

IMPLEMENTASI ALGORITME *FUZZY LOGIC* PADA SISTEM *SMART* HIDROPONIK BERBASIS ARDUINO

Dedy Prasetyo Pambudi
Universitas Buana Perjuangan
Karawang, Indonesia
if16.dedypambudi@mhs.ubpkarawang.ac.id

Deden Wahiddin
Universitas Buana Perjuangan
Karawang, Indonesia
deden.wahiddin@ubpkarawang.ac.id

Euis Nurlaelasari
Universitas Buana Perjuangan
Karawang, Indonesia
euis.nurlaelasari@ubpkarawang.ac.id

Abstract—

Tanaman hidroponik harus diberikan nutrisi (pupuk) secara rutin dengan komposisi yang ditentukan dan suhu yang sesuai dengan tanaman yang dibudidayakan. Hidroponik pada umumnya masih harus dikontrol secara manual dan dirasa masih kurang produktif, sehingga tingkat komposisi nutrisi (pupuk) dan suhu tempat bercocok tanam sulit untuk dikontrol. Sistem Smart Hidroponik Berbasis Arduino dengan Algoritme *Fuzzy Logic* dapat memantau dan mengontrol nutrisi yang diberikan untuk tanaman sesuai atau tidak dengan kebutuhan, parameter yang dimonitoring dan dikontrol adalah pH yang mempengaruhi daya serap tanaman, suhu yang mempengaruhi pertumbuhan, dan ketinggian air yang mempengaruhi kecukupan kebutuhan air. Komposisi nutrisi tersebut memungkinkan dikendalikan sesuai dengan komposisi yang dibutuhkan yaitu kadar pH asam dan suhu dingin sesuai dengan jenis tanaman yang dibudidayakan, kemudian akan ditampilkan pada *Liquid Crystal Display* (LCD) secara *real time*. Berdasarkan hasil tahapan penelitian yang sudah dilakukan dan hasil pengujian, maka dapat disimpulkan bahwa pengujian keberhasilan perhitungan *fuzzy* pada sistem sebesar 99,98%. *Fuzzy Logic Tsukamoto* yang diimplementasikan pada Sistem *Smart* Hidroponik berhasil mengontrol media tanam hidroponik dengan baik.

Kata kunci — Automasi, Fuzzy Logic, Smart Hidroponik.

I. PENDAHULUAN

Hidroponik adalah metode budi daya tanaman dengan media air dengan zat hara [1]. Budi daya tanaman dengan metode hidroponik dapat diterapkan dan menjadi solusi bagi lingkungan perkotaan, padat penduduk, lahan sempit dan keterbatasan lahan dengan konsep *Urban Farming* [2]. Tingkat ketinggian permukaan air pada media tanam hidroponik harus diperhatikan [3]. Hidroponik juga memperhatikan tingkat komposisi nutrisi (pupuk) dan media tanam yang digunakan [4, 5]. Tanaman sangat bergantung pada suhu, beberapa jenis tanaman hanya dapat dibudidayakan pada suhu yang stabil [6]. Sebaran suhu daerah perkotaan pada sistem hidroponik sangat berpengaruh pada pertumbuhan tanaman [7]. Budi daya secara hidroponik harus memperhatikan tingkat nutrisi, ketinggian air dan suhu, tetapi produktivitas hidroponik masih dirasa kurang optimal dikarenakan tingkat ketinggian muka air, tingkat komposisi nutrisi dan suhu tempat bercocok tanam yang sulit untuk dikontrol.

Berdasar pada kelebihan dan manfaat budi daya hidroponik yang sudah disebutkan sebelumnya, masih terdapat kekurangan sehingga perlu adanya sistem yang dapat mengontrol dan bekerja secara otomatis agar dapat mengoptimalkan dan membantu petani berbudi daya secara hidroponik. Penelitian serupa yang pernah dilakukan sebelumnya yaitu mengembangkan alat yang dapat mendeteksi ketinggian air, fungsinya agar air tetap dalam batas yang ideal [8, 9]. Terdapat pula penelitian yang mengembangkan alat untuk mengontrol pH dikombinasikan dengan algoritme *fuzzy logic controller*. Pengecekan pH dilakukan agar keasaman air dapat terkontrol. Apabila pH tidak pada skala ideal maka pompa akan menyala dan mengalirkan nutrisi agar pH dalam keadaan yang ideal [10]. Penelitian selanjutnya yaitu mengenai alat untuk mengontrol suhu. Apabila suhu tidak ideal maka peltier yang di tempelkan pada media tanam hidroponik akan menurunkan suhu [11]. Penelitian terkait berikutnya tentang sistem monitoring dan kontrol otomatis menggunakan arduino terbukti dapat dilakukan [12].

