

Penerapan *Internet of Things* untuk Pemantauan dan Otomatisasi Pemberian Nutrisi pada Sistem Hidroponik Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto

Novianto^{*1}, Nurchim², Bondan Wahyu Pamekas³

^{1,2,3}Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Duta Bangsa

Email: ^{*1}novianto.newbie@gmail.com, ²nurchim@udb.ac.id, ³bondan_wahyupamekas@udb.ac.id

(Naskah masuk: 7 September 2024, diterima untuk diterbitkan: 19 September 2024)

Abstrak: Pada pertanian menggunakan teknik hidroponik, proses pemantauan dan penyesuaian nutrisi merupakan salah satu faktor yang menjadi kunci keberhasilan pertanian. Kesalahan ketika proses pemantauan dan penyesuaian nutrisi dapat mengakibatkan hasil panen tidak optimal, bahkan mengalami kegagalan. Untuk mempermudah proses pemantauan dan penyesuaian nutrisi dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT). Dengan menggunakan ESP32 yang dihubungkan dengan sensor TDS, sensor suhu, sensor pH dan sensor ultrasonic, data kondisi lingkungan berupa data kadar nutrisi air, suhu air, pH air dan volume air dapat diambil kemudian dikirimkan ke server. Sehingga nantinya proses pemantauan dapat dilakukan dengan mudah melalui aplikasi web. Untuk proses pemberian nutrisi, ESP32 yang dihubungkan dengan pompa nutrisi dapat digunakan untuk mengatur pemberian nutrisi. Proses pemberian nutrisi selanjutnya dapat diotomatisasi dengan menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto. Hasil penelitian yang dilakukan, menunjukkan bahwa penerapan metode Fuzzy Tsukamoto untuk otomatisasi pemberian nutrisi dapat bekerja dengan cukup baik. Dimana 9 dari 10 percobaan yang dilakukan mendapatkan hasil yang sesuai. Kemudian untuk proses otomatisasi menunjukkan akurasi yang cukup tinggi, dimana semua percobaan mendapatkan hasil diatas 89%.

Kata Kunci – IoT; Otomatisasi; Hidroponik; Fuzzy; Tsukamoto

Implementation of IoT for Monitoring and Automation of Nutrient Delivery In Hydroponic System Using Fuzzy Tsukamoto Method

Abstract: In hydroponic agriculture, monitoring and adjusting nutrients is a key factor for success. Errors in the monitoring and adjustment process can result in suboptimal harvests or even failure. To streamline the monitoring and adjustment process, *Internet of Things* (IoT) technology can be utilized. By using an ESP32 connected to TDS sensors, temperature sensors, pH sensors, and ultrasonic sensors, environmental data such as water nutrient levels, water temperature, pH levels, and water volume can be collected and transmitted to a server. This enables easy monitoring through a web application. For nutrient delivery, the ESP32, when connected to a nutrient pump, can be used to control nutrient application. This process can then be automated using the Fuzzy Tsukamoto method. Research has shown that applying the Fuzzy Tsukamoto method for automating nutrient delivery performs quite well, with 9 out of 10 trials yielding satisfactory results. Moreover, the automation process demonstrates high accuracy, with all trials achieving results above 89%.

Keywords – IoT; Automation; Hydroponic; Fuzzy; Tsukamoto

1. PENDAHULUAN

Hidroponik adalah kegiatan menanam tanaman yang menekankan pemenuhan kebutuhan nutrisi bagi tanaman dengan cara melarutkannya pada air, kemudian mengalirkannya secara langsung ke tanaman, tanpa menggunakan media tanah [4]. Hidroponik memiliki beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan pertanian konvensional, diantaranya adalah penggunaan air yang lebih efisien, kemudahan dalam pengecekan dan pengontrolan kondisi lingkungan, dan dapat diterapkan pada lahan yang sempit. Hal tersebut membuat pertanian menggunakan metode hidroponik menjadi satu teknik pada pertanian yang banyak digemari.

Hal utama yang perlu diperhatikan ketika menggunakan sistem hidroponik adalah memastikan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman berada pada kondisi yang optimal. Faktor-faktor tersebut diantaranya adalah kadar nutrisi, pH (*Potential of Hydrogen*) air, dan suhu air. Kadar nutrisi merupakan salah satu faktor paling penting yang mempengaruhi kualitas dan hasil panen. Umumnya, kadar nutrisi dihitung berdasarkan tingkat kepekatannya menggunakan ukuran PPM (*Parts Per Million*). Menurut [6], “pengukuran kepekatan larutan nutrisi hidroponik diperlukan untuk menyesuaikan kebutuhan nutrisi dengan umur dan fase pertumbuhan tanaman. Penambahan atau peningkatan PPM nutrisi disesuaikan dengan umur tanaman, semakin tua umur tanaman maka semakin tinggi PPM yang dibutuhkan”. Pemberian kadar nutrisi yang tidak sesuai dapat menyebabkan tanaman tumbuh dengan tidak optimal. Selain itu kandungan pH pada air juga dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. [6] Menjelaskan, “biasanya, tanaman hidroponik menghendaki nilai pH optimal pada kisaran 5.5- 7.5. Nilai pH diluar kisaran itu akan sangat menghambat kemampuan akar dalam menyerap nutrisi didalam larutan”. Kemudian untuk suhu pada larutan nutrisi hidroponik, tanaman memerlukan suhu dengan rentang antara 18 derajat Celcius hingga 28 derajat Celcius. Suhu larutan nutrisi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan tingkat Oksigen terlarut menurun, bahkan bisa tidak tersedia sama sekali [6].

