

RESEARCH ARTICLE

Sistem Cerdas Kontrol NPK: Automatic Pump Control with Fuzzy Logic

Loviona Fortuna Putri, Doan Perdana* and Bagus Aditya

Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung, 40257, Jawa Barat, Indonesia

*Corresponding author: doanperdana@telkomuniversity.ac.id

Received on 18 May 2024; accepted on 21 June 2024

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 mengonsumsi 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.

Key words: Kedelai, NPK, IoT, Fuzzy Logic

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.

Tinjauan Pustaka

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).

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.

Logika Fuzzy

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 variabel kata sebagai pengganti bilangan (angka).

Metodologi Penelitian

METODE

Pada penelitian ini, pengairan digunakan sebagai sarana untuk menyalurkan air yang sudah dilarutkan dengan pupuk ke seluruh lahan. Penelitian ini menggunakan sensor *water flow* yang dapat dimonitor secara *real-time*.

Metode Fuzzy Mamdani

Penelitian ini menggunakan metode Fuzzy Mamdani. Metode Fuzzy Mamdani adalah metode penarikan kesimpulan yang paling mudah dimengerti oleh manusia, karena sesuai dengan naluri manusia. Dengan menggunakan metode Fuzzy Mamdani, keputusan terbaik untuk suatu permasalahan dapat dihasilkan. Dibandingkan dengan metode lain dari Fuzzy Inference System, yaitu metode Sugeno, metode ini melalui proses komposisi aturan dan defuzzifikasi dengan metode *Centroid*. Proses tersebut berguna untuk mengetahui nilai keluaran dari pusat daerah fuzzy.

Metode Monitoring

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

Metode Pemutus Arus

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

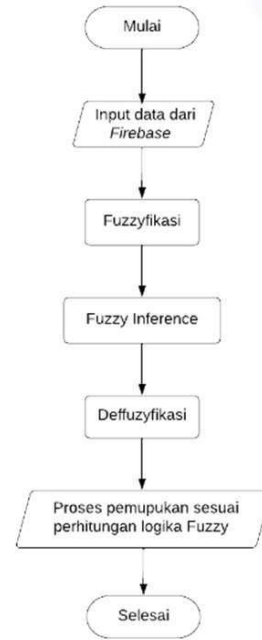
Metode Penerimaan Data

Metode penerimaan data pada penelitian ini menggunakan mikro-kontroler ESP32 dengan cara menerima data dari Firebase sebagai *database* dan monitoring secara *real-time*.

Diagram Alur Sistem

Diagram alur (flowchart) kerja sistem berfungsi sebagai gambaran alur kerja atau proses alat. Flowchart keseluruhan sistem yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

Pada Gambar 1, diagram alur sistem menunjukkan alur kerja sistem secara keseluruhan yang akan dibuat. Dimulai dari pengambilan data dari Firebase sebagai *database*, kemudian data akan diproses melalui proses fuzzifikasi untuk menentukan batas MIN dan MAX dari data. Parameter yang digunakan adalah 5 input yang terdiri dari N, P, K, pH, dan Moist, serta 1 output yaitu pompa. Selanjutnya, data akan melalui proses fuzzy inferensi di mana dilakukan penentuan kelas yang akan digunakan dalam pemrosesan data. Proses terakhir adalah defuzzifikasi, di mana 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*. Solenoid valve akan membantu



Gambar 1. Flowchart System

dalam menghentikan proses penyiraman otomatis apabila kadar yang dibutuhkan sudah tercukupi.

Hasil dan Pembahasan

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.

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 Persamaan 1.

$$\begin{aligned}
 L_N &= 15\% \times L \\
 L_P &= 9\% \times L \\
 L_K &= 20\% \times L
 \end{aligned} \tag{1}$$

Keterangan:

- L = Total luas lahan (m^2)
- L_N = Total luas terdampak oleh pupuk nitrogen (m^2)
- L_P = Total luas terdampak oleh pupuk fosfor (m^2)
- L_K = Total luas terdampak oleh pupuk kalium (m^2)



Gambar 2. Rangkaian Keseluruhan Alat

Sehingga hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut:

- Nitrogen (N): 15% dari 6 m² = 0,15 × 6 = 0,9 m²
- Fosfor (P): 9% dari 6 m² = 0,09 × 6 = 0,54 m²
- Kalium (K): 20% dari 6 m² = 0,20 × 6 = 1,2 m²

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

$$\begin{aligned} L_{mgn} &= 15\% \times L_N \\ L_{mgp} &= 9\% \times L_P \\ L_{mgk} &= 20\% \times L_K \end{aligned} \quad (2)$$

Keterangan:

