
		Cukup	[x: 40, 55, 60, 75]
		Baik	[x: 60, 75, 100, 100]

Grafik Fungsi Himpunan *Fuzzy* dapat dilihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Grafik Fungsi Keanggotaan

Secara Keseluruhan jumlah *Rule-base* yang dibuat adalah 81 *rule*.. Pembentukan *Rule-base* dapat dilihat pada Tabel VVI.

Tabel II  
RULE BASE

Rule	Keterangan Aturan
Rule 1	IF Suhu Air = dingin AND pH Air = asam AND Cahaya = redup AND CO2 = rendah THEN Kondisi = buruk

Rule 2	IF Suhu Air = dingin AND pH Air = asam AND Cahaya = redup AND CO2 = ideal THEN Kondisi = buruk
Rule 3	IF Suhu Air = dingin AND pH Air = asam AND Cahaya = redup AND CO2 = tinggi THEN Kondisi = buruk
Rule 4	IF Suhu Air = dingin AND pH Air = asam AND Cahaya = ideal AND CO2 = rendah THEN Kondisi = buruk
Rule 5	IF Suhu Air = dingin AND pH Air = asam AND Cahaya = ideal AND CO2 = ideal THEN Kondisi = Buruk
Rule 6	IF Suhu Air = dingin AND pH Air = asam AND Cahaya = ideal AND CO2 = tinggi THEN Kondisi = Buruk
Rule 7	IF Suhu Air = dingin AND pH Air = asam AND Cahaya = terang AND CO2 = rendah THEN Kondisi = Buruk
Rule 8	IF Suhu Air = dingin AND pH Air = asam AND Cahaya = terang AND CO2 = ideal THEN Kondisi = Buruk
Rule 9	IF Suhu Air = dingin AND pH Air = asam AND Cahaya = terang AND CO2 = tinggi THEN Kondisi = Buruk
Rule 10	IF Suhu Air = dingin AND pH Air = ideal AND Cahaya = redup AND CO2 = rendah THEN Kondisi = Buruk
...	...
Rule 81	IF Suhu Air = panas AND pH Air = basa AND Cahaya = terang AND CO2 = tinggi THEN Kondisi = Buruk

Studi Kasus :

Sensor *greenhouse* menunjukkan Suhu Air = 23.3 Derajat Celcius, pH air = 6.7, Cahaya = 76 dan CO<sub>2</sub> = 1045 ppm

Maka perhitungan manualnya sebagai berikut:

Mencari nilai derajat keanggotaan setiap variabel

$$\text{Rumus : } \mu[\chi] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}; & a < x < b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}; & c < x < d \end{cases}$$

**Variabel suhu air (23)**

$$\begin{aligned} \mu_{C1} - \text{dingin} (23) &= 0 \\ \mu_{C1} - \text{ideal} (23) &= \frac{25-23,3}{25-23} = \frac{1,7}{2} = 0,85 \\ \mu_{C1} - \text{panas} (23) &= \frac{23,3-23}{25-23} = \frac{0,3}{2} = 0,15 \end{aligned}$$

**Variabel Cahaya (76)**

$$\begin{aligned} \mu_{C3} - \text{gelap} (76) &= 0 \\ \mu_{C3} - \text{ideal} (76) &= 1 \\ \mu_{C3} - \text{terang} (76) &= 0 \end{aligned}$$

**Variabel pH air (6.7)**

$$\begin{aligned} \mu_{C2} - \text{asam} (6.7) &= 0 \\ \mu_{C2} - \text{ideal} (6.7) &= \frac{7,0-6,7}{7,0-6,5} = \frac{0,4}{0,6} = 0,6 \\ \mu_{C2} - \text{basa} (6.7) &= \frac{6,7-6,5}{7,0-6,5} = \frac{0,2}{0,5} = 0,4 \end{aligned}$$

**Variabel CO<sub>2</sub>(1045)**

$$\begin{aligned} \mu_{C4} - \text{rendah} (1045) &= 0 \\ \mu_{C4} - \text{ideal} (1045) &= 1 \\ \mu_{C4} - \text{tinggi} (1045) &= 0 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan 4 rule berdasarkan rule yang telah dibuat sebagai berikut :

