

# Sistem Cerdas Kontrol NPK: Automatic Pump Control with Fuzzy Logic

1<sup>st</sup> Loviona Fortuna Putri  
SI Teknik Telekomunikasi  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
lovionafortuna@student.telkomuniversity.ac.id

2<sup>nd</sup> Doan Perdana  
SI Teknik Telekomunikasi  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
doanperdana@telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Bagus Aditya  
SI Teknik Telekomunikasi  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
goesaditya@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak** — Kebutuhan unsur hara sangatlah penting dalam bercocok tanam, khususnya bagi tanaman kedelai. Beberapa daerah masih menjadikan tanaman kedelai sebagai salah satu bahan pangan pokok dikarenakan memiliki nilai gizi protein yang cukup tinggi. Namun, maraknya gagal panen pada tanaman kedelai di Indonesia membuat masyarakat lebih memilih untuk mengkonsumsi kedelai impor dibanding kedelai lokal yang tentu saja merugikan petani kedelai di Indonesia. Dikarenakan produktivitas kedelai lokal yang rendah, maka berpengaruh juga pada impor kedelai yang hanya mencapai 1,27 juta ton/tahun. Kegagalan panen terjadi karena kurangnya pemahaman petani mengenai kandungan unsur hara yang ideal bagi tanaman kedelai dan proses pemupukan yang masih dilakukan secara konvensional dengan kadar pupuk yang diberikan hanya berdasarkan perkiraan para petani saja. Oleh karena itu pada penelitian ini dirancang sebuah perangkat *Automatic Pump Control with Fuzzy Logic* yang dapat membantu para petani dalam proses pemupukan yang tepat sesuai dengan kondisi tanah pada satu siklus tanam secara *real time*.

**Kata kunci**—Kedelai, NPK, IoT, Fuzzy Logic

## I. PENDAHULUAN

Tanah sangat penting dalam pertanian. Kesuburan tanah ditentukan oleh kemampuan tanah untuk menghasilkan unsur hara dari dalam tanah yang mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Tumbuhan dapat menyerap nutrisi dari tanah melalui akarnya. Tanpa nutrisi yang terkandung di dalam tanah, tanaman tidak dapat hidup di tempat ini karena tidak tersedia zat yang dibutuhkannya. Sampai saat ini, kebanyakan orang cenderung menambahkan pupuk secara manual untuk menciptakan tanah dengan ketersediaan unsur hara dan kelembaban tanah yang baik. Kurangnya pemahaman petani akan kandungan unsur hara dan kondisi kelembaban tanah yang baik mengakibatkan tingginya gagal panen di Indonesia. Tidak sedikit petani yang memupuk sesekali dan hanya mengandalkan perkiraan.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, masih sangat sedikit penelitian terkait penerapan perangkat untuk *monitoring*

unsur hara N, P dan K. Pada penelitian sebelumnya telah dikembangkan alat yang dapat mengukur dan memantau kadar hara N, P, dan K, namun pemupukan masih dilakukan secara konvensional atau manual.

Berdasarkan permasalahan di atas, dirancangnya suatu perangkat IoT yang dapat membantu memantau kadar N, P dan K tanah dan mengontrol pemupukan sesuai kadar yang dibutuhkan secara otomatis. Perangkat ini memiliki fungsi utama, yaitu pemupukan secara otomatis dengan logika fuzzy berdasarkan nilai kandungan unsur hara pada lahan.

## II. KAJIAN TEORI

### A. Unsur Hara

Agar tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan baik, tanaman membutuhkan unsur hara (nutrisi) yang cukup dan seimbang. Unsur hara diperlukan untuk menjaga ketersediaan pangan tanaman. Oleh karena itu dalam produksi tanaman perlu dilakukan penambahan unsur hara berupa pupuk, baik pupuk kimia maupun pupuk organik. Pemupukan yang tidak seimbang atau tepat mengakibatkan pertumbuhan tanaman tidak normal, pertumbuhan terhambat, daun tanaman kecil dan berubah warna serta tanaman tidak dapat menghasilkan buah. Pada penelitian ini fokus pada kebutuhan unsur hara makro primer yang meliputi Nitrogen, Fosfor, dan Kalium (NPK).