Untuk memastikan faktor-faktor tersebut berada pada kondisi yang optimal, perlu dilakukan pemantauan dan penyesuaian secara berkala. Menurut [8], “pemantauan (*Monitoring*) merupakan proses rutin pengumpulan data dan pengukuran kemajuan atas objek atau memantau perubahan yang fokus pada proses dan keluaran”. Proses pemantauan dan penyesuaian dilakukan dengan cara melakukan pengukuran nilai dari masing-masing faktor lingkungan menggunakan alat ukur, kemudian melakukan penyesuaian ketika ada nilai yang tidak optimal. Selain pengukuran faktor-faktor tersebut, diperlukan juga pengukuran volume air nutrisi yang tersedia, hal tersebut untuk memastikan sistem hidroponik tidak kehabisan air nutrisi, yang mana hal tersebut dapat menyebabkan tanaman mati. Proses pemantauan dan penyesuaian inilah yang umumnya menjadi kendala bagi sebagian petani hidroponik. Kesalahan pada proses pemantauan dan penyesuaian seringkali menyebabkan petani hidroponik mendapatkan hasil panen yang tidak optimal, bahkan mengalami gagal panen.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan pada [3], menghasilkan sebuah sistem pemantauan tanaman hidroponik yang dibuat menggunakan perangkat Arduino Mega 2560, modul Wemos D1 R1, sensor pH, sensor kelembapan, sensor ultrasonic dan sensor intensitas cahaya. Sistem yang dibuat menerapkan metode Fuzzy Sugeno untuk melakukan kontrol tingkat pH dan ketinggian air. Penelitian lain yang dilakukan pada [2], menghasilkan prototipe alat yang digunakan untuk perawatan dan pemberian nutrisi secara otomatis. Penelitian tersebut menggunakan Fuzzy logic yang diterapkan untuk melakukan kontrol nutrisi dan pencahayaan otomatis menggunakan lampu LED. Kontrol nutrisi dilakukan berdasarkan masukan dari data ketinggian air dan kadar nutrisi. Penelitian lain yang dilakukan pada [1], menghasilkan prototipe sistem pembuatan nutrisi secara otomatis. Sistem yang dibuat akan membuat larutan nutrisi berdasarkan umur dari tanaman.

Berdasarkan referensi penelitian-penelitian terdahulu, penulis melakukan penelitian lanjutan untuk membuat solusi permasalahan pemantauan dan penyesuaian nutrisi dengan beberapa pembaharuan. Penelitian yang dilakukan bertujuan membuat prototipe alat yang dapat digunakan untuk pemantauan dan otomatisasi penyesuaian nutrisi pada sistem hidroponik. Menurut [14], “Otomatisasi adalah menggunakan teknologi untuk menjalankan tugas-tugas yang sebelumnya dilakukan oleh manusia”. Teknologi yang digunakan untuk mencapai hal tersebut adalah teknologi *Internet of Things* (IoT). IoT adalah suatu perangkat yang memanfaatkan jaringan internet untuk saling terhubung dan berbagi data [5]. Dengan menggunakan perangkat ESP32 yang dihubungkan dengan sensor-sensor, seperti sensor TDS, sensor pH, sensor ultrasonic dan sensor suhu, proses pengukuran kadar nutrisi, pH air, volume air dan suhu air dapat dilakukan secara otomatis. Hasil pengukuran tersebut selanjutnya dikirimkan ke *server*, sehingga nantinya dapat dilakukan pemantauan pada aplikasi web secara *real time* dari mana saja.

Untuk melakukan penyesuaian kadar nutrisi, perangkat IoT dapat digunakan sebagai *controller* untuk mengendalikan penambahan nutrisi dan air baku. Perangkat IoT yang dihubungkan

dengan perangkat *water pump* nantinya dapat digunakan untuk melakukan penambahan nutrisi dan air baku. Proses penyesuaian tersebut selanjutnya dapat dilakukan secara otomatis dengan menerapkan Logika Fuzzy. Menurut [7], "Logika Fuzzy adalah peningkatan dari logika Boolean yang berhadapan dengan konsep kebenaran sebagian". Logika Fuzzy dapat digunakan untuk memetakan *output* berdasarkan *input* yang diberikan, menggunakan *rule* yang sebelumnya telah didefinisikan. Ada beberapa metode yang dapat digunakan pada Logika Fuzzy, salah satunya adalah Fuzzy Tsukamoto. [7] Menjelaskan, "Fuzzy Tsukamoto menghasilkan *output* hasil inferensi dari tiap-tiap aturan yang diberikan secara tegas berdasarkan α -predikat. Kemudian hasil akhirnya diperoleh dengan rata-rata terbobot". Fuzzy Tsukamoto akan diterapkan dengan menggunakan data kadar nutrisi, suhu dan volume air sebagai masukan, selanjutnya *output* yang dihasilkan digunakan untuk mengontrol pemberian nutrisi dan air baku. Dengan memanfaatkan teknologi IoT yang dikombinasikan dengan Fuzzy Tsukamoto diharapkan dapat memberikan kemudahan untuk melakukan pemantauan dan otomatisasi pemberian nutrisi pada sistem hidroponik.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, ada beberapa tahapan yang dilakukan untuk dapat membangun prototipe alat untuk pemantauan dan otomatisasi pemberian nutrisi pada sistem hidroponik. Tahapan-tahapan yang dilalui diantaranya adalah tahap perencanaan, tahap perancangan, tahap implementasi dan tahap pengujian.