R41	<b>IF</b> Suhu Air (I) <b>AND</b> pH Air (I) <b>AND</b> Cahaya (I) <b>AND</b> CO <sub>2</sub> (I) <b>THEN</b> Kondisi (B)
	$a_{predikat}^{41} = \mu I \cap \mu I \cap \mu I \cap \mu I$
	$= \min (0.85, 0.6, 1, 1)$
	$= 0.6$

R50	<b>IF</b> Suhu Air (I) <b>AND</b> pH Air (B) <b>AND</b> Cahaya (I) <b>AND</b> CO2 (I) <b>THEN</b> Kondisi (C)
	$a_{predikat\ 50} = \mu I \cap \mu B \cap \mu I \cap \mu I$ $= \min(0.85, 0.4, 1, 1)$ $= 0.4$
R68	<b>R68 IF</b> Suhu Air (P) <b>AND</b> pH Air (I) <b>AND</b> Cahaya (I) <b>AND</b> CO2 (I) <b>THEN</b> Kondisi (C)
	$a_{predikat\ 68} = \mu P \cap \mu I \cap \mu I \cap \mu I$ $= \min(0.15, 0.6, 1, 1)$ $= 0.15$
R77	<b>IF</b> Suhu Air (P) <b>AND</b> pH Air (B) <b>AND</b> Cahaya (I) <b>AND</b> CO2 (I) <b>THEN</b> Kondisi (B)
	$a_{predikat\ 70} = \mu P \cap \mu B \cap \mu I \cap \mu I$ $= \min(0.15, 0.4, 1, 1)$ $= 0.15$

Hasil Pencarian nilai max dari semua rule adalah :  $a_{77}(0.6)$

Mencari nilai X Pada fungsi Kondisi (Baik) sebagai berikut :

**Batas Awal:**

$$0,6 = \frac{z_{awal} - 60}{75 - 80}$$

$$9 = z_{awal} - 60$$

$$z_{awal} = 69$$

**Batas Akhir:**

$$z_{akhir} = 100$$

Tahap Terakhir adalah defuzzifikasi. Penulis menggunakan metode *MOM (Mean of Maximum)*, perhitungannya sebagai berikut :

$$\text{Nilai Akhir} = \frac{z_{awal} + z_{akhir}}{2} = \frac{66 + 100}{2} = 84,5$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas menghasilkan nilai kondisi 84,5 dan berada di fungsi keanggotaan kondisi **Baik**.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Implementasi Antar Muka Bot Telegram

Bot Telegram dalam sistem ini memiliki peran sebagai antarmuka yang menjembatani petani atau pengelola dengan sistem klasifikasi *Fuzzy Mamdani*. Bot pada sistem ini dirancang untuk menerima perintah spesifik untuk menyajikan hasil klasifikasi dengan format pesan informatif yang informatif dan mudah di pahami. Berikut adalah penjelasan antarmuka Bot Telegram yang telah dibuat. Ketika sistem klasifikasi dijalankan maka Bot Telegram akan muncul pesan seperti gambar 4 dibawah ini.

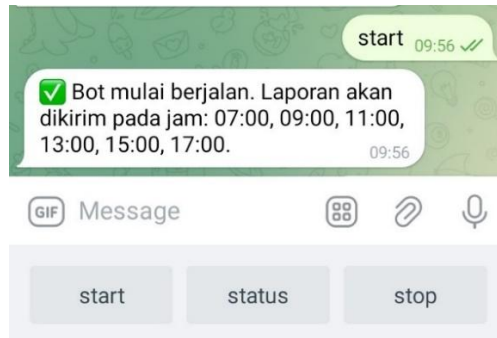


Gambar 4. Tampilan Awal Bot

Pada gambar tersebut ada tiga tombol pada Bot untuk mempermudah petani atau pengelola untuk memberi perintah ke sistem tanpa menulis manual. Berikut penjelasan fungsi tombolnya:

- **Start** = Sistem akan otomatis mengirim kan hasil klasifikasi kondisi *Greenhouse* pada pukul pukul 07.00, 09.00, 11.00, 13.00, 15.00 dan 17.00 WIB. Jika tombol *start* ditekan akan muncul pesan seperti gambar 5 dibawah ini.