### B. *Internet of Things*

*Internet of Things* (IoT) adalah sebuah konsep pada suatu perangkat yang ditanamkan teknologi-teknologi seperti mikrokontroler, sensor, dan *software* dengan tujuan untuk saling berkomunikasi maupun saling mengirim dan menerima data melalui *internet*.

### C. Fuzzy Logic

Logika fuzzy adalah sebuah pendekatan untuk pengolahan data berdasarkan kebenaran, biasanya dinyatakan sebagai benar atau salah (1 atau 0). Logika fuzzy adalah metode “menghitung: menggunakan variable kata sebagai pengganti bilangan (angka).

## III. METODE

Pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pengairan sebagai sarana menyalurkan air yang sudah

dilarutkan dengan pupuk didalamnya dimana yang nantinya pengairan pada lahan akan menyebarkan kandungan pupuk tersebut ke seluruh lahan. Penelitian ini menggunakan sensor *water flow* yang dapat di *monitoring* secara *real time*.

#### A. Metode Fuzzy Mamdani

Pada penelitian ini digunakan metode Fuzzy Mamdani. Metode Fuzzy Mamdani merupakan metode dalam penarikan kesimpulan yang paling mudah dimengerti oleh manusia, karena paling sesuai dengan naluri manusia. Sehingga dengan menggunakan Metode Fuzzy Mamdani akan menghasilkan keputusan terbaik untuk suatu permasalahan.

Dibandingkan dengan metode lain dari Fuzzy Inference System, yaitu Metode Sugeno, metode tersebut tidak melalui proses komposisi aturan dan defuzzifikasi dengan Metode Centroid. Proses tersebut berguna untuk mengetahui nilai output dari pusat daerah fuzzy.

#### B. Metode Monitoring

Sistem *monitoring* menggunakan sensor *water flow* berguna untuk mengetahui berapa debit air yang keluar. *Monitoring* berguna untuk melihat kadar air yang keluar sehingga tidak perlu melakukan pengecekan secara manual, dengan ini akan mempermudah dalam penggunaan perangkat. Selain itu, jumlah air yang keluar juga digunakan sebagai parameter untuk mematikan proses penyiraman jika nilainya sudah sesuai dengan keluaran dari hasil perhitungan *fuzzy*.

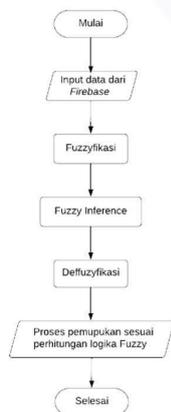
#### C. Metode Pemutus Arus

Metode pemutus arus pada penelitian ini digunakan relay sebagai pengatur nyala matinya pompa air yang akan mengalirkan air sejumlah hasil perhitungan *fuzzy*. Ketika jumlah air yang keluar sudah sesuai dengan hasil perhitungan maka proses penyiraman akan dihentikan.

#### D. Metode Penerimaan Data

Metode penerimaan data pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan cara menerima data dari *firebase* sebagai *database* dan *monitoring* secara *real time*.

Diagram alur (*flowchart*) kerja system berfungsi sebagai penggambaran sebuah alur kerja atau proses alat, *flowchart* keseluruhan system yang akan dibuat adalah sebagai berikut:



GAMBAR 1  
(Flowchart Sistem)