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu terdapat beberapa hal yang dapat diambil untuk penelitian ini. Seperti monitor dan pengontrol ketinggian air, kadar pH dan suhu agar tanaman hidroponik tumbuh dengan baik. Ketiga variabel tersebut akan diatur secara otomatis dengan Arduino. Namun terdapat kelemahan pada alat tersebut yaitu ketika sistem mendeteksi kondisi yang tidak dituliskan pada program maka sistem tidak dapat mengontrol media tanam dengan baik. Solusinya yaitu dengan menambahkan algoritme *fuzzy logic* pada sistem. Oleh karena itu penelitian ini akan melakukan implementasi algoritme *fuzzy logic tsukamoto* ke dalam sistem *smart* hidroponik.

II. DATA DAN METODE

A. Hasil Observasi Tanaman Hidroponik

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah studi literatur jurnal dan buku, melakukan observasi data pH air, suhu air dan ketinggian air media hidroponik. Dari permasalahan itu didapatkan data bahwa suhu ideal menanam sayuran hidroponik berkisar pada suhu 23°C - 26°C, dan kadar pH antara 5,5 - 6,5 dan ketinggian air menyesuaikan tempat media hidroponik.

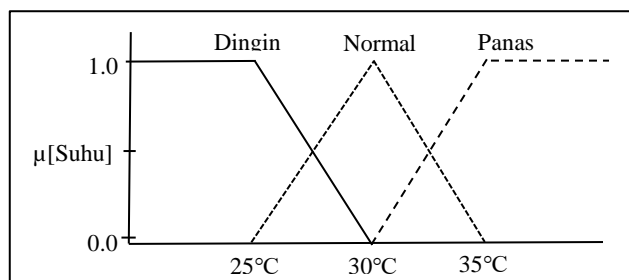
B. Fuzzy Logic Tsukamoto

Fuzzy Logic adalah logika yang diperkenalkan oleh Lutfi Zadeh, berbeda dengan logika pada umumnya, logika fuzzy pada dasarnya adalah ketidakpastian, mampu memetakan input dan output. Fuzzy logic sudah banyak diterapkan karena kemudahannya [13]. Seperti pada bidang automatisasi, robotika, sistem tenaga listrik dan pertanian. Fuzzy logic yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Tsukamoto, cara kerja fuzzy logic meliputi beberapa tahapan sebagai berikut:

1) Pembentukan Himpunan

Pada himpunan crisp nilai keanggotaan variabel x dalam suatu himpunan A, memiliki 2 kemungkinan, yaitu bernilai 1 atau 0. Jika bernilai 1 maka variabel menjadi anggota dalam suatu himpunan, dan jika bernilai 0 maka variabel tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan

Himpunan fuzzy juga memiliki 2 atribut, yaitu linguistik dan numeris, linguistik yaitu penamaan suatu kelompok dengan bahasa untuk mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu, seperti: Dingin, Normal, Panas. sedangkan numeris yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel seperti: 25, 30, 35. Dibawah ini adalah contoh pembentukan himpunan suhu.

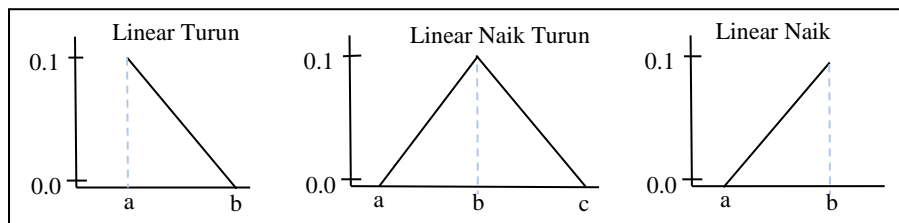


Gambar 1 Contoh Variabel Himpunan Suhu

Pemilihan kurva fungsi keanggotaan berbentuk segitiga atau trapesium adalah yang paling umum karena lebih mudah untuk direpresentasikan dalam embedded controllers [14]. Alasan menggunakan kurva segitiga dan kurva trapesium pada variabel himpunan suhu, jarak dan pH. Kurva segitiga ideal sebagai kurva untuk menghitung rentang suhu, jarak dan pH, sedangkan kurva trapesium dipilih karena stabilitas dan konsistensi untuk menunjukkan himpunan linguistik diluar nilai yang sudah ditentukan. Kurva tersebut juga sangat baik diaplikasikan pada implikasi Min-Max.

2) Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses untuk mencari nilai himpunan crisp 0 atau 1. Berikut adalah contoh gambar linear dan rumus persamaan fuzzifikasi:



Gambar 2 Contoh Linear

- Persamaan Linear Turun

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ \frac{(b-x)}{(b-a)}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \tag{1}$$

- Persamaan Linear Naik Turun

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} = & a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} = & b \leq x \leq c \\ 0; & x \geq c \end{cases} \tag{2}$$

- Persamaan Linear Naik

$$\mu_{(x)} = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{(x - a)}{(b - a)}; & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \quad (3)$$

3) Pembentukan *Rule Base*

Rule base adalah basis pengetahuan, pembentukan aturan dilakukan berdasarkan pengetahuan yang dimiliki seseorang atau berdasar kepada pengetahuan pakar/buku/jurnal untuk diimplementasikan pada sistem komputer, Pada logika *fuzzy* akan diberikan aturan yang mudah dipahami, menggunakan logika *IF – THEN*. Contoh *Rule Base* seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Contoh *Rule Base*

Suhu \ Tinggi	Dingin	Normal	Panas
Rendah	Lambat	Lambat	Sedang
Sedang	Lambat	Sedang	Cepat
Tinggi	Sedang	Cepat	Cepat

4) *Inferensi*

Menggunakan fungsi implikasi *MIN* untuk mendapatkan nilai α -predikat tiap-tiap *rule*.

$$\alpha_i = \mu_{A1} \cap \mu_{A2} = \min(\mu_{A1}(x_1), \mu_{A2}(x_2)) \quad (4)$$

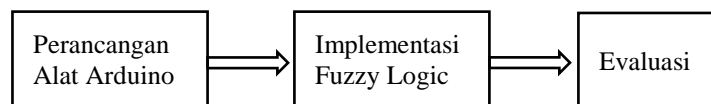
5) *Defuzzifikasi*

Metode *defuzzifikasi* yang umum yang digunakan pada *Fuzzy Logic* adalah metode *Centroid*, nilai diperoleh dengan mengambil rata-rata (z), dirumuskan:

$$z = \frac{a_1z_1 + a_2z_2}{a_1 + a_2} \quad (5)$$

C. Prosedur Percobaan

Tahapan percobaan pada penelitian ini dilakukan terdiri dari beberapa tahap dimulai dari perancangan alat dan penerapan metode *Fuzzy Logic* dan evaluasi. Pada tahapan evaluasi melakukan evaluasi pada kinerja implementasi *fuzzy logic* pada sistem. Prosedur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

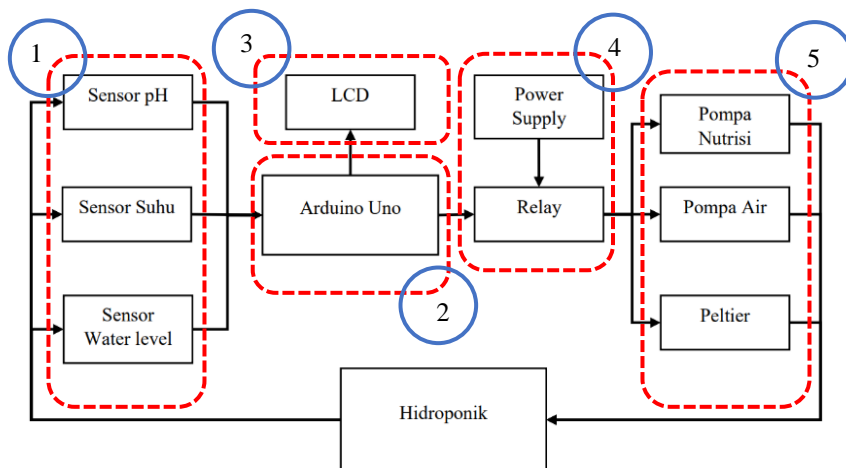


Gambar 3 Prosedur Percobaan

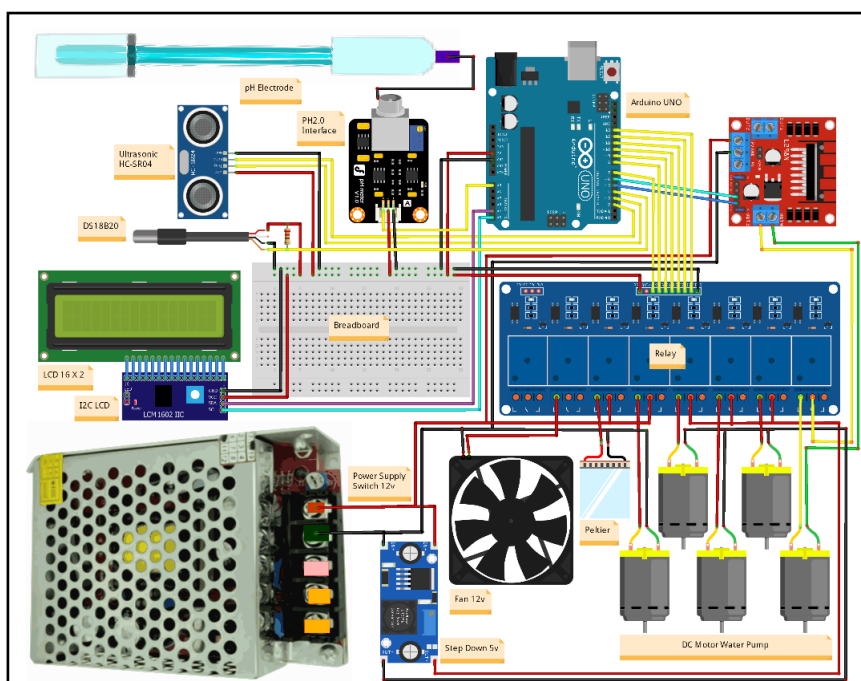
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Alat Arduino