- L_{mgn} = Total luas terdampak oleh pupuk nitrogen /mg (m²)
- L_{mgp} = Total luas terdampak oleh pupuk fosfor /mg (m²)
- L_{mgk} = Total luas terdampak oleh pupuk kalium /mg (m²)

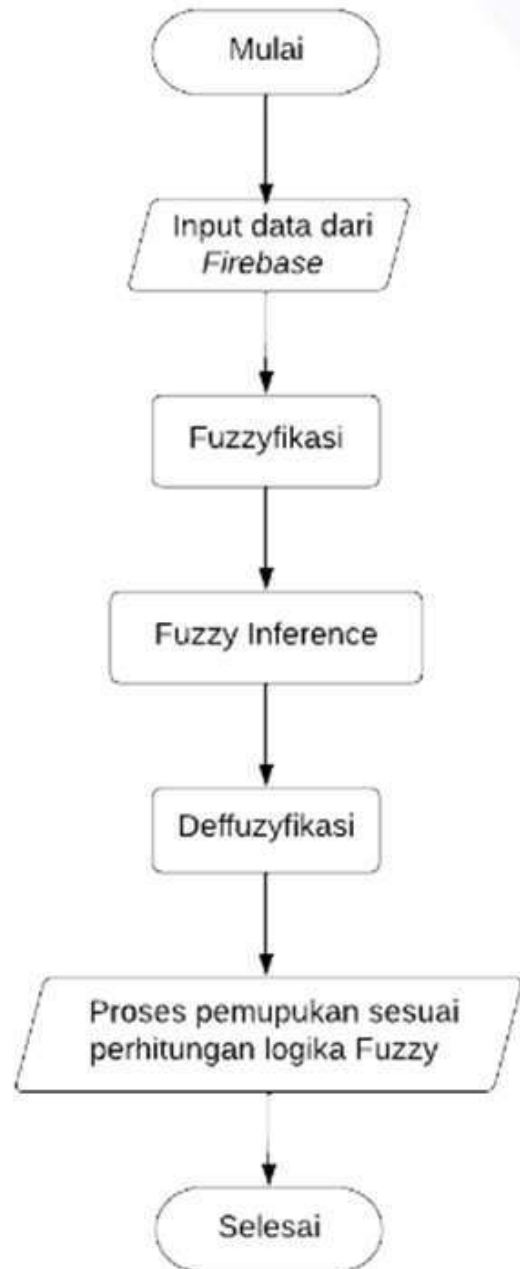
Sehingga hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut:

- Nitrogen (N): 0,9 m² × 15% = 0,135 m²/mg
- Fosfor (P): 0,54 m² × 9% = 0,0486 m²/mg
- Kalium (K): 1,2 m² × 20% = 0,24 m²/mg

Hasil Pengujian Alat

Pengujian Water Flow Control

Gambar 3 merupakan hasil pengujian dari alat water flow control dengan gelas ukur sebagai data pembandingnya.



Gambar 3. Pengujian Water Flow Control

Pengujian Fuzzy Logic

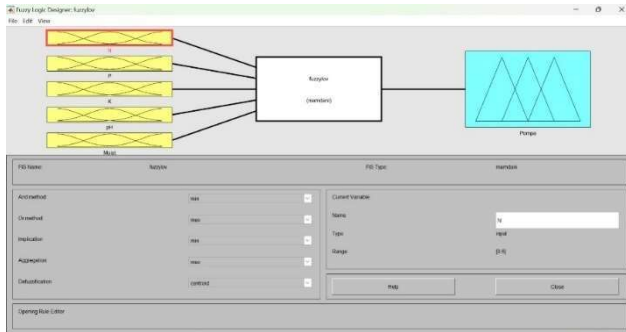
Gambar ?? merupakan hasil pengujian dari alat yang sudah terintegrasi.

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

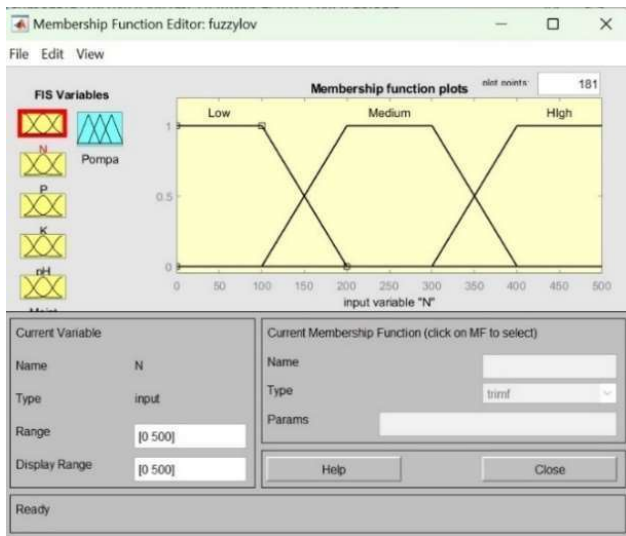
Pada masing-masing variabel memiliki nilai parameter fuzzy yang berbeda-beda. Variabel input terdapat lima variabel, yaitu N, P, K, pH, dan Moist. Pada nilai input semua variabel memiliki terdapat tiga parameter yaitu Low, Medium, dan High. Kemudian pada variabel output

