

Kendali Otomatis Kelembapan, pH, dan Nutrisi NPK Bunga Sedap Malam Menggunakan *Fuzzy Mamdani*

Ahmad Masdar Helmi Solihin^{1*)}, Yuliarman Saragih², Indri Purwita Sarry³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jalan HS.Ronggo Waluyo Karawang, Indonesia

*Penulis Korespondensi, e-mail: 2210631160078@student.unsika.ac.id

Received: 12/06/2026

Revised: 15/07/2026

Accepted: 15/07/2026

ABSTRAK

Budidaya bunga sedap malam memerlukan pengelolaan kelembapan tanah, derajat keasaman tanah, dan ketersediaan unsur hara yang tepat untuk mendukung pertumbuhan dan kualitas bunga. Pengendalian parameter tersebut secara manual sering kali kurang efektif karena dipengaruhi oleh perubahan kondisi lingkungan dan keterbatasan pemantauan secara berkala. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan metode *Fuzzy Logic Mamdani* pada sistem kendali otomatis untuk mengatur kelembapan tanah, derajat keasaman tanah, dan nutrisi nitrogen, fosfor, serta kalium pada budidaya bunga sedap malam. Sistem dirancang dengan memanfaatkan sensor kelembapan tanah, sensor pH tanah, dan sensor nutrisi NPK yang terintegrasi dengan mikrokontroler untuk mengendalikan pompa irigasi serta katup nutrisi secara otomatis. Metode *Fuzzy Logic Mamdani* digunakan untuk menghasilkan keputusan kendali berdasarkan kondisi aktual lahan. Pada hasil pengujian menunjukkan sistem mampu merespons perubahan kondisi tanah secara adaptif dan menghasilkan keputusan pengendalian yang sesuai dengan kebutuhan tanaman. Implementasi sistem ini berpotensi mendukung pengelolaan air dan nutrisi yang lebih terkontrol karena keputusan pemberian dilakukan secara otomatis berdasarkan hasil *inferensi Fuzzy Logic Mamdani*.

Kata Kunci: Bunga sedap malam, *Fuzzy Logic Mamdani*, Kelembapan tanah, Nutrisi nitrogen fosfor kalium

ABSTRACT

Cultivating tuberose requires proper management of soil moisture, acidity, and nutrient availability to support flower growth and quality. Manual control of these parameters is often ineffective due to changes in environmental conditions and limited regular monitoring. This study aims to implement the Mamdani Fuzzy Logic method in an automated control system to regulate soil moisture, acidity, and nitrogen, phosphorus, and potassium nutrients in tuberose cultivation. The system is designed using a soil moisture sensor, a soil pH sensor, and an NPK nutrient sensor integrated with a microcontroller to automatically control irrigation pumps and nutrient valves. The Mamdani Fuzzy Logic method is used to generate control decisions based on actual land conditions. Test results show that the system is able to respond adaptively to changes in soil conditions and generate control decisions that are appropriate to plant needs. Implementation of this system has the potential to support more controlled water and nutrient management because application decisions are made automatically based on the results of the Mamdani Fuzzy Logic inference.

Keywords: Tuberose, Fuzzy Logic Mamdani, Soil moisture, Nitrogen, phosphorus, potassium nutrients

1. PENDAHULUAN

Pendahuluan Perkembangan teknologi pada sektor pertanian mendorong penerapan sistem cerdas untuk meningkatkan produktivitas tanaman sekaligus mengoptimalkan penggunaan sumber daya seperti air dan pupuk secara berkelanjutan [1], [2]. Salah satu faktor utama yang menentukan keberhasilan budidaya tanaman adalah kondisi media tanam yang meliputi kelembapan tanah, derajat keasaman (pH), dan

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



kandungan unsur hara makro berupa nitrogen (N), fosfor (P), serta kalium (K) [3]. Ketiga parameter tersebut berperan penting dalam proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman karena memengaruhi kemampuan akar dalam menyerap air dan nutrisi yang dibutuhkan tanaman [4]. Ketidaksesuaian nilai kelembapan, pH, maupun kandungan nutrisi dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat, menurunkan kualitas hasil budidaya, dan meningkatkan penggunaan air serta pupuk secara tidak efisien [5]. Bunga sedap malam merupakan salah satu tanaman hias bernilai ekonomi tinggi yang memerlukan kondisi media tanam yang sesuai agar mampu menghasilkan bunga dengan kualitas dan produktivitas yang optimal [6].

Perkembangan sensor digital dan mikrokontroler memungkinkan proses pemantauan kondisi tanah dilakukan secara *real-time* sehingga keputusan pengendalian dapat dilakukan secara otomatis berdasarkan kondisi aktual lahan [7]. Pendekatan ini menjadi bagian penting dalam konsep pertanian presisi karena mampu meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan mengurangi ketergantungan terhadap pengamatan manual [8]. Salah satu metode kecerdasan buatan yang banyak digunakan pada sistem kendali pertanian adalah *Fuzzy Logic Mamdani* karena mampu menangani ketidakpastian data lingkungan dan menerjemahkan data numerik menjadi keputusan berbasis aturan linguistik [9]. Metode tersebut juga mudah diimplementasikan pada sistem tertanam, serta mampu menghasilkan respons yang adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan [8].