Gambar 5. Perintah start

- Setelah tombol *start* ditekan sistem akan mengirimkan pesan kondisi otomatis di jam-jam yang telah dijelaskan diatas. Berikut adalah gambar 6 pesan otomatis yang terkirim di bawah ini.



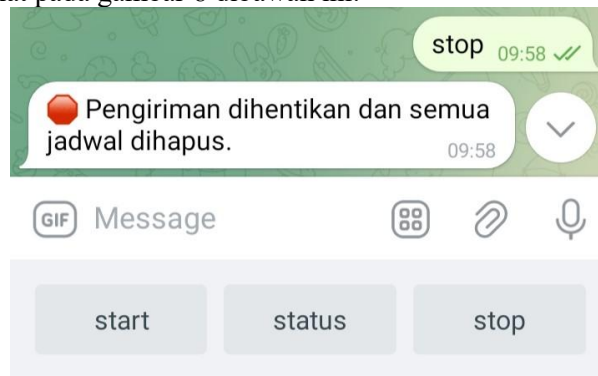
Gambar 6. Pesan Otomatis

- **Status** = Tombol ini berfungsi untuk menampilkan pesan klasifikasi kondisi *greenhouse* saat ini tanpa menunggu pesan otomatis. Dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini.



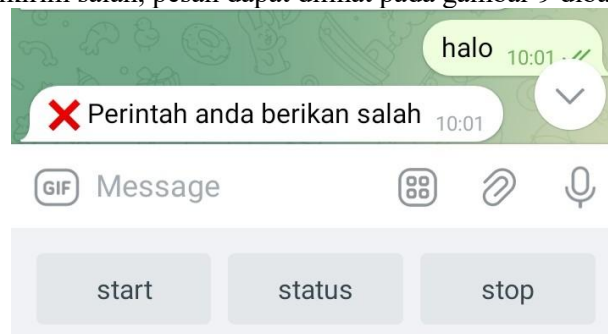
Gambar 7. Perintah Status

- **Stop** = Pengiriman otomatis akan berhenti tetapi sistem tetap *standby* untuk menerima perintah selanjutnya. Dapat dilihat pada gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Perintah Stop

- Jika pengguna mengetikkan perintah selain 3 perintah tersebut maka bot akan mengirimkan pesan bahwa perintah yang dikirim salah, pesan dapat dilihat pada gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9. Perintah Salah

Sistem antar muka yang telah dibuat memastikan pengguna dapat memberikan perintah dengan mudah kepada sistem klasifikasi. Pengguna dapat menggunakan tombol yang sudah ada ataupun menulis pesan perintah secara manual. Dengan catatan pesan perintah yang ditulis sesuai dengan tombol, Jika penulisannya bukan *start*, *status* ataupun *stop* maka perintah yang diberikan salah.

#### A. Pengujian Sistem

Sistem yang telah dibuat diuji untuk memvalidasi sistem secara menyeluruh dalam kondisi operasional yang sesungguhnya. Dalam pengujian, sistem diaktifkan selama periode 7 hari untuk mendapatkan data klasifikasi otomatis yang dikirimkan melalui Bot Telegram. Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian sistem pada tanggal 28 Juni – 4 Juli 2025. Pengujian dilakukan dengan melakukan rekapitulasi pesan klasifikasi otomatis dalam periode waktu tersebut. Durasi ini dipilih untuk menangkap variasi kondisi yang dipengaruhi oleh faktor cuaca eksternal yang berbeda dari hari ke hari (misalnya, hari yang cerah, berawan, atau hujan). Pesan Klasifikasi otomatis akan terkirim pada jam 07.00, 09.00, 11.00, 13.00, 15.00, 17.00 WIB. Variasi waktu pesan otomatis ini representasi dari rentang waktu pengelola memantau kondisi *greenhose* secara rutin setiap harinya yaitu pagi, siang dan sore. Setelah pengujian dilakukan sistem menghasilkan data yang dapat dilihat pada tabel III dibawah ini.