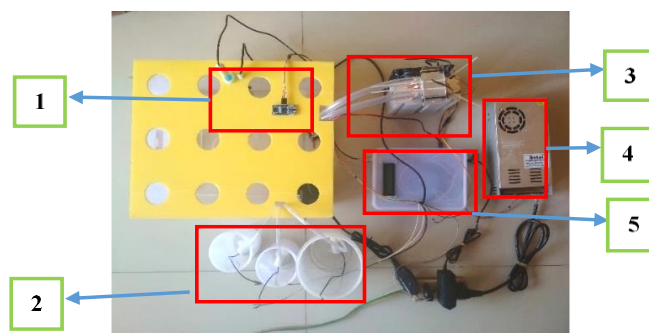
Hasil rancangan *smart* hidroponik ini akan diimplementasikan pada sistem *smart* hidroponik, skema rancangan sistem *smart* hidroponik dapat dilihat pada Gambar 4. Nomor satu menunjukkan sensor *input* untuk membaca nilai kadar pH, ketinggian dan suhu. Kemudian pada nomor dua yaitu mikrokontroler Arduino Uno untuk memproses *input*, *output* dan aktuator. Selanjutnya nomor tiga adalah modul LCD untuk menampilkan informasi dan proses yang sedang berjalan. Nomor empat adalah modul *Power Supply* dan *Relay* sebagai modul untuk mendistribusikan daya pada aktuator. Terakhir nomor lima adalah Aktuator untuk sebagai perangkat pengontrol sistem.



Gambar 4 Blok Diagram



Gambar 5 Rancangan Sistem Smart Hidroponik



Gambar 6 Rangkaian Sistem Smart Hidroponik

Gambar 6 merupakan hasil rangkaian Sistem *Smart* Hidroponik, bagian-bagian komponen pada gambar 6 pada label nomor satu adalah sebagai sensor *input*, kemudian label nomor dua adalah modul aktuator air dan nutrisi, label yang ditunjukkan oleh nomor tiga sebagai modul aktuator suhu, label nomor empat adalah *power Supply* sebagai pemasok daya, serta label nomor lima adalah Arduino dan modul.

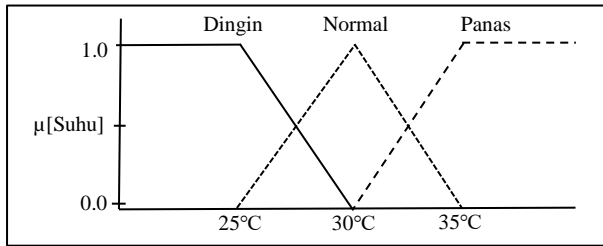
B. Implementasi *Fuzzy Logic*

Tahap implementasi *fuzzy logic* dilakukan setelah tahap perancangan dimana proses pada penelitian berjalan berdasarkan prosedur percobaan yang sudah direncanakan. Sehingga rancangan dapat diimplementasikan dengan kode program dan

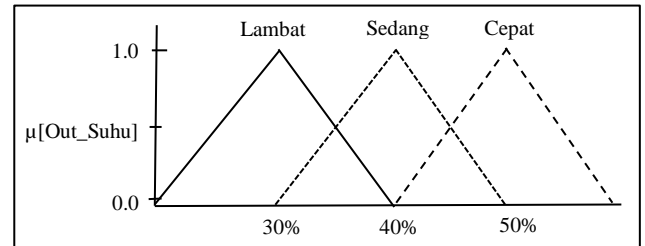
dilakukan pengujian untuk memperoleh informasi sesuai dengan tujuan. Proses implementasi meliputi beberapa tahapan sebagai berikut.