Penerapan *Fuzzy Logic Mamdani* pada bidang pertanian telah menunjukkan kinerja yang baik dalam pengendalian penyiraman otomatis, pemantauan kelembapan tanah, pengaturan pH, serta pengelolaan nutrisi tanaman [10]. Sistem berbasis *fuzzy* menghasilkan keputusan yang lebih fleksibel dibandingkan metode berbasis ambang batas tetap karena mempertimbangkan berbagai kondisi masukan secara bersamaan [10]. Selain itu, metode ini juga telah diterapkan pada sistem identifikasi kesuburan tanah berdasarkan kandungan unsur hara NPK dan menunjukkan kemampuan yang baik dalam proses klasifikasi kondisi tanah [11]. Penggunaan sensor kelembapan tanah, sensor pH, dan sensor NPK yang terintegrasi dengan sistem *fuzzy* memberikan peluang untuk membangun sistem kendali yang lebih adaptif dan akurat dalam mendukung budidaya tanaman [11].

Meskipun berbagai penelitian telah berhasil menerapkan *Fuzzy Logic Mamdani* pada sistem pertanian cerdas, sebagian besar penelitian masih berfokus pada satu atau dua parameter pengendalian, seperti kelembapan tanah dan pH atau pH dan nutrisi [12]. Integrasi kelembapan tanah, pH tanah, dan kandungan NPK dalam satu sistem kendali otomatis masih relatif terbatas, khususnya pada budidaya bunga sedap malam [13]. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan implementasi *Fuzzy Logic Mamdani* untuk mengendalikan kelembapan tanah, pH tanah, dan nutrisi NPK secara simultan menggunakan sensor kelembapan tanah, sensor pH tanah, dan sensor NPK sebagai masukan sistem [11]. Kebaruan penelitian terletak pada integrasi ketiga parameter tersebut dalam satu sistem kendali otomatis yang digunakan untuk menghasilkan keputusan pengendalian pompa irigasi dan katup nutrisi sesuai kondisi aktual media tanam [14]. Tujuan penelitian ini adalah merancang serta mengimplementasikan sistem kendali otomatis *Fuzzy Logic Mamdani* yang mampu mengatur kelembapan tanah, pH tanah, dan nutrisi NPK pada budidaya bunga sedap malam serta mengevaluasi kinerja sistem dalam menghasilkan keputusan pengendalian yang adaptif berdasarkan kondisi tanah secara *real-time* [1], [2].

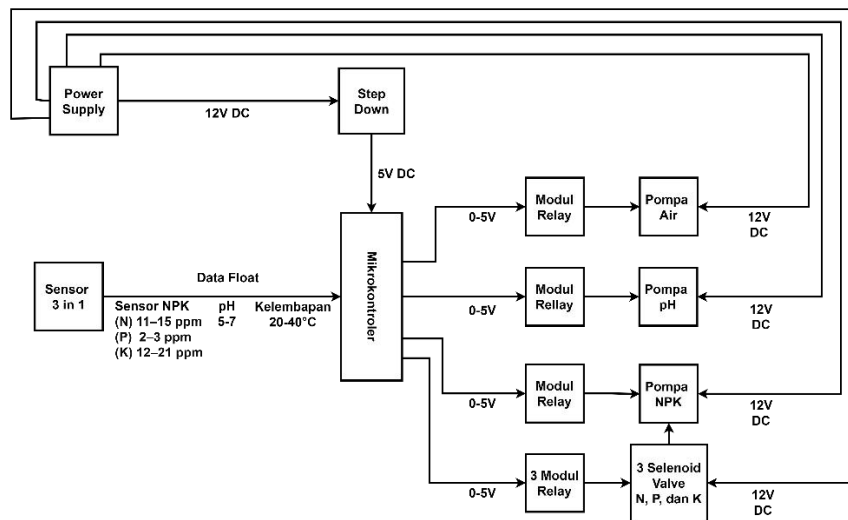
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode rekayasa teknologi untuk mengembangkan sistem kendali otomatis kelembapan tanah, pH tanah, dan nutrisi NPK pada budidaya bunga sedap malam berbasis *Fuzzy Logic Mamdani*. Sistem dirancang dengan memanfaatkan sensor kelembapan tanah, sensor pH tanah, dan sensor NPK sebagai masukan untuk menghasilkan keputusan pengendalian pompa irigasi serta katup nutrisi secara otomatis. Proses penelitian diimplementasikan secara sistematis dari tahap analisis sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi metode *Fuzzy Logic Mamdani*, integrasi



sensor dan aktuator, hingga pengujian serta evaluasi kinerja sistem dalam merespons perubahan kondisi media tanam secara *real-time*.