Tabel III  
PENGUJIAN SISTEM

Tanggal	Jam	Suhu Air (Celcius)	pH Air (pH)	Cahaya (%)	CO2 (ppm)	Nilai Kondisi	Kondisi Sistem	Aktual Pengelola	Keterangan
28-06-2025	07.00	19.5	6.2	48	984	57.50	Cukup	Cukup	Sesuai
28-06-2025	09.00	20.1	5.7	56	962	84.50	Baik	Baik	Sesuai
28-06-2025	11.00	22.0	5.8	69	946	87.50	Baik	Baik	Sesuai
28-06-2025	13.00	23.6	6.1	68	982	85.50	Baik	Baik	Sesuai
28-06-2025	15.00	22.8	6.2	61	1023	87.50	Baik	Baik	Sesuai
28-06-2025	17.00	21.8	5.8	51	1067	57.00	Cukup	Cukup	Sesuai
29-06-2025	07.00	20.2	5.2	53	1086	23.00	Buruk	Buruk	Sesuai
29-06-2025	09.00	21.6	5.5	58	1032	86.00	Baik	Baik	Sesuai
29-06-2025	11.00	22.3	5.7	65	1017	87.50	Baik	Baik	Sesuai
29-06-2025	13.00	23.7	5.9	72	997	85.00	Baik	Baik	Sesuai
29-06-2025	15.00	23.5	6.2	68	1004	85.51	Baik	Baik	Sesuai
29-06-2025	17.00	22.5	6.8	55	1059	34.19	Buruk	Cukup	Tidak Sesuai
30-06-2025	07.00	18.3	6.4	56	1123	84.50	Baik	Baik	Sesuai
30-06-2025	09.00	20.8	5.6	62	1014	87.50	Baik	Baik	Sesuai
30-06-2025	11.00	21.4	5.2	66	999	57.50	Cukup	Cukup	Sesuai
30-06-2025	13.00	22.9	5.4	74	997	86.00	Baik	Baik	Sesuai
30-06-2025	15.00	22.4	5.8	69	1014	87.50	Baik	Baik	Sesuai
30-06-2025	17.00	22.1	5.9	56	1067	84.50	Baik	Baik	Sesuai
01-07-2025	07.00	19.7	5.8	54	1106	57.50	Cukup	Cukup	Sesuai

01-07-2025	09.00	20.8	5.6	65	1067	87.50	Baik	Baik	Sesuai
01-07-2025	11.00	22.4	5.4	72	992	86.00	Baik	Baik	Sesuai
01-07-2025	13.00	23.9	5.7	75	985	84.01	Baik	Baik	Sesuai
01-07-2025	15.00	22.5	5.6	67	995	87.50	Baik	Baik	Sesuai
01-07-2025	17.00	21.4	5.7	54	998	57.50	Cukup	Cukup	Sesuai
02-07-2025	07.00	19.2	5.2	55	1027	34.19	Buruk	Cukup	Tidak Sesuai
02-07-2025	09.00	21.4	5.3	67	1037	84.50	Baik	Cukup	Tidak Sesuai
02-07-2025	11.00	23.5	5.5	75	996	85.51	Baik	Baik	Sesuai
02-07-2025	13.00	23.8	5.9	76	982	84.50	Baik	Baik	Sesuai
02-07-2025	15.00	21.6	6.2	67	1015	87.50	Baik	Baik	Sesuai
02-07-2025	17.00	20.5	6.1	54	1029	57.50	Cukup	Cukup	Sesuai
03-07-2025	07.00	19.5	6.3	56	1127	84.50	Baik	Baik	Sesuai
03-07-2025	09.00	21.4	6.3	67	1043	87.50	Baik	Baik	Sesuai
03-07-2025	11.00	22.4	6.7	74	981	84.50	Baik	Baik	Sesuai
03-07-2025	13.00	23.3	6.7	76	1018	84.50	Baik	Baik	Sesuai
03-07-2025	15.00	21.6	6.6	68	1027	86.00	Baik	Baik	Sesuai
03-07-2025	17.00	21.0	6.5	54	1071	57.50	Cukup	Cukup	Sesuai
04-07-2025	07.00	19.2	6.4	52	1031	57.50	Cukup	Cukup	Sesuai
04-07-2025	09.00	20.6	6.7	67	907	84.50	Baik	Baik	Sesuai
04-07-2025	11.00	21.7	6.8	68	854	57.50	Cukup	Cukup	Sesuai
04-07-2025	13.00	22.9	6.4	70	835	87.50	Baik	Baik	Sesuai
04-07-2025	15.00	22.4	6.5	63	809	87.50	Baik	Baik	Sesuai
04-07-2025	17.00	21.3	6.3	52	750	34.19	Buruk	Buruk	Sesuai