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

Gambar 4. Pengujian Fuzzy Logic



Gambar 5. Simulasi Fuzzy Logic Mamdani



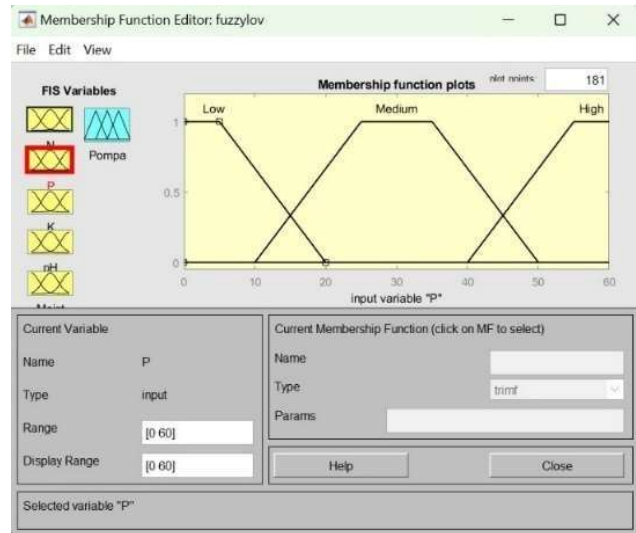
Gambar 6. Input N

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*:

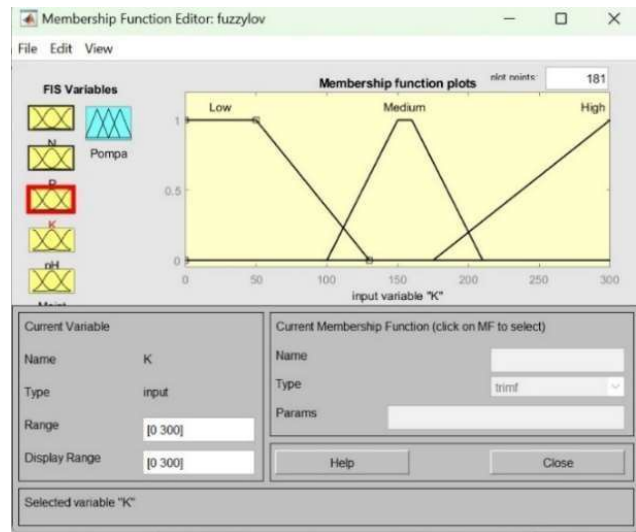
1. **Fuzzifikasi**

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**
 Pada nilai input N (6) pada MATLAB terdiri dari 3 kategori, yaitu



Gambar 7. Input P



Gambar 8. Input K

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**

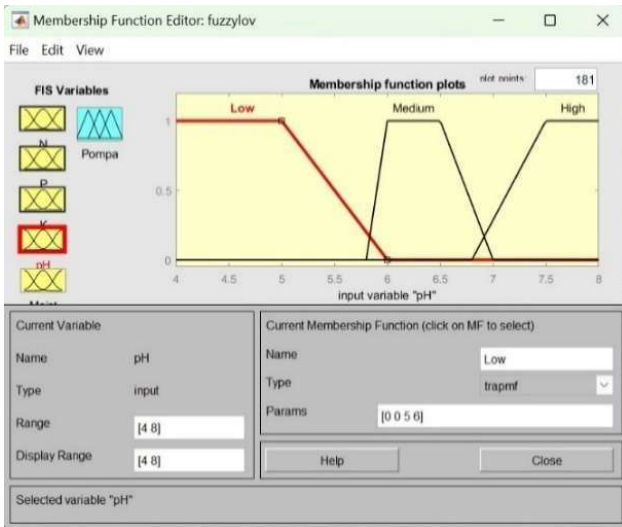
Pada nilai input P (7) pada MATLAB terdiri dari 3 kategori, yaitu *Low*, *Medium*, dan *High*. Berikut merupakan fungsi keanggotaan input P:

Fungsi keanggotaan P dengan rentang [0 60]