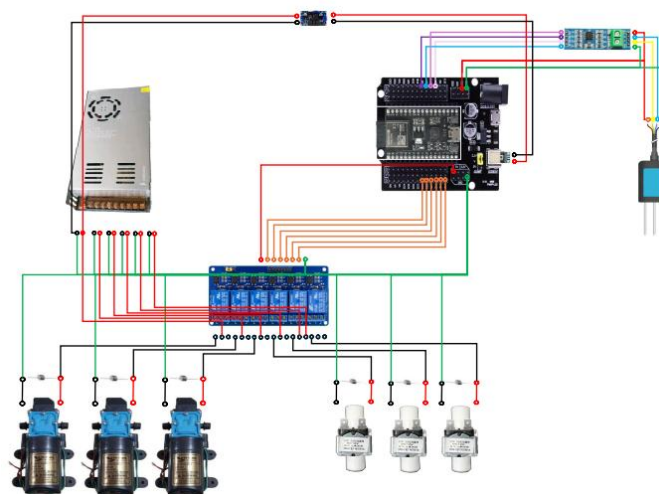
2.1 Perancangan Sistem



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Pada gambar 1 menjelaskan sistem penyiraman dan pemberian nutrisi otomatis terdiri atas tiga bagian utama, yaitu *Input*, proses, dan *Output*. Pada bagian *Input*, sensor digunakan untuk mengukur kelembapan tanah, pH tanah, serta kandungan unsur hara nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) sebagai parameter kondisi media tanam. Data hasil pengukuran dikirimkan ke mikrokontroler untuk diproses menggunakan metode *Fuzzy Logic Mamdani*. Selain itu, sistem memperoleh sumber daya dari power supply yang didukung modul step-down untuk menyesuaikan kebutuhan tegangan perangkat. Pada bagian *Output*, hasil pengolahan data digunakan untuk mengendalikan pompa air, pompa pH, pompa NPK, serta tiga katup solenoid yang mengatur distribusi unsur nitrogen, fosfor, dan kalium melalui modul relay. Dengan konfigurasi tersebut, sistem mampu melakukan pengendalian kelembapan tanah, pH tanah, dan nutrisi NPK secara otomatis sesuai kondisi aktual media tanam.

2.1 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)



Gambar 2. Wiring Komponen

Perangkat keras dalam sistem ini terdiri dari ESP32 yang bertindak sebagai pusat mikrokontroler, berfungsi untuk memproses informasi dari sensor dan menerapkan algoritma *Fuzzy Logic Mamdani* secara langsung. Pengukuran kondisi media tanam dilakukan dengan menggunakan satu sensor terintegrasi yang memanfaatkan RS485 NPK Soil Sensor, yang dapat mendeteksi kelembapan tanah, pH tanah, serta tingkat unsur hara nitrogen, fosfor, dan kalium secara bersamaan melalui antarmuka RS485 dengan komunikasi Modbus RTU. Jalur komunikasi antara sensor dan ESP32 menggunakan modul konverter TTL ke RS485. Sensor yang digunakan memiliki batasan akurasi yang dipengaruhi oleh kelembapan dan konduktivitas tanah. Oleh karena itu, sebelum proses pengujian, dilakukan kalibrasi dengan menempatkan sensor di dalam media tanam dan membandingkan hasil bacaan dengan rentang nilai referensi unsur hara bunga sedap malam sampai bacaan dari sensor menunjukkan stabilitas dan konsistensi. Semua aktuator yang terdiri dari tiga pompa dan tiga katup solenoid dioperasikan melalui modul relay 8 saluran berdasarkan keputusan *inferensi fuzzy* yang dihasilkan oleh sistem. Seluruh komponen mendapatkan pasokan listrik dari switching power supply 12V DC.

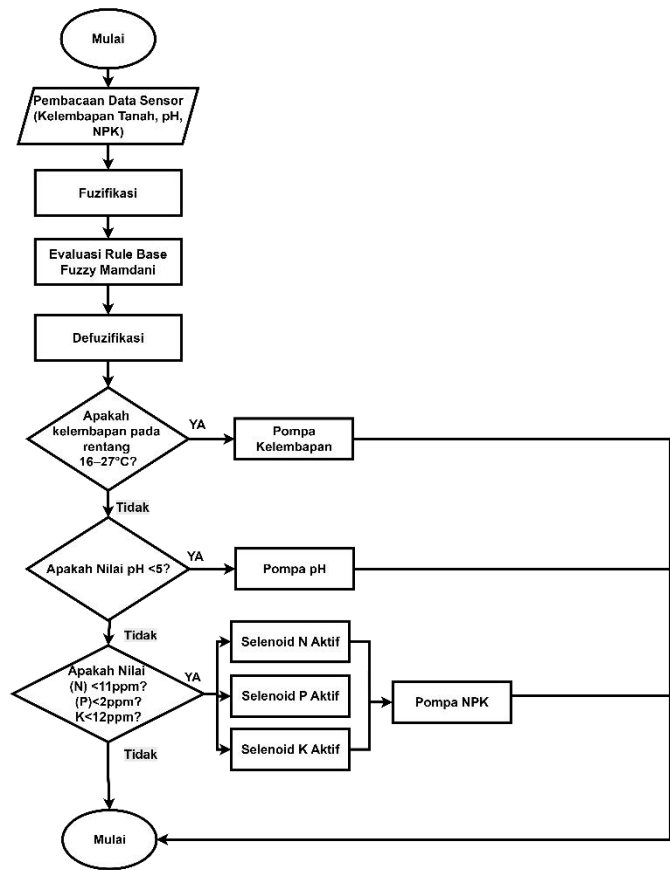
TABEL I : Spesifikasi Komponen

No	Komponen	Tipe/Model	Spesifikasi	Fungsi
1	Mikrokontroler	ESP32	Dual-core 240 MHz <i>WiFi & Bluetooth</i>	Memproses <i>inferensi Fuzzy Logic Mamdani</i> dan mengendalikan aktuator
2	Power Supply	Switching Power Supply	Input AC 220V Output DC 12V	Menyuplai daya ke seluruh komponen sistem
3	Sensor	RS485 NPK Soil Sensor	Output RS485 Modbus RTU	Mengukur kelembapan tanah, pH tanah, serta kandungan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) secara terintegrasi
4	Konverter TTL	RS485 Module	MAX485	Menghubungkan komunikasi sensor dengan ESP32
5	Modul Relay	8 Channel Relay Module	Input 5V Output 10A/250VAC	Mengendalikan pompa dan katup solenoid berdasarkan <i>Output inferensi fuzzy</i>
6	Pompa	Pompa Peristaltik DC	12V DC	Mengalirkan air irigasi dan larutan koreksi pH ke media tanam
7	Katup Selenoid	Solenoid Valve	12V DC	Mengatur distribusi larutan nutrisi N, P, dan K secara terpisah