Data pengujian yang berhasil didapatkan berjumlah 42 data selama 7 hari. Kolom kondisi adalah hasil klasifikasi sistem, setiap data yang diambil pada periode waktu tersebut. Selain. Selain klasifikasi menggunakan sistem. Pengelola juga melakukan klasifikasi manual di periode waktu tersebut untuk membandingkan hasil klasifikasi dari sistem dan hasil klasifikasi aktual dari pengelola untuk menghitung berapa akurasi klasifikasi dari sistem.

#### B. Akurasi Klasifikasi

Pengujian sistem selama 7 hari menghasilkan 42 data uji yang dibandingkan dengan penilaian manual oleh pengelola. Dari total data tersebut, 39 prediksi sistem terbukti sesuai, sehingga menghasilkan akurasi keseluruhan sebesar **92,86%**. Perhitungan akurasi ini didasarkan pada rumus:

$$Akurasi = \frac{Total\ Prediksi\ Benar}{Total\ Seluruh\ Data} \times 100\%$$

$$Akurasi = \frac{39}{42} \times 100\% = 92,86\%$$

Untuk analisis yang lebih detail, performa model divisualisasikan dalam tabel IV *Confusion Matrix* berikut:

Tabel IV  
TABEL CONFUSION MATRIX HASIL KLASIFIKASI

	Prediksi: Baik	Prediksi: Cukup	Prediksi: Buruk
Aktual: Baik	26	0	0
Aktual: Cukup	1	11	2
Aktual: Buruk	0	0	2

Tabel di atas menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali kondisi "Baik" dan "Buruk" dengan sangat andal. Tiga kesalahan yang terjadi berpusat pada perbedaan interpretasi antara sistem dan pengelola. Dua kesalahan terjadi saat sistem menilai kondisi "Buruk" karena menganggap cahaya 55% sudah redup, sementara pengelola masih menganggapnya ideal. Satu kesalahan lainnya terjadi saat sistem menilai kondisi "Baik", karena menganggap pH 5.3 masih ideal, sedangkan pengelola sudah menganggapnya sudah dalam kategori asam. Kesimpulannya, akurasi tinggi ini membuktikan model sangat efektif. Ketidaksesuaian yang ada bukan merupakan kegagalan, melainkan berasal dari perbedaan definisi pada rentang nilai "ideal" antara aturan *Fuzzy* yang terstruktur dan penilaian subjektif manusia. Hal ini membuka peluang untuk kalibrasi sistem lebih lanjut berdasarkan masukan dari pakar.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, telah dirancang dan dibangun sistem Klasifikasi kondisi *Greenhouse* menggunakan metode *Fuzzy Mamdani*. Perancangan meliputi penentuan input (Suhu Air, pH air, Cahaya, dan CO2), Variabel output (kondisi), serta pembentukan 81 aturan yang menjadi dasar logika pengambilan keputusan. Sistem klasifikasi kondisi *greenhouse* telah diimplementasikan dalam Platform Bot Telegram. Berdasarkan hasil pengujian secara *real-time* selama 7 hari dengan total 42 data yang didapatkan, sistem ini mendapatkan akurasi yang sangat tinggi sebesar 92,86%. Hasil ini membuktikan sistem dapat diandalkan untuk monitoring kondisi *greenhouse*. Dengan adanya penelitian ini dapat berkontribusi dalam pengembangan pertanian modern dan Memberi kemudahan petani atau pengelola dalam memantau kondisi *greenhouse* secara efisien dan efektif serta menjadi landasan dan bahan acuan bagi penelitian selanjutnya yang ingin mengembangkan sistem serupa.