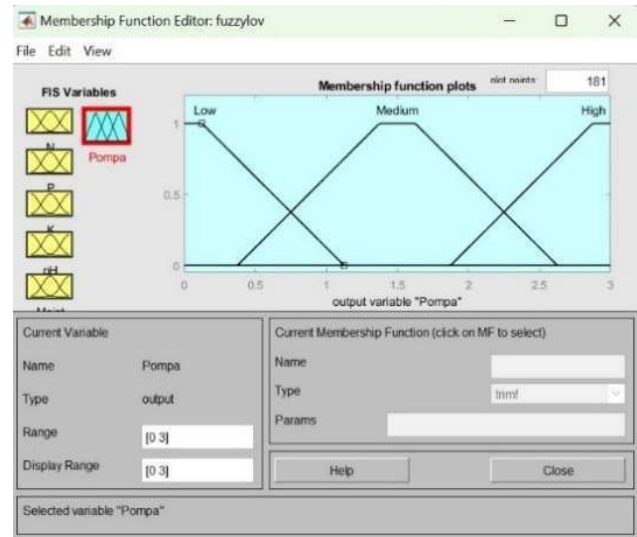
- Fungsi *Low* [0 0 5 20]
- Fungsi *Medium* [10 25 35 50]
- Fungsi *High* [40 55 60 60]

c. **Pembentukan Himpunan Keanggotaan Nilai K**

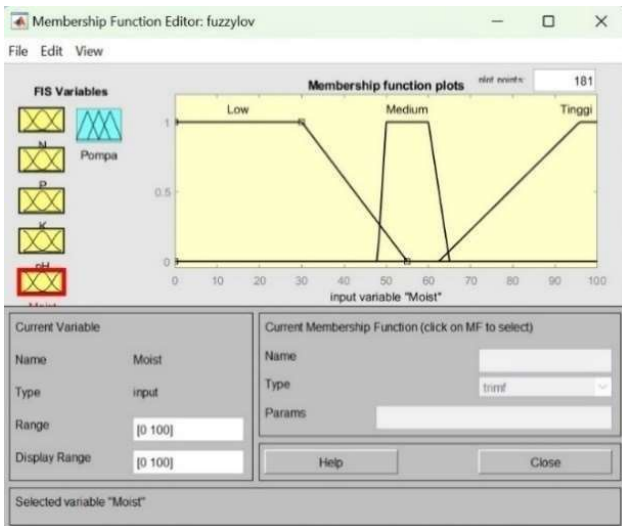
Pada nilai input K (8) pada MATLAB terdiri dari 3 kategori, yaitu



Gambar 9. Input pH



Gambar 11. Output Pompa



Gambar 10. Input Moist

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**

Pada nilai input pH (9) 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** Pada nilai input Moist (10) 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** Pada nilai input Pompa (11) 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**

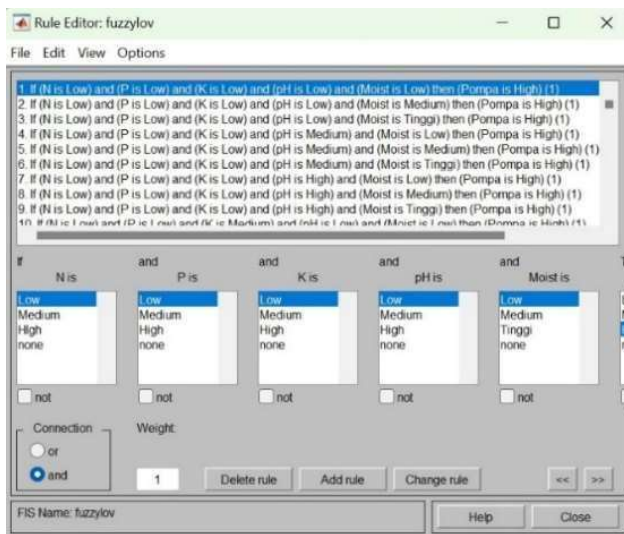
Tahap selanjutnya adalah memproses data fuzzifikasi menjadi inferensi fuzzy. Metode inferensi yang digunakan adalah metode inferensi Mamdani. Pada sistem yang telah ditentukan memiliki lima input dan satu output ini dihasilkan 243 rules. Penentuan jumlah rules fuzzy dapat ditentukan dengan rumus berikut.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

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

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 12. Rules Fuzzy

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.

Daftar Pustaka

1. Oktavianus R, Isnawaty, Muchlis NF. DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING KELEMBABAN TANAH BERBASIS ANDROID. *semanTIK*. 2017;3(2):259-69.
2. Veda J, Rivai M, Suwito. Sistem Kontrol dan Monitoring Pemupukan NPK Tanaman dengan Mikrokontroler ESP32. *Jurnal Teknik ITS*. 2022;11(3):184-90.
3. Asâri CH, Ramadan DN, Damayanti TN. 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*. 2022 Feb;8(1):2442-5826.