2.1. Perencanaan

Pada tahap perencanaan, dilakukan proses identifikasi kebutuhan dari prototipe alat untuk pemantauan dan otomatisasi pemberian nutrisi pada sistem hidroponik yang akan dibuat. Identifikasi kebutuhan yang dilakukan mencakup kebutuhan perangkat dan *tools* yang digunakan, kebutuhan terkait fitur-fitur apa saja yang diperlukan dan juga terkait bagaimana pemrosesan akan dilakukan. Proses identifikasi kebutuhan tersebut dilakukan dengan cara melakukan studi pustaka dan *internet searching*. Pada tahap ini dihasilkan daftar kebutuhan sebagai berikut:

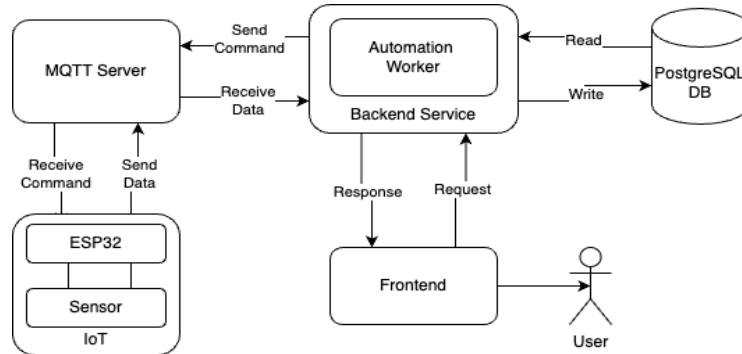
- Perangkat yang digunakan adalah ESP32 sebagai *controller*, kemudian untuk sensor yaitu sensor pH, sensor TDS, sensor suhu, sensor ultrasonic dan sensor *water flow*.
- Sebagai aktuator, digunakan 4 buah pompa, yaitu pompa air nutrisi, pompa air baku, pompa pupuk nutrisi dan pompa pengaduk.
- Proses otomatisasi dilakukan berdasarkan logika Fuzzy Tsukamoto dengan masukan variabel kadar nutrisi, suhu, dan volume air.
- Proses pemantauan kadar pH, kadar nutrisi, suhu, volume air nutrisi dan volume air baku akan dilakukan secara *real time* pada aplikasi berbasis web.
- Pada aplikasi berbasis web disediakan fitur pengaturan jenis tanaman yang ditanam dan pengaturan variabel yang digunakan pada logika Fuzzy.
- Aplikasi berbasis web dibuat menggunakan bahasa Golang untuk *backend service* dengan basis data Postgresql. Untuk *frontend* menggunakan ReactJS.
- Proses perhitungan Fuzzy dilakukan pada *worker* yang terdapat pada *backend service*. Hasil perhitungan tersebut nantinya dikirimkan ke perangkat IoT berupa perintah untuk menjalankan otomatisasi.

2.2. Perancangan

Berdasarkan data kebutuhan yang telah didapatkan pada tahap perencanaan, selanjutnya dilakukan proses perancangan untuk mendapatkan gambaran lebih detail terkait dengan prototipe alat untuk pemantauan dan otomatisasi pemberian nutrisi pada sistem hidroponik yang akan dibuat. Perancangan yang dibuat meliputi perancangan arsitektur, perancangan blok diagram, perancangan *wiring* diagram, perancangan *flowchart*, perhitungan Fuzzy dan perhitungan nutrisi.

2.2.1 Perancangan arsitektur

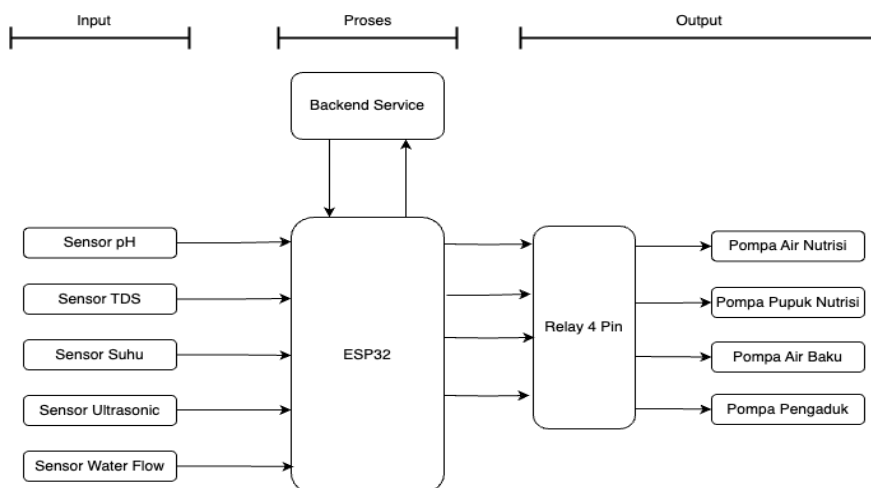
Perancangan arsitektur dalam konteks pengembangan perangkat lunak bertujuan untuk memberikan gambaran terkait elemen-elemen yang membentuk perangkat lunak dan antarmuka-antarmuka yang menghubungkan elemen-elemen tersebut guna untuk mewujudkan fungsionalitas perangkat lunak yang diharapkan [9]. Dalam penelitian ini, perancangan arsitektur bertujuan untuk memberikan gambaran terkait komponen apa saja yang dibutuhkan dan bagaimana komponen-komponen tersebut saling berinteraksi guna untuk mencapai tujuan yang diharapkan. Komponen yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah basis data PostgreSQL, *Backend service*, *Frontend*, MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) server dan perangkat IoT. Rancangan arsitektur sistem dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Rancangan arsitektur sistem