Berdasarkan penelitian telah dilakukan terdapat beberapa saran untuk pengembangan penelitian dan pengembangan sistem di masa depan, antara lain melakukan penelitian terkait ke *greenhouse* tanaman lain: Pada penelitian ini variabel dan parameter yang dibentuk untuk klasifikasi berdasarkan dengan variabel penting dan parameter ideal kondisi untuk tanaman melon. Disarankan untuk mengembangkan penelitian dan sistem lanjutan di *greenhouse* yang tanamannya berbeda. Penambahan variabel input: penelitian ini hanya menggunakan 4 variabel input, disarankan untuk melakukan penambahan variabel lain untuk penelitian selanjutnya untuk mendapatkan hasil klasifikasi yang lebih komprehensif. Pengembangan antarmuka: saat ini sistem hanya menggunakan Bot Telegram sebagai antarmuka, saran untuk penelitian dan pengembangan sistem selanjutnya diimplementasikan ke platform mobile, website atau desktop supaya memiliki tampilan yang lebih menarik dan informatif.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. P. K. Rianti and Y. Prastyo, "ANALISIS PENGGUNAAN SENSOR SUHU DAN KELEMBABAN UNTUK MONITORING LINGKUNGAN GREENHOUSE BERBASIS ARDUINO," *Antivirus : Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, vol. 16, no. 2, pp. 200–210, Nov. 2022, doi: 10.35457/antivirus.v16i2.2512.
- [2] A. Kurniawan, S. Sulitiadi, A. Ristono, U. Purwokerto, and K. Penulis, "Monitoring Iklim Mikro pada Greenhouse Secara Real Time Menggunakan Internet of Things (IoT) Berbasis Thingspeak Microclimate Monitoring of Greenhouse in Real Time Using Thingspeak-Based Internet of Things (IoT)," doi: 10.23960/jtep-1.v10.i4.468-480.
- [3] S. Nengse, D. Candra, and R. Novitasari, "Klasifikasi Kelayakan Kualitas Air Tanah Kota Surabaya Menggunakan Fuzzy Tipe Mamdani," vol. X, no. 2, 2025.
- [4] A. Nurkhoiriyah, A. Sumarsa, and M. Widyastiti, "IMPLEMENTASI FUZZY MAMDANI DALAM KLASIFIKASI WILAYAH DI PROVINSI JAWA BARAT BERDASARKAN PRODUK DOMESTIK REGIONAL BRUTO," vol. 3, no. 2, pp. 67–80, 2023.
- [5] N. A. Mufid, "Klasifikasi Besar Potensi Kemunculan Batu Ginjal Menggunakan Fuzzy Inference System (FIS) Metode Mamdani," *Jurnal Pendidikan Matematika*, vol. 1, no. 1, p. 15, Nov. 2023, doi: 10.47134/ppm.v1i1.110.
- [6] N. Hidayani1 and R. Muliono2, "CLASSIFICATION OF HEPATITIS DISEASE USING THE FUZZY MAMDANI METHOD," *JITE (Journal Of Informatics And Telecommunication Engineering)*. Available, vol. 8, no. 3Spc, pp. 117–126, 2025, doi: 10.31289/jite.v8i3Spc.14426.
- [7] K. Penyakit *et al.*, "Classification of Mental Disorders using Fuzzy Logic Method," *Jurnal Informatika dan Teknologi Informasi*, vol. 20, no. 3, pp. 416–427, 2023, doi: 10.31515/telematika.v20i3.11789.
- [8] N. Hidayat *et al.*, "PENGARUH PENGATURAN SUHU AIR NUTRISI HIDROPONIK PADA BUDIDAYA CABAI HABANERO (Capsicum Chinense Jacq.) EFFECT OF TEMPERATURE REGULATION OF HYDROPONIC NUTRIENT WATER ON HABANERO CHILI CULTIVATION (Capsicum chinense Jacq.)," 2022.