1) Himpunan

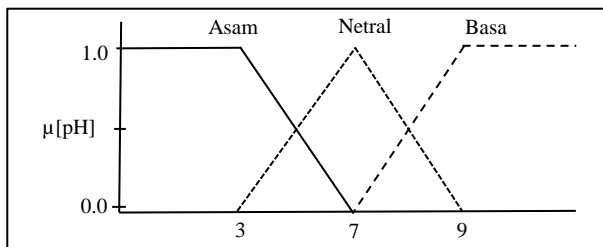
Gambar 7 menampilkan himpunan *input* suhu dengan variabel linguistik dingin, normal dan panas serta variabel numeris 25°C, 30°C dan 35°C. Gambar 8 menampilkan himpunan *input* pH dengan variabel linguistik asam, netral dan basa serta variabel numeris 3, 7 dan 9. Gambar 9 menampilkan himpunan *input* ketinggian air dengan variabel linguistik rendah, sedang dan tinggi serta variabel numeris 3cm, 6cm dan 9cm. Gambar 10 menampilkan himpunan *output* PWM Pendingin dengan variabel linguistik lambat sedang dan cepat serta variabel numeris 30%, 40% dan 50%. Gambar 11 menampilkan himpunan *output* pompa nutrisi dengan variabel linguistik asam, netral dan basa serta variabel numeris 1 detik, 2 detik dan 3 detik.



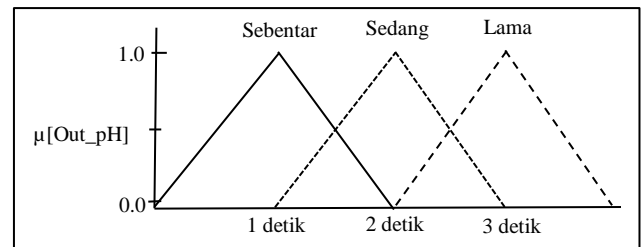
Gambar 7 Himpunan *Input* Suhu



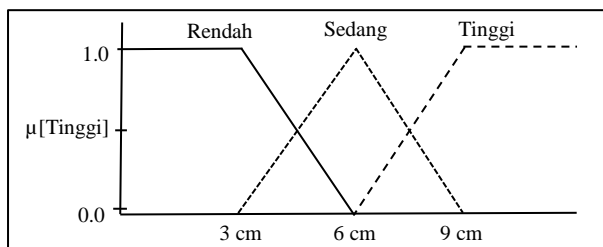
Gambar 10 Himpunan *Output* PWM Pendingin



Gambar 8 Himpunan *Input* pH



Gambar 11 Himpunan *Output* Pompa Nutrisi



Gambar 9 Himpunan *Input* Ketinggian

2) Rule Base

Tabel 2 adalah *rule base* dari *input* suhu dan *input* ketinggian untuk menentukan *rule* pwm motor driver yang diproses perhitungan *inferensi* dan *defuzzifikasi* sehingga didapatkan nilai persentase kecepatan yang akan dijalankan aktuator pompa pendingin. Tabel 3 adalah *rule base* dari *input* kadar pH dan *input* ketinggian untuk menentukan *rule* durasi waktu pompa nutrisi yang diproses perhitungan *inferensi* dan *defuzzifikasi* sehingga didapatkan nilai lama durasi yang akan dijalankan aktuator pompa nutrisi.

Tabel 2 Fuzzy Rule Suhu, Ketinggian dan PWM Motor Driver

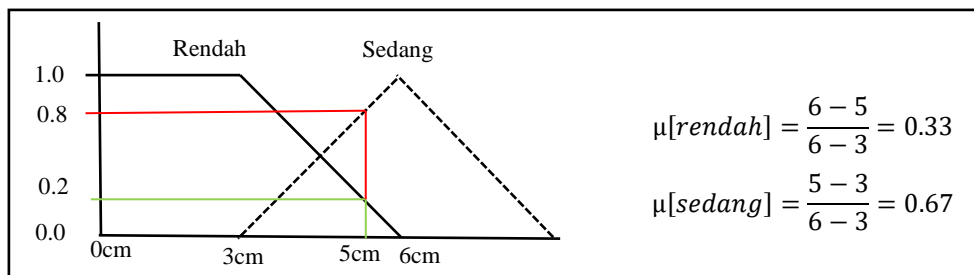
Suhu \ Tinggi	Suhu		
	Dingin	Normal	Panas
Rendah	Lambat	Lambat	Sedang
Sedang	Lambat	Sedang	Cepat
Tinggi	Sedang	Cepat	Cepat

Tabel 3 Fuzzy Rule pH, Ketinggian dan Waktu Pompa

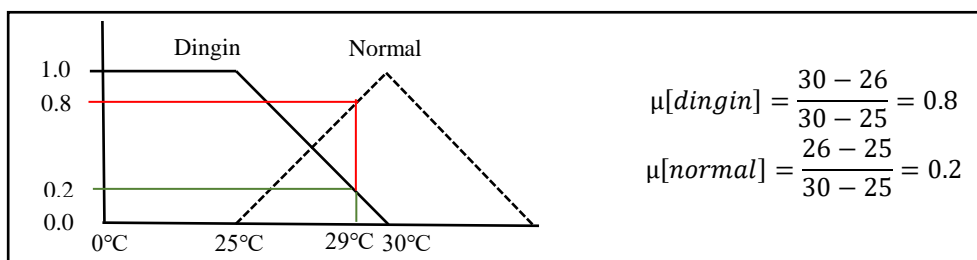
pH \ Tinggi	pH		
	Asam	Netral	Basa
Rendah	Sebentar	Sebentar	Sedang
Sedang	Sebentar	Sedang	Lama
Tinggi	Sedang	Lama	Lama