Pada gambar 1 *flowchart* sistem diatas merupakan alur kerja sistem secara keseluruhan yang akan dibuat dimulai dari pengambilan data dari *firebase* sebagai *database*, kemudian data akan di proses melalui proses fuzzifikasi untuk menentukan batas MIN dan MAX dari data. Parameter yang digunakan adalah 5 *input* yang terdiri dari N, P, K, pH, Moist dan 1 *output* yaitu pompa. Kemudian data akan melalui proses *fuzzy* inferensi dimana dilakukan penentuan kelas yang akan digunakan dalam pemrosesan datanya. Proses terakhir adalah defuzzifikasi dimana data akan dikembalikan ke dalam bentuk data awal dengan menggunakan metode *Centroid* (CoA). Setelah itu pompa akan otomatis menyala dan menyalurkan debit air sesuai dengan kadar yang dibutuhkan, sensor yang digunakan untuk mengukur jumlah air yang keluar adalah *water flow meter*. Selenoid valve akan membantu dalam menghentikan proses penyiraman otomatis apabila kadar yang dibutuhkan sudah tercukupi.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Rangkaian Keseluruhan Alat



GAMBAR 2  
(Rangkaian Keseluruhan Alat)

Gambar 2 merupakan hasil rangkaian keseluruhan alat yang telah dirancang serta dilakukan simulasi. Simulasi alat dilakukan untuk memastikan bahwa alat sudah berjalan dengan sesuai.

### B. Proses Pemupukan

Untuk menghitung pertambahan nilai ppm (bagian per juta) pupuk dalam tanah berdasarkan kandungan unsur NPK pupuk dan ukuran lahan, kita perlu menghitung jumlah pupuk yang ditambahkan ke tanah dan kemudian mengkonversikannya menjadi ppm. Dalam kasus ini, kita akan menghitung pertambahan nilai ppm pupuk dalam tanah berukuran 6 meter persegi di Solo, Jawa Tengah. Pupuk yang digunakan adalah pupuk NPK Mutiara Grower 15-09-20+TE. Berikut adalah langkah-langkahnya:

1. Menghitung jumlah pupuk yang ditambahkan ke tanah dalam miligram (mg) berdasarkan persentase kandungan NPK. Persamaannya dapat dilihat pada (1).

$$L_N = 15\% \times L$$

$$L_P = 9\% \times L$$

$$L_K = 20\% \times L \quad (1)$$

Keterangan:

- L = Total luas lahan (m<sup>2</sup>)
- L<sub>n</sub> = Total luas terdampak oleh pupuk nitrogen (m<sup>2</sup>)
- L<sub>p</sub> = Total luas terdampak oleh pupuk fosfor (m<sup>2</sup>)
- L<sub>k</sub> = Total luas terdampak oleh pupuk kalium (m<sup>2</sup>)

Sehingga hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut:

- Nitrogen(N) : 15% dari 6 m<sup>2</sup> = 0,15 x 6 = 0,9 m<sup>2</sup>
- Fosfor (P) : 9% dari 6 m<sup>2</sup> = 0,09 x 6 = 0,54 m<sup>2</sup>
- Kalium (K) : 20% dari 6 m<sup>2</sup> = 0,20 x 6 = 1,2 m<sup>2</sup>

2. Menghitung jumlah pupuk dalam miligram (mg) berdasarkan luas lahan terdampak. Persamaannya dapat dilihat pada (2).

$$\begin{aligned} Lmg_n &= 15\% \times L_N \\ Lmg_p &= 9\% \times L_P \\ Lmg_k &= 20\% \times L_K \end{aligned} \quad (2)$$

Keterangan:

- Lmg<sub>n</sub> = Total luas terdampak oleh pupuk nitrogen /mg (m<sup>2</sup>)
- Lmg<sub>p</sub> = Total luas terdampak oleh pupuk fosfor /mg (m<sup>2</sup>)
- Lmg<sub>k</sub> = Total luas terdampak oleh pupuk kalium /mg (m<sup>2</sup>)

Sehingga hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut.