2.1 Perancangan *Fuzzy Logic Mamdani*

Pada sistem yang ada proses pembacaan data kelembapan tanah, pH tanah, serta kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K). Data tersebut kemudian diproses melalui tahapan *fuzzifikasi*, evaluasi aturan (*rule base*), dan *defuzzifikasi* menggunakan metode *Fuzzy Logic Mamdani*. Hasil *inferensi* digunakan untuk mengendalikan pompa air berdasarkan kondisi kelembapan tanah, pompa pH berdasarkan kondisi keasaman tanah, serta pompa dan katup solenoid nutrisi berdasarkan kandungan unsur hara NPK. Proses ini berlangsung secara berulang sehingga kondisi media tanam dapat dipantau dan dikendalikan secara otomatis.





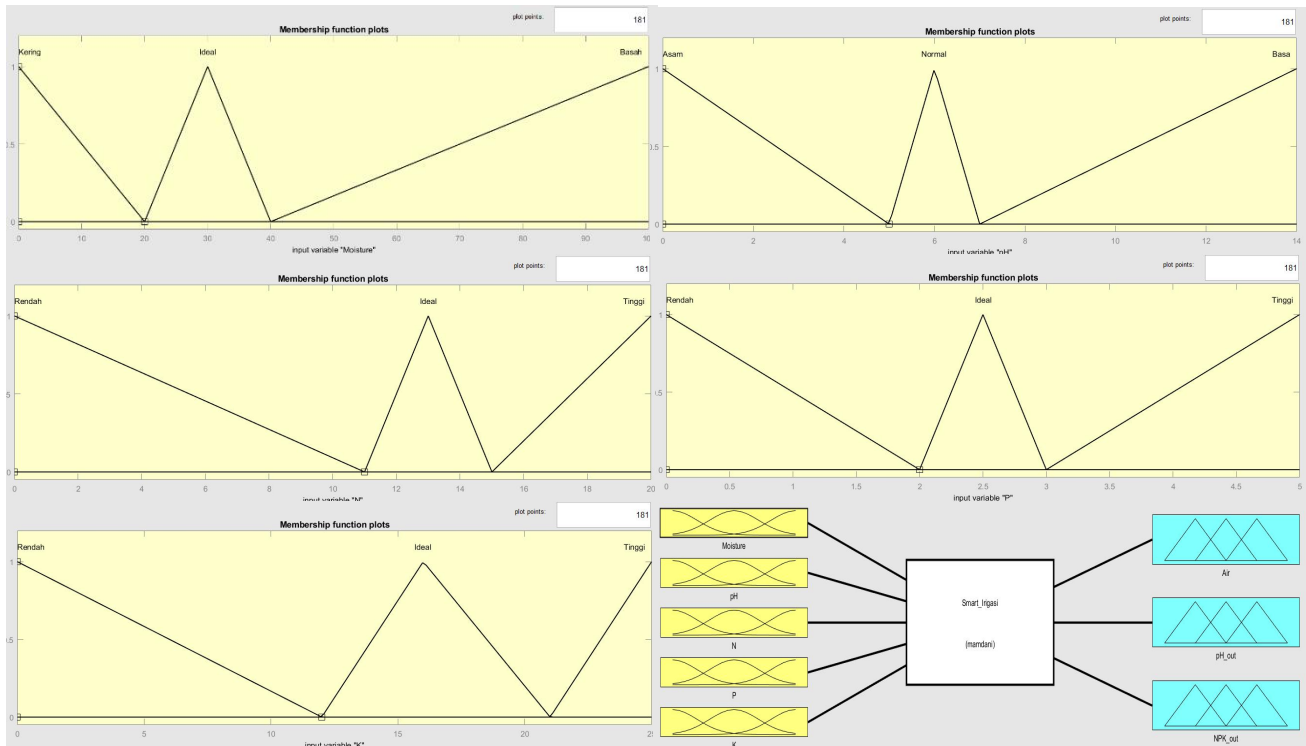
Gambar 3. Diagram Alir Sistem

Tabel II menunjukkan variabel *Input* dan *Output* yang digunakan pada sistem *Fuzzy Logic Mamdani*. Variabel *Input* terdiri atas kelembapan tanah, pH tanah, serta kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K). Sementara itu, variabel *Output* berupa kendali pompa air, pompa pH, dan pompa nutrisi NPK yang digunakan untuk mengatur kondisi media tanam secara otomatis sesuai hasil *inferensi fuzzy*.