2.2.2. Perancangan blok diagram

Menurut [10], “Diagram blok adalah gambaran grafis yang menggambarkan hubungan antara *input* dan *output* pada sistem fisik dengan menggunakan simbol-simbol yang mewakili komponen atau proses dalam sistem tersebut”. Pada penelitian ini, komponen yang berfungsi sebagai *input* adalah sensor pH, sensor TDS, sensor suhu, sensor ultrasonic dan sensor *water flow*. Kemudian untuk komponen proses, terdapat *controller* ESP32 dan *backend service*. Dan yang terakhir, pada komponen *output* terdapat 4 buah *water pump* yang dikendalikan menggunakan relay 4 pin. Rancangan blok diagram dapat dilihat pada gambar 2.

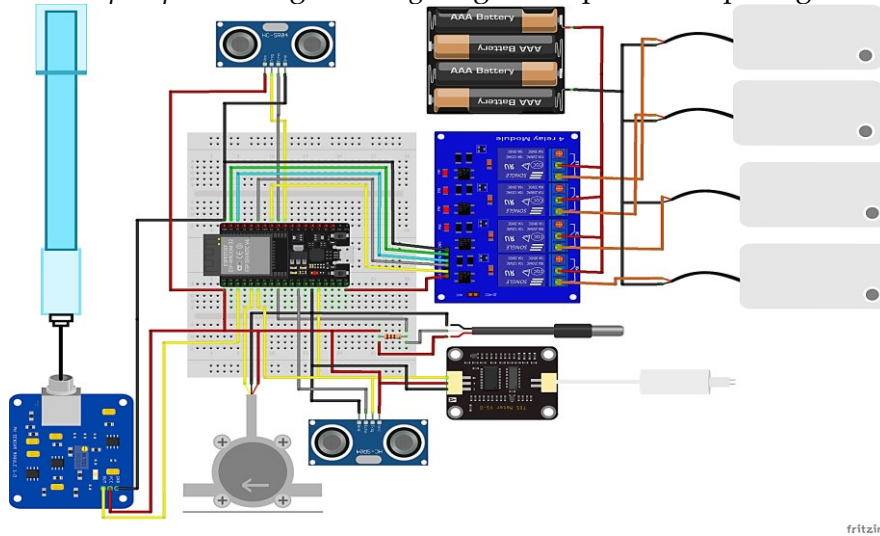


Gambar 2. Rancangan blok diagram

2.2.3. Perancangan wiring diagram

Wiring diagram merupakan sebuah diagram yang menunjukkan bagaimana komponen-komponen dihubungkan [11]. Proses perancangan *wiring* diagram meliputi penentuan pin mana

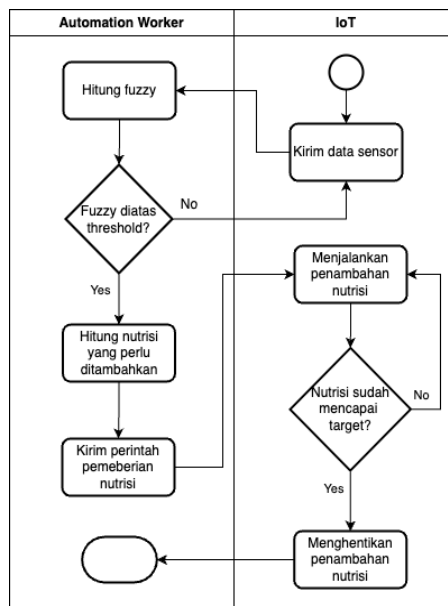
yang akan digunakan untuk menghubungkan antara perangkat *microcontroller* dalam hal ini ESP32 dengan komponen *input* yang berupa sensor-sensor, dan juga dengan komponen *output* yang berupa relay dan *water pump*. Rancangan *wiring diagram* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Rancangan wiring diagram

2.2.5. Perancangan flowchart diagram

Flowchart adalah gambaran grafis dari urutan proses atau langkah-langkah yang digunakan untuk menyelesaikan suatu tugas atau masalah [12]. Sejalan dengan hal tersebut, [16] menjelaskan, “setiap langkah atau keputusan direpresentasikan oleh bentuk geometris, seperti persegi panjang atau berlian, dan dihubungkan oleh panah yang menunjukkan aliran kerja atau aliran data yang ditentukan”. Pada penelitian ini, *flowchart* digunakan untuk menggambarkan proses atau langkah-langkah untuk menjalankan otomatisasi. Rancangan *flowchart* diagram dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Rancangan flowchart diagram

2.2.5. Perhitungan Fuzzy

Menurut [7], “logika Fuzzy adalah peningkatan dari logika *boolean* yang berhadapan dengan konsep kebenaran sebagian. Saat logika klasik menyatakan bahwa segala hal dapat diekspresikan dalam istilah biner (0 atau 1), logika Fuzzy menggantikan kebenaran *boolean* dengan tingkat

kebenaran". Logika Fuzzy memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1. Ada 3 proses utama pada Logika Fuzzy yaitu fuzzifikasi, sistem inferensi dan defuzzifikasi.