- Nitrogen(N) : 0,9 m<sup>2</sup> × 15% = 0,135 m<sup>2</sup>/mg
- Fosfor (P) : 0,54 m<sup>2</sup> × 9% = 0,0486 m<sup>2</sup>/mg
- Kalium (K) : 1,2 m<sup>2</sup> × 20% = 0,24 m<sup>2</sup>/mg

## B. Hasil Pengujian Alat

### 1. Pengujian Water Flow Control

Tabel dibawah ini merupakan hasil pengujian dari alat water flow control dengan gelas ukur sebagai data perbandingnya:

TABEL 1  
(PENGUJIAN WATER FLOW CONTROL)

Flow Rate	96 mL/s
-----------	---------

Set Stop Volume (mL)	Volume Flow	Gelas Ukur	Selisih
500	507	602	95
1000	1015	1127	112
1500	1522	1625	103
2000	2056	2161	105
2500	2532	2612	80
Jumlah Nilai Error		8127	495
Persentase Nilai Error (%)			6,1

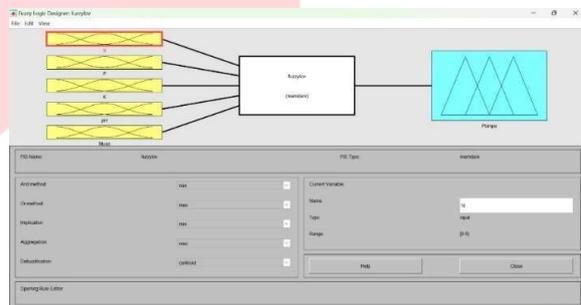
### 2. Pengujian Fuzzy Logic

Tabel dibawah ini merupakan hasil pengujian dari alat yang sudah terintegrasi:

TABEL 2  
(PENGUJIAN FUZZY LOGIC)

No	Nilai Keluaran Hasil Pengujian					Hasil Pengujian	Hasil Simulasi MATLAB	Keterangan
	N	P	K	pH	Moist			
1.	215	21	147	5.58	64	Medium	Medium	Sesuai
2.	173	17	126	5.65	55	Medium	Medium	Sesuai
3.	230	23	155	5.93	66	Low	Low	Sesuai
4.	242	24	161	5.93	68	Low	Low	Sesuai
5.	219	22	148	6.07	73	Low	Low	Sesuai
6.	133	13	107	5.38	43	Medium	Medium	Sesuai
7.	100	8	78	4.89	20	High	High	Sesuai
8.	104	8	82	4.89	20	High	High	Sesuai
9.	224	22	152	5.58	52	Low	Low	Sesuai
10.	229	23	155	5.56	54	Medium	Medium	Sesuai

Berikut adalah hasil simulasi fuzzy pada aplikasi MATLAB dengan menggunakan lima input dan satu output. Berikut adalah hasil dokumentasi simulasi fuzzy pada aplikasi MATLAB.



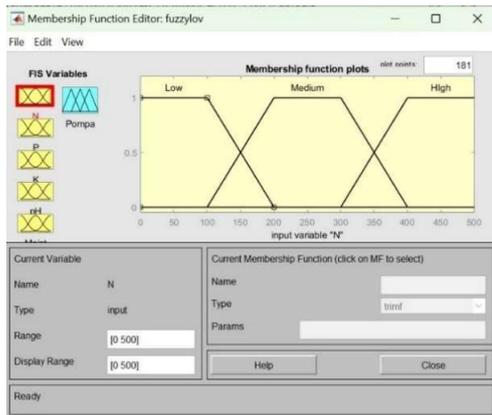
GAMBAR 3  
(Simulasi Fuzzy Logic Mamdani)

Pada masing-masing variabel memiliki nilai parameter fuzzy yang berbeda-beda. Variabel input terdapat lima variabel, yaitu N, P, K, pH, dan Moist. Pada nilai input semua variabel memiliki terdapat tiga parameter yaitu Low, Medium, dan High. Kemudian pada variabel output hanya terdapat satu variabel, yaitu pompa. Pada nilai output variabel pompa terdapat tiga parameter Low, Medium, dan High. Berikut adalah pemrosesan data menggunakan metode fuzzy logic mamdani:

### 1. Fuzzifikasi

Pada proses fuzzyfikasi terdapat 6 himpunan keanggotaan yang terdiri dari 5 input dan 1 output. Pada proses menentukan parameter nilai digunakan keanggotaan trapesium karena memungkinkan untuk menggambarkan tingkat keanggotaan yang lebih kompleks daripada keanggotaan segitiga. Keanggotaan trapesium memungkinkan penyesuaian yang lebih baik terhadap data atau masukan yang nyata.