TABEL II : Variabel *Input* dan *Output*

Variabel	Himpunan Fuzzy	Rentang
Kelembapan	Kering, Ideal, Basah	0–100%
pH	Asam, Normal, Basa	0–14
Nitrogen	Rendah, Ideal, Tinggi	0–20 ppm
Fosfor	Rendah, Ideal, Tinggi	0–5 ppm
Kalium	Rendah, Ideal, Tinggi	0–25 ppm
Air	OFF, ON	0–1
pHout	OFF, ON	0–1
NPKout	OFF, ON	0–1





Gambar 4. Input, Output, dan Membership function Fuzzy Logic

Gambar 4 menunjukkan *membership function* yang digunakan pada sistem *Fuzzy Logic Mamdani* untuk mengendalikan kelembapan tanah, pH tanah, dan nutrisi NPK. Variabel *Input* terdiri atas kelembapan tanah, pH tanah, Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K), yang masing-masing dibagi ke dalam tiga himpunan *fuzzy*. Kelembapan tanah memiliki himpunan Kering, Ideal, dan Basah, sedangkan pH tanah terdiri atas Asam, Normal, dan Basa. Untuk parameter nutrisi, Nitrogen, Fosfor, dan Kalium diklasifikasikan ke dalam kategori Rendah, Ideal, dan Tinggi. Sementara itu, variabel *Output* terdiri atas kendali pompa air, pompa pH, dan pompa nutrisi NPK yang direpresentasikan oleh dua himpunan *fuzzy*, yaitu *OFF* dan *ON*. Fungsi keanggotaan segitiga (*triangular membership function*) dipilih karena mudah diterapkan, efisien secara komputasi, dan mampu merepresentasikan perubahan kondisi variabel secara bertahap pada sistem *Fuzzy Logic Mamdani*.

Rule base pada sistem *Fuzzy Logic Mamdani* yang ditunjukkan pada Tabel III disusun berdasarkan hubungan antara kondisi media tanam dan tindakan pengendalian yang diperlukan. Pada parameter kelembapan tanah, pompa air akan aktif ketika kondisi tanah berada pada kategori kering dan akan nonaktif ketika kondisi tanah berada pada kategori ideal atau basah. Untuk parameter pH tanah, pompa pengatur pH akan aktif ketika tanah berada pada kondisi asam atau basa, sedangkan pada kondisi normal pompa akan nonaktif. Sementara itu, pengendalian nutrisi dilakukan berdasarkan unsur Nitrogen, Fosfor, dan Kalium. Pompa nutrisi NPK akan aktif apabila salah satu unsur hara berada pada kategori rendah, dan akan nonaktif apabila seluruh unsur hara berada pada kondisi ideal. Aturan-aturan tersebut digunakan sebagai dasar proses *inferensi fuzzy* dalam menghasilkan keputusan pengendalian irigasi, pH, dan nutrisi secara otomatis sesuai kondisi aktual media tanam.

TABEL III : *Rule base Fuzzy Logic*

Rule base Fuzzy Logic Mamdani
IF Moisture Kering THEN Air ON
IF Moisture Ideal THEN Air OFF
IF Moisture Basah THEN Air OFF
IF pH Asam THEN pH ON
IF pH Normal THEN pH OFF
IF pH Basa THEN pH ON
IF N Rendah OR P Rendah OR K Rendah THEN NPK ON
IF N Ideal AND P Ideal AND K Ideal THEN NPK OFF

2.1 Perancangan *Fuzzy Logic Mamdani*

Proses pengambilan keputusan pada penelitian ini menggunakan metode *Fuzzy Logic Mamdani* yang terdiri atas tahap *fuzzifikasi*, *inferensi*, dan *defuzzifikasi*. Tahap *fuzzifikasi* digunakan untuk mengubah data masukan berupa kelembapan tanah, pH tanah, serta kandungan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) ke dalam himpunan *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan segitiga. Selanjutnya, proses *inferensi* dilakukan berdasarkan aturan *IF-THEN* dengan operator minimum (AND) dan maksimum (OR). Hasil *inferensi* kemudian diubah menjadi nilai keluaran tegas menggunakan metode *centroid* yang digunakan sebagai dasar pengendalian aktuator secara otomatis.

1. Fuzzifikasi

Tahap *fuzzifikasi* digunakan untuk mengubah data masukan yang bersifat tegas (*crisp*) menjadi derajat keanggotaan pada himpunan *fuzzy*. Pada penelitian ini digunakan fungsi keanggotaan segitiga (*triangular membership function*) yang dinyatakan sebagai berikut.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \\ 0, & x > c \end{cases} \quad (1)$$

2. Operasi AND (Minimum)

Operasi AND digunakan untuk menentukan nilai *firing strength* dari suatu aturan *fuzzy* yang memiliki lebih dari satu kondisi. Nilai *firing strength* diperoleh menggunakan operator minimum sebagai berikut.

$$\alpha = \min (\mu_1(x), \mu_2(x), \dots, \mu_n(x)) \quad (2)$$

3. Operasi OR (Maksimum)

Operasi OR digunakan untuk menentukan nilai *firing strength* pada aturan yang menggunakan hubungan alternatif antar kondisi. Nilai yang digunakan adalah derajat keanggotaan terbesar yang diperoleh dengan operator maksimum sebagai berikut.

$$\alpha = \max (\mu_1(x), \mu_2(x), \dots, \mu_n(x)) \quad (3)$$

4. Defuzzifikasi Metode *Centroid*

Tahap *defuzzifikasi* bertujuan mengubah hasil *inferensi fuzzy* menjadi nilai tegas (*crisp output*) yang digunakan sebagai keputusan kendali. Pada penelitian ini digunakan metode *centroid* yang dirumuskan sebagai berikut.