- a. Fuzzifikasi adalah proses mengubah masukan dari bentuk tegas (*crisp*) menjadi samar (Fuzzy), yang kemudian disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan Fuzzy dalam fungsi keanggotaannya masing-masing.
- b. Sistem inferensi adalah acuan untuk menjelaskan hubungan antara variabel-variabel masukan dan variabel keluaran. Hubungan tersebut dijelaskan menggunakan aturan "IF A THEN B", dimana A adalah premis dan B adalah konsekuen.
- c. Defuzzifikasi adalah proses untuk mengubah variabel berbentuk Fuzzy menjadi nilai yang tegas (*crisp*).

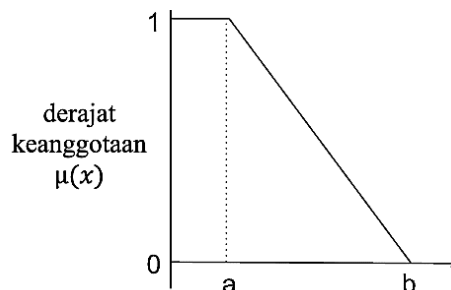
Salah satu metode yang cukup populer digunakan pada logika Fuzzy adalah metode Fuzzy Tsukamoto. Menurut [7], "setiap konsekuen pada aturan yang berbentuk IF-THEN harus direpresentasikan dengan suatu himpunan Fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang monoton. Sebagai hasilnya, output hasil inferensi dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas berdasarkan α -predikat. Hasil akhirnya diperoleh dengan menggunakan rata-rata terbobot".

Pada penelitian ini variabel yang digunakan untuk masukan Fuzzy adalah kadar nutrisi, volume air nutrisi dan suhu air. Sedangkan untuk variabel keluaran yang digunakan adalah otomatisasi. Masing-masing variabel tersebut selanjutnya ditentukan nilai linguistik dan numerisnya. Menurut [13], "linguistik merupakan penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami. Sedangkan numeris merupakan nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel". Nilai linguistik dan numeris masing-masing variabel dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai linguistik

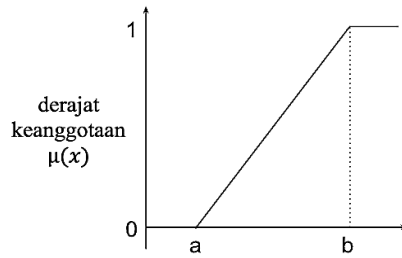
Variabel	Linguistik	Numeris
Kadar nutrisi	Tinggi, optimal dan rendah	Nilai numeris diberikan secara dinamis berdasarkan pengaturan yang dimasukkan
Volume air nutrisi	Banyak, sedang dan sedikit	
Suhu air	Panas, optimal dan dingin	
Otomatisasi	Tidak dijalankan dan dijalankan	1 dan 3

Berdasarkan [13], "fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam nilai keanggotaannya (derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi". Pada penelitian ini fungsi keanggotaan yang digunakan berupa representasi kurva segitiga dan representasi kurva bahu. Representasi kurva bahu dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6. Untuk persamaan yang digunakan dapat dilihat pada persamaan 1 dan persamaan 2.



Gambar 5. Representasi kurva bahu kanan

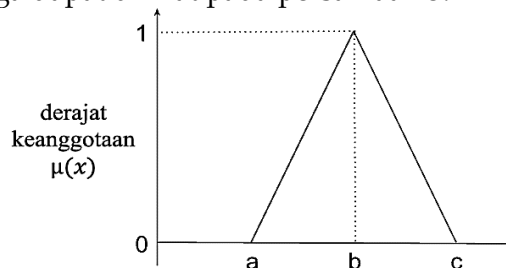
$$\mu [x] = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ (b - x) / (b - a); & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \quad (1)$$



Gambar 6. Representasi kurva bahu kiri

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ (x - a) / (b - a); & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases} \quad (2)$$

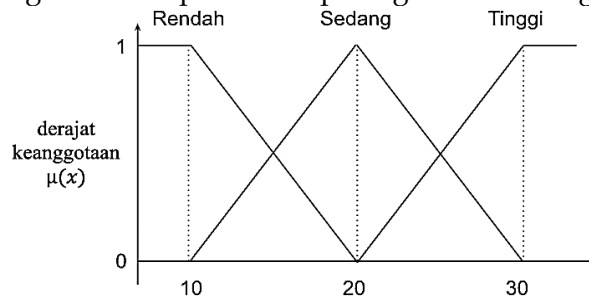
Untuk representasi kurva segitiga dapat dilihat pada gambar 7, dan untuk persamaan yang digunakan pada kurva segitiga dapat dilihat pada persamaan 3.