#### a. Pembentukan Himpunan Keanggotaan Nilai N



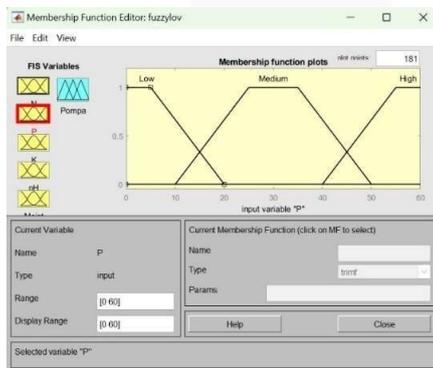
GAMBAR 4  
(Input N)

Pada nilai *input* N pada MATLAB terdiri dari 3 kategori, yaitu *Low*, *Medium*, dan *High*. Berikut merupakan fungsi keanggotaan *input* N:

Fungsi keanggotaan N dengan rentang [0 500]

- Fungsi *Low* [0 0 100 200]
- Fungsi *Medium* [100 200 300 400]
- Fungsi *High* [300 400 500 500]

b. Pembentukan Himpunan Keanggotaan Nilai P



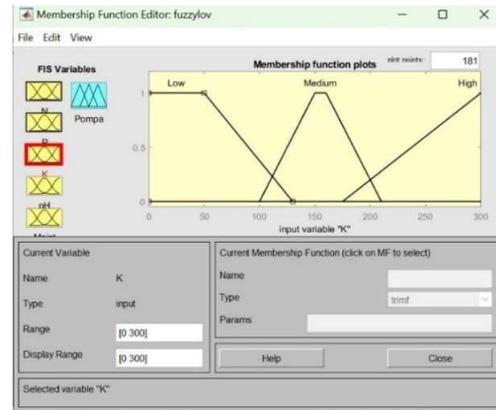
GAMBAR 5  
(Input P)

Pada nilai *input* P pada MATLAB terdiri dari 3 kategori, yaitu *Low*, *Medium*, dan *High*. Berikut merupakan fungsi keanggotaan *input* P:

Fungsi keanggotaan P dengan rentang [0 60]

- Fungsi *Low* [0 0 5 20]
- Fungsi *Medium* [10 25 35 50]
- Fungsi *High* [40 55 60 60]

c. Pembentukan Himpunan Keanggotaan Nilai K



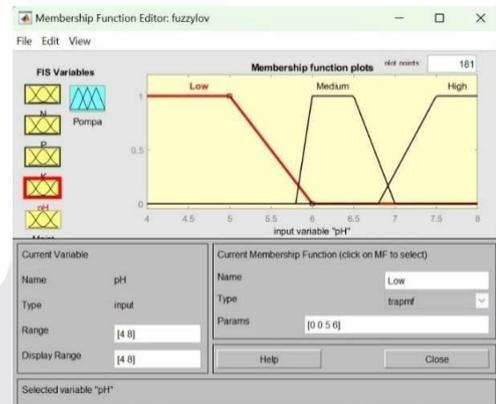
GAMBAR 6  
(Input K)

Pada nilai *input* K pada MATLAB terdiri dari 3 kategori, yaitu *Low*, *Medium*, dan *High*. Berikut merupakan fungsi keanggotaan *input* K:

Fungsi keanggotaan K dengan rentang [0 300]

- Fungsi *Low* [0 0 50 130]
- Fungsi *Medium* [100 150 160 210]
- Fungsi *High* [175 300 425 425]

d. Pembentukan Himpunan Keanggotaan Nilai pH



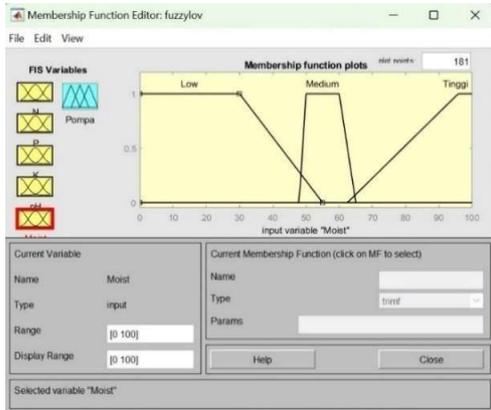
GAMBAR 7  
(Input pH)