3) Hasil Perhitungan

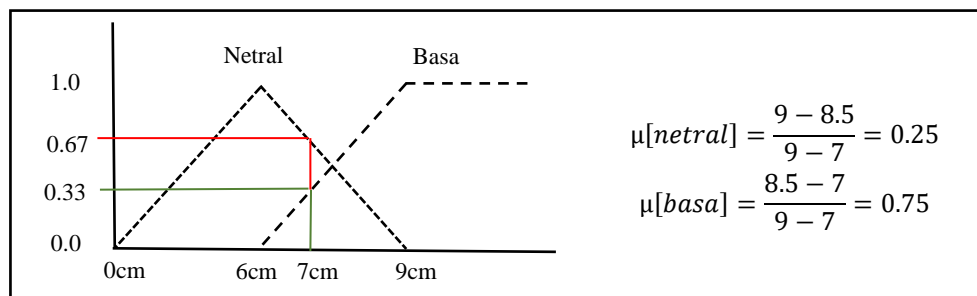
Pengujian Perhitungan jika diketahui ketinggian air 5cm, suhu 26°C dan pH 8.5 berapa nilai *output* PWM aktuator pendingin dan nilai durasi pompa nutrisi.



Gambar 12 Fuzzifikasi Himpunan Input Ketinggian Air



Gambar 13 Fuzzifikasi Himpunan Input Suhu



Gambar 14 Fuzzifikasi Himpunan Input pH

• Mencari nilai PWM Motor Driver

[R1] Jika ketinggian rendah dan suhu dingin, maka pwm lambat

$$\begin{aligned} a - \text{predikat}_1 &= \min(\mu_{\text{rendah}}[0.33], \mu_{\text{dingin}}[0.8]) \\ &= \min(0.33; 0.8) \\ &= 0.33 \end{aligned}$$

Output pwm lambat

$$(40 - z) / 10 = 0.33 \rightarrow Z_1 = 36.7$$

[R2] Jika ketinggian rendah dan suhu normal, maka pwm lambat

$$\begin{aligned} a - \text{predikat}_2 &= \min(\mu_{\text{rendah}}[0.33], \mu_{\text{normal}}[0.2]) \\ &= \min(0.33; 0.2) \\ &= 0.2 \end{aligned}$$

Output pwm lambat

$$(40 - z) / 10 = 0.2 \rightarrow Z_2 = 38$$

[R3] Jika ketinggian sedang dan suhu dingin, maka pwm lambat

$$\begin{aligned} a - \text{predikat}_3 &= \min(\mu_{\text{sedang}}[0.67], \mu_{\text{dingin}}[0.8]) \\ &= \min(0.67; 0.8) \\ &= 0.67 \end{aligned}$$

Output pwm lambat

$$(40 - z) / 10 = 0.67 \rightarrow Z_3 = 33.3$$

[R4] Jika ketinggian sedang dan suhu normal, maka pwm sedang

$$\begin{aligned} a - \text{predikat}_4 &= \min(\mu_{\text{sedang}}[0.67], \mu_{\text{normal}}[0.2]) \\ &= \min(0.67; 0.2) \\ &= 0.2 \end{aligned}$$

Output pwm sedang

$$\begin{aligned}(z_a - 30) / 10 = 0.2 &\quad \rightarrow Z_a = 32 \\ (50 - z_b) / 10 = 0.2 &\quad \rightarrow Z_b = 48 \\ (32 + 48) / 2 = 40 &\quad \rightarrow Z_4 = 40\end{aligned}$$

Mencari nilai Z pwm

$$\begin{aligned}Z &= \frac{(0.33 \times 36.7) + (0.2 \times 38) + (0.67 \times 33.3) + (0.2 \times 40)}{0.33 + 0.2 + 0.67 + 0.2} \\ &= \frac{50.022}{1.4} \\ &= 35.73\end{aligned}$$

Jadi kecepatan PWM yang harus dijalankan oleh aktuator pendingin adalah sebesar 35.73%

- Mencari nilai durasi pompa nutrisi

[R1] Jika ketinggian rendah dan pH netral, maka durasi pompa sebentar

$$\begin{aligned}a - \text{predikat}_1 &= \min(\mu_{\text{rendah}}[0.33], \mu_{\text{netral}}[0.25]) \\ &= \min(0.33; 0.25) \\ &= 0.25\end{aligned}$$