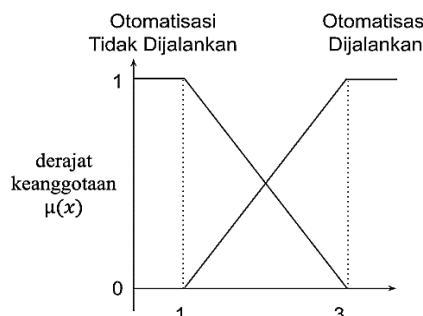
Gambar 7. Representasi kurva segitiga

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ (x - a) / (b - a); & a \leq x \leq b \\ (c - x) / (c - b); & b \leq x \leq c \\ 0; & x \geq c \end{cases} \quad (3)$$

Pada implementasinya, representasi kurva yang digunakan pada variabel masukan mengkombinasikan representasi kurva bahu dan representasi kurva segitiga, sedangkan pada variabel keluaran, representasi kurva yang digunakan adalah representasi kurva bahu. Implementasi kurva yang digunakan dapat dilihat pada gambar 8 dan gambar 9.



Gambar 8. Representasi kurva variabel masukan



Gambar 9. Representasi kurva variabel keluaran

a. Kadar nutrisi

Jika suatu tanaman memiliki nilai nutrisi "optimal" pada umur tertentu dengan nilai 100 ppm, kemudian ditentukan bahwa pengaturan Fuzzy untuk kadar nutrisi adalah 10% maka kadar "tinggi" nutrisinya adalah 110 ppm dan untuk kadar "rendah" nutrisinya adalah 90 ppm. Sehingga fungsi keanggotaan kadar nutrisi dapat ditentukan seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Fungsi keanggotaan kadar nutrisi

Linguistik	Kondisi	Fungsi Keanggotaan
Rendah	$x \leq 90$	1
	$90 \leq x \leq 100$	$(100 - x)/(100 - 90)$
	$x \geq 100$	0
Optimal	$x \leq 90$ atau $x \geq 110$	0
	$90 \leq x \leq 100$	$(x - 90)/(100 - 90)$
	$100 \leq x \leq 110$	$(110 - x)/(110 - 100)$
Tinggi	$x \leq 100$	0
	$100 \leq x \leq 110$	$(x - 100)/(110 - 100)$
	$x \geq 110$	1

b. Volume air nutrisi

Berbeda dari kadar nutrisi, volume air nutrisi harus ditentukan spesifik nilainya untuk masing-masing linguistik. Satuan yang digunakan pada volume air nutrisi adalah cm³ atau mL. Satu liter sama dengan 1000 mililiter (mL) atau 1000 sentimeter kubik (cm³) [15]. Jika penampung air nutrisi memiliki ukuran 5000 cm³, maka 5000 cm³ adalah nilai volume air nutrisi maksimal yang dapat dicapai. Kemudian untuk nilai minimalnya adalah 0. Berdasarkan rentang tersebut dapat ditentukan nilai numerik dari masing-masing linguistik yaitu untuk "banyak" memiliki nilai 4500 cm³, selanjutnya untuk "sedang" adalah 3000 cm³ dan yang terakhir untuk "sedikit" nilainya 1000 cm³. Berdasarkan data tersebut, dapat ditentukan fungsi keanggotaan seperti yang terlihat pada tabel 3.

Tabel 3. Fungsi keanggotaan volume air

Linguistik	Kondisi	Fungsi Keanggotaan
Sedikit	$x \leq 1000$	1
	$1000 \leq x \leq 3000$	$(3000 - x)/(3000 - 1000)$
	$x \geq 3000$	0
Sedang	$x \leq 1000$ atau $x \geq 3000$	0
	$1000 \leq x \leq 3000$	$(x - 1000)/(3000 - 1000)$
	$3000 \leq x \leq 4500$	$(4500 - x)/(4500 - 3000)$
Banyak	$x \leq 3000$	0
	$3000 \leq x \leq 4500$	$(x - 3000)/(4500 - 3000)$
	$x \geq 4500$	1

c. Suhu air

Meskipun suhu air berbeda dari kadar nutrisi, yang mana pada kadar nutrisi setiap penambahan umur menyebabkan kebutuhan nutrisi yang berbeda, tetapi pada suhu air setiap tanaman yang berbeda juga akan memiliki suhu optimal yang berbeda. Oleh karena itu penentuan nilai linguistik suhu air juga akan menggunakan pengaturan persentase seperti pada kadar nutrisi. Jika suatu tanaman memiliki suhu "optimal" 25 °C, kemudian ditentukan bahwa pengaturan Fuzzy untuk suhu air adalah 10% maka nilai numerik untuk linguistik untuk suhu air "panas" 27.5 °C dan untuk suhu air "dingin" adalah 22.5 °C. Fungsi keanggotaan suhu air dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Fungsi keanggotaan suhu air