Pada nilai *input* pH pada MATLAB terdiri dari 3 kategori, yaitu *Low*, *Medium*, dan *High*. Berikut merupakan fungsi keanggotaan *input* pH:

Fungsi keanggotaan pH dengan rentang [4 8]

- Fungsi *Low* [0 0 5 6]
- Fungsi *Medium* [5.8 6 6.5 7]
- Fungsi *High* [6.8 7.5 9.5 14]

e. Pembentukan Himpunan Keanggotaan Nilai Moist



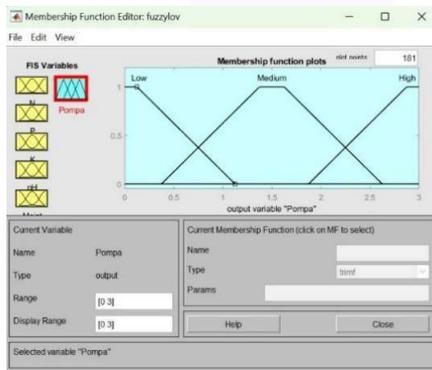
GAMBAR 8  
(Input Moist)

Pada nilai *input Moist* pada MATLAB terdiri dari 3 kategori, yaitu *Low*, *Medium*, dan *High*. Berikut merupakan fungsi keanggotaan *input Moist*:

Fungsi keanggotaan *Moist* dengan rentang [0 100]

- Fungsi *Low* [0 0 30 55]
- Fungsi *Medium* [48 50 60 65]
- Fungsi *High* [62.5 95.83 104.2 137.5]

f. Pembentukan Himpunan Keanggotaan Nilai Pompa



GAMBAR 9  
(Output Pompa)

Pada nilai *input Pompa* pada MATLAB terdiri dari 3 kategori, yaitu *Low*, *Medium*, dan *High*. Berikut merupakan fungsi keanggotaan *input Pompa*:

Fungsi keanggotaan *Pompa* dengan rentang [0 3]

- Fungsi *Low* [-1.125 -0.125 0.125 1.125]
- Fungsi *Medium* [0.375 1.375 1.625 2.625]
- Fungsi *High* [1.875 2.875 3.125 4.125]

2. Inferensi

Tahap selanjutnya adalah memproses data fuzzifikasi menjadi inferensi fuzzy. Metode inferensi yang digunakan adalah metode inferensi Mamdani. Pada sistem yang telah ditentukan memiliki lima *input* dan satu *output* ini dihasilkan 243 rules. Penentuan jumlah *rules fuzzy* dapat ditentukan dengan rumus berikut. Dapat dilihat pada (3).

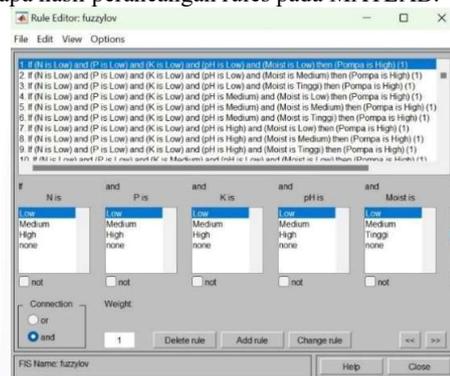
$$\begin{aligned} \text{Jumlah Rules} &= \sum H_{i1} \times \sum H_{i2} \\ &\times \sum H_{i3} \times \sum H_{i4} \\ &\times \sum H_{i5} \times \sum H_o \end{aligned} \quad (3)$$

Keterangan:

$H_i$  = Himpunan *input*

$H_o$  = Himpunan *output*

Setelah menentukan jumlah *rules* yang akan digunakan, selanjutnya adalah perhitungan implikasi pada setiap *rule* dengan menerapkan fungsi MIN pada perhitungan hasil fuzzifikasi. Setelah mendapatkan hasil dari perhitungan implikasi, kemudian menerapkan fungsi MAX untuk menentukan komposisi setiap *rule*. Berikut adalah beberapa hasil perancangan *rules* pada MATLAB:



GAMBAR 10  
(Rules Fuzzy)

3. Defuzzifikasi

Setelah proses inferensi, selanjutnya masuk dalam tahap terakhir yaitu defuzzifikasi. Defuzzifikasi dilakukan untuk mengembalikan nilai himpunan *fuzzy* ke bentuk nilai *crisp* dengan menggunakan metode *Centroid* (CoA). Metode *Centroid* yaitu suatu metode dimana semua daerah *fuzzy* dari hasil komposisi aturan digabungkan dengan tujuan untuk membentuk hasil yang optimal dan mengambil titik pusat daerah fuzzy

V. KESIMPULAN

Pada pengujian perangkat Automatic Water Pump dilakukan 2 pengujian yaitu pengujian akurasi sensor water flow dan pengujian akurasi fuzzy logic. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat Automatic Water Pump Control dapat bekerja dengan baik sesuai dengan kebutuhan serta mampu memberikan hasil

pemupukan yang lebih baik dibandingkan dengan pemupukan konvensional.

Pengujian pertama yaitu pengujian akurasi pembacaan sensor water flow dengan cara membandingkan hasil pengukuran dari sensor dengan pengukuran gelas ukur. Berdasarkan analisa selama pengujian error hasil pembacaan dikarenakan debit air yang cukup deras yang tidak terimbangi oleh waktu perulangan pembacaan sensor oleh program yang mengakibatkan ketika program memberikan perintah berhenti pada jumlah volume yang ditentukan akan tetapi masih ada air yang melewati sensor sehingga terjadi perbedaan antara pembacaan sensor dengan alat ukur. Dengan tingkat error 6,1% tidak membuat performa perangkat menurun mengingat perangkat akan digunakan pada lahan.

Pengujian kedua yaitu pengujian akurasi pembacaan pemupukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran dari implementasi perangkat di lapangan dengan hasil simulasi MATLAB. Pada penelitian ini digunakan Metode Fuzzy Mamdani dikarenakan Metode Fuzzy Mamdani merupakan metode dalam penarikan kesimpulan yang paling mudah dimengerti oleh manusia, karena paling sesuai dengan naluri manusia. Sehingga dengan menggunakan Metode Fuzzy Mamdani akan menghasilkan keputusan terbaik untuk suatu permasalahan. Berdasarkan analisa didapatkan hasil dari pengujian pada perangkat memiliki nilai yang sesuai dengan hasil simulasi pada aplikasi MATLAB, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa nilai pemupukan pada hasil

implementasi dan hasil simulasi MATLAB memiliki nilai akurasi yang tepat.

## REFERENSI

### Electronic References

- [1] R. Oktavianus, Isnawaty, and N. F. Muchlis, "DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING KELEMBABAN TANAH BERBASIS ANDROID," *semanTIK*, vol. 3, no. 2, pp. 259–269, 2017.
- [2] J. Veda, M. Rivai, and Suwito, "Sistem Kontrol dan Monitoring Pemupukan NPK Tanaman dengan Mikrokontroler ESP32," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 11, no. 3, pp. 184–190, 2022.
- [3] C. H. Asâri, D. N. Ramadan, and T. N. Damayanti, "PERANCANGAN DAN REALISASI SISTEM MONITORING UNSUR HARA DAN KELEMBABAN TANAH MENGGUNAKAN RASPBERRY PI MONITORING SYSTEM DESIGN AND REALIZATION NUTRITION AND SOIL MOISTURE USING RASPBERRY PI," *e-Proceeding of Applied Science*, vol. 8, no. 1, pp. 2442–5826, Feb. 2022.