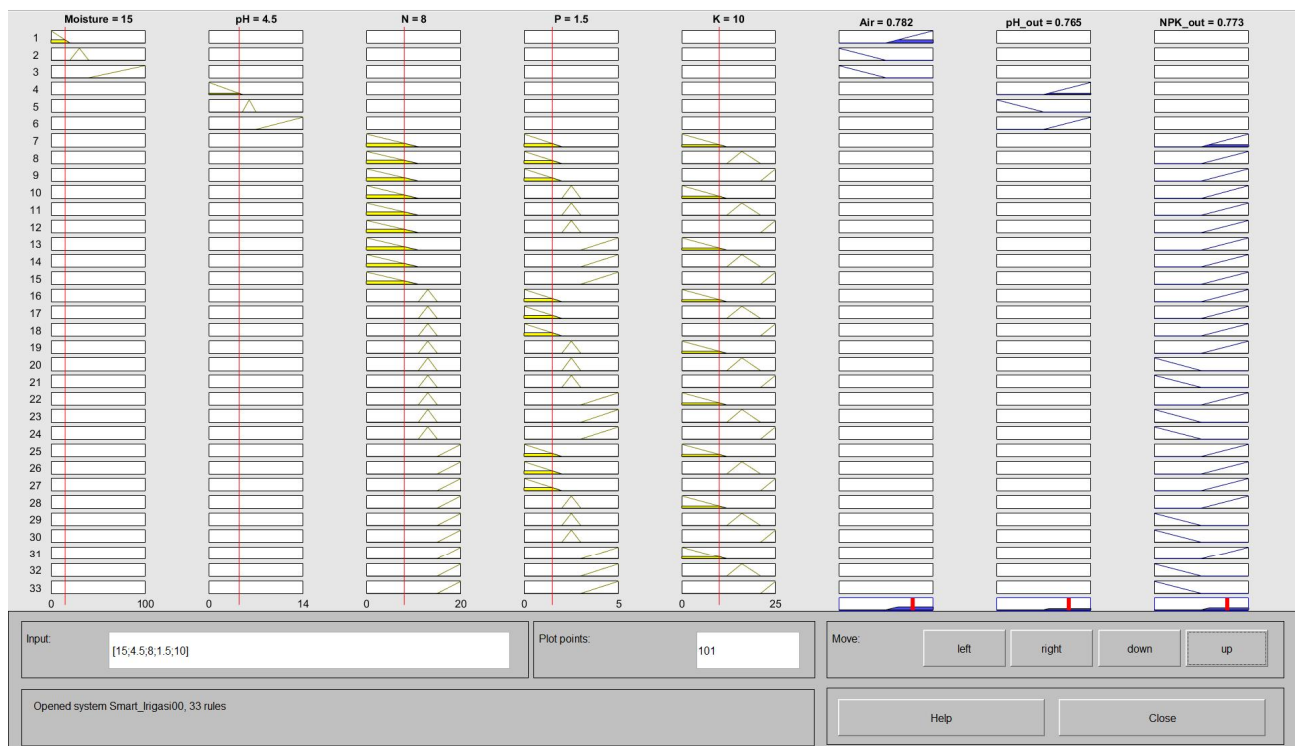


$$z^* = \frac{\int z \mu(z) dz}{\int \mu(z) dz} \quad (4)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Inferensi Fuzzy Logic Mamdani

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode *Fuzzy Logic Mamdani* dengan masukan berupa kelembapan tanah, pH tanah, serta kandungan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Pada pengujian ini digunakan nilai masukan kelembapan sebesar 15%, pH sebesar 4,5, nitrogen sebesar 8 ppm, fosfor sebesar 1,5 ppm, dan kalium sebesar 10 ppm. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi tanah berada pada kategori kering, asam, dan kekurangan unsur hara. Hasil *inferensi* menggunakan *Rule viewer* menghasilkan nilai keluaran Air sebesar 0,782, pH_out sebesar 0,765, dan NPK_out sebesar 0,773. Nilai keluaran yang mendekati 1 menunjukkan bahwa pompa air, pompa pengatur pH, dan pompa nutrisi diaktifkan oleh sistem. Hasil ini menunjukkan bahwa metode *Fuzzy Logic Mamdani* mampu menghasilkan keputusan kendali yang sesuai dengan kondisi aktual tanah sehingga kebutuhan air, pH, dan nutrisi tanaman dapat dipenuhi secara otomatis.



Gambar 5. Rule viewer

3.2 Pengujian Kendali Kelembapan Tanah

TABEL IV : Pengujian Kelembapan Tanah

No	Kelembapan (%)	Kategori	Output Air	Status Pompa Air
1	15	Kering	0,782	ON
2	30	Ideal	0,218	OFF
3	60	Basah	0,167	OFF

Berdasarkan Tabel IV, sistem berhasil mengendalikan pompa air sesuai kondisi kelembapan tanah yang terukur. Pada kelembapan 15%, tanah berada pada kategori kering sehingga sistem menghasilkan



keluaran sebesar 0,782 dan pompa air aktif untuk meningkatkan kadar air pada media tanam. Ketika kelembapan berada pada kondisi ideal sebesar 30%, sistem menghasilkan keluaran sebesar 0,218 sehingga pompa air tidak diaktifkan. Sementara itu, pada kelembapan 60% yang termasuk kategori basah, keluaran sistem sebesar 0,167 dan pompa tetap tidak aktif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kelembapan tanah pada rentang yang diinginkan secara otomatis.