Linguistik	Kondisi	Fungsi Keanggotaan
Dingin	$x \leq 22.5$	1
	$22.5 \leq x \leq 25$	$(25 - x)/(25 - 22.5)$
	$x \geq 25$	0
Optimal	$x \leq 22.5$ atau $x \geq 27.5$	0
	$22.5 \leq x \leq 25$	$(x - 22.5)/(25 - 22.5)$
	$25 \leq x \leq 27.5$	$(27.5 - x)/(27.5 - 25)$
Panas	$x \leq 25$	0
	$25 \leq x \leq 27.5$	$(x - 25)/(27.5 - 25)$
	$x \geq 27.5$	1

d. Otomatisasi

Pada variabel otomatisasi, tidak ada acuan khusus yang digunakan untuk menentukan nilainya. Sehingga disini nilai untuk linguistik “tidak dijalankan” ditentukan dengan nilai 1, sedangkan untuk linguistik “dijalankan” ditentukan dengan nilai 3. Fungsi keanggotaan otomatisasi dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Fungsi keanggotaan otomatisasi

Linguistik	Kondisi	Fungsi Keanggotaan
Tidak dijalankan	$x \leq 1$	1
	$1 \leq x \leq 3$	$(3 - x)/(3 - 1)$
	$x \geq 3$	0
Dijalankan	$x \leq 1$	0
	$1 \leq x \leq 3$	$(x - 1)/(3 - 1)$
	$x \geq 3$	1

Berdasarkan linguistik yang dimiliki masing-masing variabel, selanjutnya ditentukan aturan yang nantinya digunakan pada proses inferensi. Detail aturan dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Aturan

Aturan	Nutrisi	Volume	Suhu	Otomatisasi
R1	rendah	sedikit	dingin	dijalankan
R2	rendah	sedikit	optimal	dijalankan
R3	rendah	sedikit	panas	dijalankan
R3	optimal	sedikit	dingin	dijalankan
R5	optimal	sedikit	optimal	dijalankan
R6	optimal	sedikit	panas	dijalankan
R7	tinggi	sedikit	dingin	dijalankan
R8	tinggi	sedikit	optimal	dijalankan
R9	tinggi	sedikit	panas	dijalankan
R10	rendah	sedang	dingin	dijalankan
R11	rendah	sedang	optimal	dijalankan
R12	rendah	sedang	panas	dijalankan
R13	optimal	sedang	dingin	tidak dijalankan
R14	optimal	sedang	optimal	tidak dijalankan
R15	optimal	sedang	panas	dijalankan
R16	tinggi	sedang	dingin	dijalankan
R17	tinggi	sedang	optimal	dijalankan
R18	tinggi	sedang	panas	dijalankan

Aturan	Nutrisi	Volume	Suhu	Otomatisasi
R19	rendah	banyak	dingin	dijalankan
R20	rendah	banyak	optimal	dijalankan
R21	rendah	banyak	panas	dijalankan
R22	optimal	banyak	dingin	tidak dijalankan
R23	optimal	banyak	optimal	tidak dijalankan
R24	optimal	banyak	panas	tidak dijalankan
R25	tinggi	banyak	dingin	tidak dijalankan
R26	tinggi	banyak	optimal	tidak dijalankan
R27	tinggi	banyak	panas	tidak dijalankan

Pada aturan diatas, masing-masing variabel masukan akan dihubungkan dengan operator AND. [13] Menjelaskan “operator AND berhubungan dengan operasi interseksi pada himpunan. α -predikat sebagai operasi dengan operator AND diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan”. Contoh aturan yang telah dikombinasikan dengan operator AND adalah sebagai berikut:

IF nutrisi rendah AND volume sedikit AND suhu dingin THEN otomatisasi dijalankan.

Berdasarkan fungsi keanggotaan dan aturan-aturan yang telah didefinisikan diatas. Jika terdapat suatu instalasi hidroponik yang memiliki kadar nutrisi 93 ppm, volume air 4100 cm³ dan suhu air 23 °C maka tahapan penyelesaiannya adalah sebagai berikut:

1) Fuzzifikasi

Pada tahap ini dilakukan perhitungan nilai derajat keanggotaan menggunakan fungsi keanggotaan yang sebelumnya telah didefinisikan untuk masing-masing nilai linguistik pada setiap variabel masukan, berdasarkan inputan yang telah diberikan. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil perhitungan fungsi keanggotaan

Kadar Nutrisi		Volume Air		Suhu Air	
Linguistik	Nilai	Linguistik	Nilai	Linguistik	Nilai
Rendah	0.7	Sedikit	0	Dingin	0.8
Optimal	0.3	Sedang	0.27	Optimal	0.2
Tinggi	0	Banyak	0.73	Panas	0

2) Proses inferensi

Pada tahap inferensi, hasil perhitungan derajat keanggotaan yang telah dilakukan dimasukan kedalam aturan-aturan yang sebelumnya telah didefinisikan. Selanjutnya dilakukan pencarian nilai α -predikat menggunakan fungsi implikasi MIN, nilai α -predikat tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai z (nilai tegas). Perhitungan nilai z dilakukan dengan menggunakan rumus fungsi keanggotaan variabel otomatisasi sesuai dengan keluaran pada aturan yang berkaitan. Hasil perhitungan proses inferensi dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil perhitungan tiap aturan

Aturan	Nutrisi	Volume	Suhu	α -predikat	Z
R1	0.7	0	0.8	0	1
R2	0.7	0	0.2	0	1
R3	0.7	0	0	0	1
R3	0.3	0	0.8	0	1
R5	0.3	0	0.2	0	1
R6	0.3	0	0	0	1
R7	0	0	0.8	0	1