- [9] D. G. Devi, W. Musa, and S. Abdussamad, "Rancang Bangun Sistem Pengontrol dan Monitoring pH Air Hidroponik Menggunakan Aplikasi Blynk," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 57–62, 2024, doi: 10.37905/jjee.v6i1.20827.
- [10] Adelia Saputri, Muhammad Suwignyo Prayogo, and Faiqotun Ni'mah, "Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Laju Fotosintesis pada Tanaman Bayam (Amaranthus Sp.)," *Flora : Jurnal Kajian Ilmu Pertanian dan Perkebunan*, vol. 2, no. 2, pp. 01–13, May 2025, doi: 10.62951/flora.v2i2.312.
- [11] M. Vanaja *et al.*, "Elevated CO2 ameliorates the high temperature stress effects on physio-biochemical, growth, yield traits of maize hybrids," *Sci Rep*, vol. 14, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-53343-2.
- [12] C. Labianca, S. De Gisi, and M. Notarnicola, "Multi-criteria decision-making," *Assessing Progress Towards Sustainability: Frameworks, Tools and Case Studies*, vol. 3, no. 1, pp. 219–243, 2022, doi: 10.1016/B978-0-323-85851-9.00003-1.
- [13] P. Parjono, "Sistem Pendukung Keputusan Penerimaan Karyawan Dengan Metode Fuzzy Mamdani Berbasis WEB (Studi Kasus Pada PT. Time Excelindo Yogyakarta)," *Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, vol. 5, no. 2, pp. 58–75, 2021, doi: 10.47080/saintek.v5i2.1514.
- [14] E. Febriansyah and E. Nirmala, "Perancangan Sistem Informasi Jual Beli Properti Menggunakan Chat Bot Telegram Yang Terintegrasi Dengan Web Menggunakan Metode Prototype," *JORAPI : Journal of Research and Publication Innovation*, vol. 1, no. 2, pp. 279–284, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.portalpublikasi.id/index.php/JORAPI/index>
- [15] R. Parlika, H. Khariono, H. A. Kusuma, and A. Setyawan, "JIP (Jurnal Informatika Polinema) PEMANFAATAN BOT TELEGRAM SEBAGAI E-LEARNING UJIAN BERBASIS FILE".
- [16] S. K. Dirjen, P. Riset, D. Pengembangan, R. Dikti, and I. Firman Maulana, "Terakreditasi SINTA Peringkat 2 Penerapan Firebase Realtime Database pada Aplikasi E-Tilang Smartphone berbasis Mobile Android," *masa berlaku mulai*, vol. 1, no. 3, pp. 854–863, 2017.
- [17] A. Asvin Mahersatillah Suradi *et al.*, "Pemanfaatan Firebase Realtime Database Dalam Perancangan Aplikasi Penilaian Siswa SMK Negeri 2 Pangkep Secara Realtime".
- [18] S. Rahman *et al.*, *Python : Dasar Dan Pemrograman Berorientasi Objek*. 2023.
- [19] A. Burhanuddin, "Analisis Komparatif Inferensi Fuzzy Tsukamoto, Mamdani dan Sugeno Terhadap Produktivitas Padi di Indonesia," *LEDGER: Journal Informatic and Information Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 48–57, 2023.
- [20] F. A. Sihombing, "Kajian Fuzzy Metode Mamdani dan Fuzzy Metode Sugeno serta Implementasinya," *Copyright @ Firginia Astuti Sihombing INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, vol. 4, pp. 4940–4955.
- [21] A. Amaliatul Khairo and S. Sitepu, "Perbandingan Metode Defuzzifikasi Dalam Sistem Inferensi Fuzzy Metode Mamdani Untuk Penentuan Kerentanan Rawan Banjir (Studi Kasus: Kota Medan)," vol. 7, no. 2, pp. 175–184, 2024.
- [22] A. D. A. N. Pemrograman, "Pseudocode," *Definitions*, 2020, doi: 10.32388/tf77dy.