3.3 Pengujian Kendali pH Tanah

TABEL V : Pengujian pH Tanah

No	pH Tanah	Kategori	Output pH	Status Pompa pH
1	4,5	Asam	0,765	ON
2	6,0	Normal	0,167	OFF
3	8,0	Basa	0,781	ON

Berdasarkan Tabel V, sistem mampu melakukan pengendalian pH sesuai kondisi tanah yang terukur. Pada pH 4,5 yang termasuk kategori asam, sistem menghasilkan keluaran sebesar 0,765 sehingga pompa pH aktif untuk melakukan penyesuaian pH tanah. Pada kondisi normal dengan pH 6,0, keluaran sistem sebesar 0,167 sehingga pompa pH tidak diaktifkan karena kondisi tanah telah berada pada rentang yang diinginkan. Ketika pH meningkat menjadi 8,0 dan masuk kategori basa, sistem kembali mengaktifkan pompa pH dengan keluaran sebesar 0,781. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan kondisi pH tanah agar tetap mendekati rentang optimal bagi pertumbuhan tanaman.

3.4 Pengujian Kendali Nutrisi NPK

TABEL VI : Pengujian Nutrisi NPK

No	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Kategori	Output NPK	Status Pompa NPK
1	8	1,5	10	Rendah	0,773	ON
2	13	2,5	16	Ideal	0,167	OFF
3	17	4,0	22	Tinggi	0,167	OFF

Berdasarkan Tabel VI, sistem mampu menentukan kebutuhan nutrisi berdasarkan kandungan unsur hara yang terukur pada tanah. Ketika nilai nitrogen, fosfor, dan kalium berada di bawah rentang ideal, sistem menghasilkan keluaran sebesar 0,773 sehingga pompa nutrisi dan katup solenoid diaktifkan untuk menambahkan unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Pada kondisi ideal, yaitu N sebesar 13 ppm, P sebesar 2,5 ppm, dan K sebesar 16 ppm, keluaran sistem sebesar 0,167 sehingga pompa nutrisi tidak diaktifkan. Hal yang sama terjadi pada kondisi tinggi, di mana seluruh parameter berada di atas rentang ideal dan sistem mempertahankan aktuatur dalam kondisi tidak aktif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode *Fuzzy Logic Mamdani* mampu memberikan keputusan pemberian nutrisi secara otomatis berdasarkan kondisi unsur hara tanah yang terukur.

Proses *fuzzifikasi* dilakukan dengan menggunakan fungsi keanggotaan segitiga yang terdapat dalam persamaan (1) untuk mengonversi setiap nilai *Input* menjadi derajat keanggotaan *fuzzy*. Untuk parameter kelembapan sebesar 15%, derajat keanggotaan untuk kategori Kering dihitung dengan metode berikut:

$$\mu(Kering) = \frac{(40 - 15)}{(40 - 0)} = 0,625$$

Sesuai dengan ketentuan JIKA Kelembapan Kering MAKA Air MENYALA, daya pemanasan diperoleh dengan memanfaatkan operasi minimum pada persamaan (2) yang memiliki nilai 0,625. Dengan pH 4,5, tingkat keanggotaan dalam kategori Asam dihitung seperti di bawah ini:

$$\mu(Asam) = \frac{(7 - 4,5)}{(7 - 0)} = 0,357$$



Sesuai dengan ketentuan IF pH Asam THEN pH ON, nilai kekuatan tembak yang didapat adalah 0,357. Mengenai parameter nutrisi, kadar nitrogen 8 ppm, fosfor 1,5 ppm, dan kalium 10 ppm masing-masing tergolong dalam kategori Rendah. Karena ketentuan NPK menggunakan operator OR, kekuatan tembak diperoleh dengan menerapkan operasi maksimum pada rumus (3) seperti berikut:

$$a = \max(\mu(N_{rendah}), \mu(P_{rendah}), \mu(K_{rendah})) = \max(0,600, 0,500, 0,600) = 0,600$$

Seluruh nilai kekuatan tembakan kemudian disesuaikan dari bentuk *fuzzy* ke bentuk yang lebih jelas dengan memanfaatkan metode *centroid* pada persamaan (4), sehingga menghasilkan nilai keluaran yang konkret yaitu Air sebesar 0,782, pH_out sebesar 0,765, dan NPK_out sebesar 0,773 yang menunjukkan bahwa semua aktuatur diaktifkan sesuai dengan kondisi tanah yang telah diukur.

TABEL VII : Respons Inferensi terhadap Variasi Input Bertahap

Skenario	Kelembapan (%)	pH	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Pompa Air	Pompa pH	Pompa NPK
1	10	4,5	8	1,5	10	0,833	0,765	0,773
2	20	5,5	10	2,0	13	0,625	0,357	0,600
3	30	6,0	13	2,5	16	0,218	0,167	0,167
4	4,5	6,5	15	3,0	18	0,167	0,167	0,167
5	60	7,5	17	4,0	22	0,167	0,625	0,167