Output durasi pompa sebentar

$$(2 - z) / 1 = 0.25 \rightarrow Z_1 = 1.75$$

[R2] Jika ketinggian rendah dan pH basa, maka durasi pompa sedang

$$\begin{aligned}a - \text{predikat}_2 &= \min(\mu_{\text{rendah}}[0.33], \mu_{\text{basa}}[0.75]) \\ &= \min(0.33; 0.75) \\ &= 0.33\end{aligned}$$

Output durasi pompa sedang

$$(z_a - 1) / 1 = 0.33 \rightarrow Z_a = 1.33$$

$$(3 - z_b) / 1 = 0.33 \rightarrow Z_b = 2.67$$

$$(1.33 + 2.67) / 2 = 2 \quad \rightarrow Z_2 = 2$$

[R3] Jika ketinggian sedang dan pH netral, maka durasi pompa sedang

$$\begin{aligned}a - \text{predikat}_3 &= \min(\mu_{\text{sedang}}[0.67], \mu_{\text{netral}}[0.25]) \\ &= \min(0.67; 0.25) \\ &= 0.25\end{aligned}$$

Output durasi pompa sedang

$$(z_a - 1) / 1 = 0.25 \rightarrow Z_a = 1.25$$

$$(3 - z_b) / 1 = 0.25 \rightarrow Z_b = 2.75$$

$$(1.25 + 2.75) / 2 = 2 \quad \rightarrow Z_4 = 2$$

[R4] Jika ketinggian sedang dan pH basa, maka durasi pompa lama

$$\begin{aligned}a - \text{predikat}_4 &= \min(\mu_{\text{sedang}}[0.67], \mu_{\text{basa}}[0.75]) \\ &= \min(0.67; 0.75) \\ &= 0.67\end{aligned}$$

Output durasi pompa lama

$$(z - 2) / 1 = 0.67 \quad \rightarrow Z_1 = 2.67$$

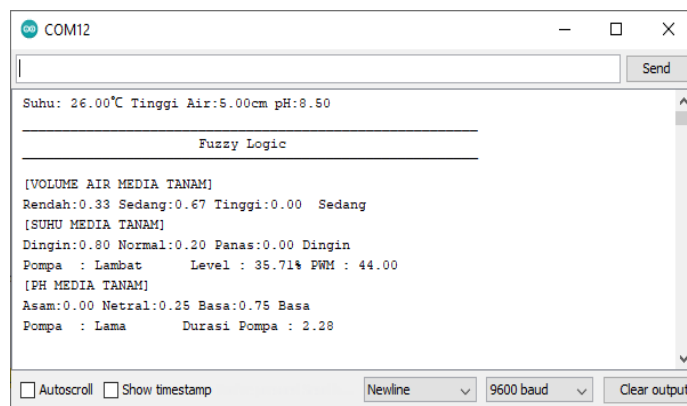
Mencari nilai Z output durasi pompa nutrisi:

$$\begin{aligned}Z &= \frac{(0.25 \times 1.75) + (0.33 \times 2) + (0.25 \times 2) + (0.67 \times 2.67)}{0.25 + 0.33 + 0.25 + 0.67} \\ &= \frac{50.022}{1.5} \\ &= 2.2576\end{aligned}$$

Jadi output durasi yang harus dijalankan oleh aktuator pompa nutrisi adalah selama 2.2576 detik

4) Hasil Perhitungan Sistem

Gambar 15 adalah serial monitor dan Gambar 16 adalah output lcd 16x2 menampilkan hasil perhitungan dari Fuzzy Logic Tsukamoto yang diimplementasikan pada sistem. Menampilkan informasi hasil nilai fuzzifikasi dan variabel linguistik, serta menampilkan hasil nilai defuzzifikasi yang akan dijalankan oleh modul aktuator.



Gambar 15 Output Serial Monitor



Gambar 16 Output LCD

C. Evaluasi

Berdasarkan perhitungan manual *fuzzifikasi* gambar 12, 13 dan 14 dan hasil *fuzzifikasi* dari sistem Arduino Uno gambar 15, menunjukkan hasil nilai dan himpunan linguistik yang sesuai. Untuk hasil *defuzzifikasi* pwm perhitungan manual diperoleh nilai 35.73 sedangkan perhitungan dari arduino diperoleh nilai 35.71, dengan selisih kesalahan 0,02. Hasil *defuzzifikasi* durasi pompa nutrisi perhitungan manual diperoleh nilai 2.2576 sedangkan perhitungan dari arduino diperoleh nilai 2.28, dengan selisih kesalahan 0.0224.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil tahapan penelitian yang sudah dilakukan dan hasil pengujian, maka dapat disimpulkan bahwa pengujian keberhasilan perhitungan *fuzzy* pada sistem sebesar 99,98%. *Fuzzy Logic Tsukamoto* yang diimplementasikan pada Sistem *Smart* Hidroponik berhasil mengontrol media tanam hidroponik dengan baik.