Pengujian tambahan dilaksanakan dengan memberikan variasi nilai masukan secara bertahap untuk menganalisis konsistensi respons *inferensi Fuzzy Logic Mamdani* terhadap perubahan kondisi tanah. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa sistem menghasilkan keputusan kontrol yang konsisten dan proporsional, tidak hanya dalam situasi ekstrem. Hasil yang terdapat pada Tabel 6 menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya nilai masukan menuju kondisi yang ideal, nilai keluaran *fuzzy* menurun secara bertahap dan aktuatur beralih dari posisi ON ke OFF dengan konsisten.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan studi yang telah dilakukan, penggunaan metode Fuzzy Logic Mamdani berhasil diterapkan dalam sistem kontrol otomatis untuk mengatur kelembapan tanah, pH tanah, serta kadar nutrisi nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dalam budidaya bunga sedap malam. Sistem yang dirancang dapat memantau kondisi tanah secara real-time serta memberikan keputusan pengendalian otomatis melalui pompa irigasi, pompa untuk pH, dan pompa dan katup untuk nutrisi NPK sesuai dengan situasi aktual media tanam. Hasil pengujian dalam kondisi diskret menunjukkan bahwa sistem ini dapat menghidupkan pompa air pada kelembapan 15% (kategori kering) dengan nilai keluaran 0,782, mengatur pompa pH saat kondisi asam (pH 4,5) dan basa (pH 8,0) dengan keluaran masing-masing 0,765 dan 0,781, serta menghidupkan pompa nutrisi NPK ketika kadar unsur hara berada di bawah rentang ideal dengan keluaran 0,773. Pengujian skenario transisi input secara bertahap yang terlihat pada Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai keluaran fuzzy secara konsisten menurun seiring dengan meningkatnya nilai input menuju kondisi optimal, yang mengindikasikan adanya kontinuitas dan konsistensi dalam logika inferensi sistem.

Penerapan metode Fuzzy Logic Mamdani dalam kajian ini berpotensi untuk mendukung penggunaan air dan nutrisi yang lebih efisien berdasarkan kondisi tanah yang sebenarnya. Pengujian respons dinamis terhadap waktu disarankan sebagai langkah pengembangan selanjutnya untuk mengevaluasi kinerja sistem secara langsung di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. O. Adewumi, "Smart Irrigation Control Using IoT-Enabled Fuzzy Logic and ANFIS for Sustainable Water Management," *Res. Sq.*, pp. 0–7, 2025, doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7399502/v1> License:
- [2] M. Walid, M. Ashar, and M. H. Wahyudi, "Smart Drip Irrigation System Based on IoT Using Fuzzy Logic," vol. 8, no. 1, pp. 53–69, 2024.



- [3] Zulkham Umar Rosyidin, Dityo Kreshna Argeshwara, Aji Prasetya Wibawa, Anik Nur Handayani, and Mokh. Sholihul Hadi, "Pemodelan Sistem Deteksi Kadar Unsur Hara Tanah Berdasarkan Nilai NPK Menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani*," *J. Sains dan Inform.*, vol. 9, no. November 2022, pp. 77–88, 2023, doi: 10.34128/jsi.v9i1.523.
- [4] A. Solutions, M. Kumar, D. Jain, Z. Saifi, and K. S. Daya, "Predicting Soil Macronutrient Levels: A Machine Learning Approach Models Trained on pH , Conductivity , and Average Power of," pp. 1–12.
- [5] U. Hasyim and T. Jombang, "SISTEM PENYIRAMAN OTOMATIS BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) DENGAN SOIL MOISTURE PADA PROSES PEMBIBITAN CABAI MERAH KERITING MENGGUNAKAN METODE *FUZZY MAMDANI* Muhammad Fuad Faridh Habibie," vol. 3, no. 4, pp. 671–680, 2025.
- [6] R. Firgiyanto and N. K. Sa'adah, "Aplikasi Komposisi Media Tanam dan Dosis Pupuk NPK terhadap Pertumbuhan Tanaman Sedap Malam (*Polianthes tuberosa* L. CV. Roro Anteng)," *J. Ilm. Inov.*, vol. 21, no. 3, pp. 157–164, 2021, doi: 10.25047/jii.v21i3.2789.
- [7] S. Nuranissa and D. Widhiantoro, "Perancangan Sistem Pemantauan Tanaman Lahan Terbuka Dengan WSN Berbasis Modul NRF24L01," vol. 3, no. 1, pp. 203–209.
- [8] S. Yoon, "AI-Based Digital Therapeutics for Adolescent Mental Health Management and Disaster Response," 2024.
- [9] S. P. Lakshmi, C. Gopi, and P. A. Jose, "Sciences Mamdani-type *fuzzy* inference system for irrigational water quality," vol. 6, pp. 1–13, 2024.
- [10] R. S. Setiadi and F. Sulianta, "SMART MONITORING AND WATERING OF CHILI PLANTS USING A *FUZZY*," vol. 4, no. 1, pp. 247–256, 2023.
- [11] B. Nurcahyono, A. H. Mujiyanto, I. Mufarrihah, and M. Ali, "IMPLEMENTASI TEKNOLOGI PENYIRAMAN TANAMAN TEMBAKAU OTOMATIS BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) DENGAN METODE *FUZZY MAMDAN*," pp. 228–237.
- [12] J. Khatib and S. Dalam, "Indonesian Journal of Computer Science," vol. 13, no. 1, pp. 3081–3096, 2024.
- [13] W. Wijayanti, K. Santa, and S. C. Kumajas, "Sistem Kontrol Dan Monitoring Kelembaban Dan pH Tanah Tanaman Cabai Rawit Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani* Internet of Things," vol. 14, pp. 2209–2222, 2025.
- [14] W. Munfarid, K. Nabilah, A. Azkiyah, H. Hanifa, S. R. Indahsari, and A. A. Suhendra, "Sistem Deteksi NPK Tanah Portabel Berbasis Sensor Warna TCS3200 untuk Optimasi Lahan Perkotaan Portable Soil NPK Detection System Based on TCS3200 Colour Sensor for," vol. 22, no. 1, pp. 39–52, 2025, doi: 10.30595/sainteks.v22i1.25372.