B. Saran

Implementasi *Fuzzy Logic Tsukamoto* pada sistem *smart* hidroponik sangat disarankan untuk menggunakan *Switch Case* dan perulangan *For* untuk efisiensi sistem. Menggunakan *delay* sangat tidak disarankan pada sistem ini, karena akan mengacaukan kinerja aktuator, penulis menyarankan menggunakan *millis* untuk jeda setiap proses.

PENGAKUAN

Naskah ilmiah ini adalah sebagian dari penelitian Tugas Akhir milik Dedy Prasetyo Pambudi dengan judul Sistem *Smart* Hidroponik Berbasis Arduino Dengan Algoritme *Fuzzy Logic* yang dibimbing oleh Deden Wahiddin dan Euis Nurlaelasari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pengembangan dan Pembinaan Bahasa, KBBI, Jakarta: Menteri Pendidikan dan Kebudayaan, 2016.
- [2] A. G. Malau, A. Yuliasrin, S. Haholongan and E. Gulo, "Meningkatkan Keterampilan Bercocok Tanam Dengan Metode Hidroponik di Kelurahan Mukakuning, Kota Batam," in *Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Terbuka*, Batam, 2018.
- [3] R. Muharomah, B. I. Setiawan and M. Y. J. Purwanto, "Konsumsi dan Kebutuhan Air Selama Pada Teknik Hidroponik Sistem Terapung," *Jurnal Irigasi*, vol. 12, no. 1, p. 47, 2017.
- [4] A. Wahyuningsih, S. Fajriani and N. Aini, "Komposisi Nutrisi dan Media Tanam Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa L.*) Sistem Hidroponik," *Jurnal Produksi Tanaman*, vol. 4, no. 8, pp. 595-601, 2016.
- [5] P. M. Lestari and N. Aini, "Komposisi Nutrisi dan Media Tanam Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Selada Romaine (*Lactuca sativa var. romana L.*) Sistem Hidroponik Substrat," *Jurnal Produksi Tanaman*, vol. 6, no. 3, pp. 455-462, 2018.

- [6] I. S. Yuniarchisti, "Pengaruh Ketinggian Lokasi Penanaman Kentang (*Solanum Tuberosum* L) Medians dan Suhu Heat Moisture Treatment (HMT) Terhadap Sifat Fisikokimia Pati Termodifikasi," Universitas Pasundan, Bandung, 2019.
- [7] W. Amaliah, H. Suhardiyanto and M. Syukur, "Sebaran Suhu Daerah Perakaran pada Sistem Hidroponik untuk Budidaya Tanaman Cabai di Kawasan Tropika," *JTEP Jurnal Keteknik Pertanian*, vol. 7, no. 1, pp. 25-32, 2019.
- [8] A. Jalil, "Sistem Kontrol Deteksi Level Air Pada Media Tanam Hidroponik Berbasis Arduino Uno," *Jurnal IT*, vol. 8, no. 2, pp. 97-101, 2017.
- [9] T. A. Firmansah and K. E. Susilo, "Prototype Sistem Monitoring dan Kontroling Banjir Berbasis Internet of Things Menggunakan ESP32," *Techno Xplore Jurnal Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*, vol. 5, no. 1, pp. 33-40, 2020.
- [10] D. Pancawati and A. Yulianto, "Implementasi Fuzzy Logic Controller untuk Mengatur Ph Nutrisi pada Sistem Hidroponik Nutrient Film Technique (NFT)," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 5, no. 2, pp. 278-289, 2016.
- [11] A. N. Trilaksono, R. Sitepu and W. Andyardja, "Prototype Sistem Pendingin Larutan Nutrisi Pembibitan Pada Hidroponik Berbasis Termoelectric Cooler (TEC)," *Scientif Journal Widya Teknik*, vol. 17, no. 2, pp. 41-51, 2018.
- [12] A. Nurman, H. Hikmayanti and J. Indra, "Penggunaan Arduino untuk Monitoring dan Otomatisasi Instrumen Penunjang Ruang Kelas," *Scientific Student Journal for Information, Technology and Science*, vol. 1, no. 2, pp. 77-85, 2020.
- [13] S. Kusumadewi and H. Purnomo, *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.
- [14] A. Zaki, O. Mahgoub, A. El-Shafei and A. Soliman, "Control of Efficient Intelligent Robotic Gripper Using Fuzzy Inference System," in *FUZZY INFERENCE SYSTEM – THEORY AND APPLICATIONS*, Rijeka, InTech, 2012, pp. 85-112.