Aturan	Nutrisi	Volume	Suhu	α -predikat	Z
R8	0	0	0.2	0	1
R9	0	0	0	0	1
R10	0.7	0.27	0.8	0.27	1.81
R11	0.7	0.27	0.2	0.2	1.6
R12	0.7	0.27	0	0	1
R13	0.3	0.27	0.8	0.27	2.46
R14	0.3	0.27	0.2	0.2	2.6
R15	0.3	0.27	0	0	1
R16	0	0.27	0.8	0	1
R17	0	0.27	0.2	0	1
R18	0	0.27	0	0	1
R19	0.7	0.73	0.8	0.7	3.1
R20	0.7	0.73	0.2	0.2	1.6
R21	0.7	0.73	0	0	1
R22	0.3	0.73	0.8	0.3	2.4
R23	0.3	0.73	0.2	0.2	2.6
R24	0.3	0.73	0	0	3
R25	0	0.73	0.8	0	3
R26	0	0.73	0.2	0	3
R27	0	0.73	0	0	3

3) Defuzzifikasi

Tahap terakhir yang dilakukan adalah defuzzifikasi. Pada Fuzzy Tsukamoto, perhitungan defuzzifikasi dilakukan dengan menggunakan rata-rata terbobot, yaitu dengan menghitung total perkalian antara α -predikat dengan nilai z, kemudian dibagi dengan total α -predikat. Detail perhitungan defuzzifikasi adalah sebagai berikut:

$$z = \frac{a_1 \times z_1 + a_2 \times z_2 + a_3 \times z_3 + \dots + a_{27} \times z_{27}}{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_{27}}$$

$$z = \frac{0 \times 1 + 0 \times 1 + 0 \times 1 + 0 \times 1 + 0 \times 1 + 0 \times 1 + 0 \times 1 + 0 \times 1 + \dots + 0 \times 3}{0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + \dots + 0}$$

$$z = \frac{5.7229}{2.34} = 2.445683761$$

Dari proses perhitungan logika Fuzzy yang telah dilakukan didapatkan nilai 2.446.

2.2.5. Perhitungan target nutrisi

Sebelum mengirimkan perintah otomatisasi, dilakukan perhitungan volume nutrisi yang harus ditambahkan agar hasil akhir nutrisi yang didapatkan sesuai dengan target nutrisi harian yang telah ditentukan. Untuk menghitung volume nutrisi yang perlu ditambahkan digunakan rumus persamaan linear 2 variabel.

$$ax + by = c \tag{4}$$

Jika diketahui suatu penampung A terdapat air nutrisi sebanyak 1000 mL dengan kadar nutrisi 100 ppm, kemudian penampung B terdapat air baku sebanyak 3000 mL dengan kadar nutrisi 10 ppm. Berapa jumlah larutan nutrisi dan air baku yang harus ditambahkan pada penampung A jika larutan nutrisi yang akan ditambahkan memiliki kadar nutrisi 1000 ppm dan target nutrisi yang ingin dicapai pada penampung A adalah 200 ppm dan volume 2000 mL. Maka penyelesaiannya adalah sebagai berikut:

Volume yang harus ditambahkan = 2000 mL - 1000 mL = 1000 mL
 Total target air nutrisi yang ingin dicapai = 200 ppm * 2000 mL = 400000

<p>Total air nutrisi pada saat ini</p> <p>$\square = \text{volume nutrisi}; \quad \square = \text{volume air baku}$</p> <p>Persamaan</p> $\square + \square = 1000$ <p>Persamaan</p> $100000 + 1000\square + 10\square = 400000$ $1000\square + 10\square = 300000$ <p>Mencari persamaan \square:</p> $100\square + \square = 30000$ $\square = 30000 - 100\square$	<p>=</p> <p>1:</p> <p>2:</p>	<p>$100 \text{ ppm} * 1000 \text{ mL} = 100000$</p> <p>Substitusi \square, Mencari nilai \square:</p> $\square + \square = 1000$ $\square + 30000 - 100\square = 1000$ $-99\square = -29000$ $\square = 292.93$ <p>Mencari nilai \square:</p> $\square + \square = 1000$ $292.93 + \square = 1000$ $\square = 1000 - 292.93 = 707.07$
---	------------------------------	---

Hasilnya, jumlah volume nutrisi yang perlu ditambahkan adalah 292.93 mL, sedangkan untuk volume air baku yang perlu ditambahkan adalah 707.07 mL.

2.3. Implementasi

Pada tahap ini dilakukan implementasi dari perancangan yang sebelumnya telah dibuat. Tahap implementasi meliputi perangkaian perangkat IoT, pengkodean perangkat IoT, pengkodean *backend service* dan pengkodean *frontend*.

2.4. Pengujian

Pada tahap ini dilakukan proses pengujian perangkat dan sistem yang telah dibuat. Hal tersebut untuk memastikan bahwa hasil implementasi telah sesuai dengan yang diharapkan. Jika pada pengujian ditemukan hal yang tidak sesuai, maka akan dilakukan proses perbaikan, kemudian dilakukan pengujian ulang. Hal tersebut dilakukan secara berulang hingga secara keseluruhan, baik perangkat dan sistem telah bekerja sesuai dengan yang diharapkan.

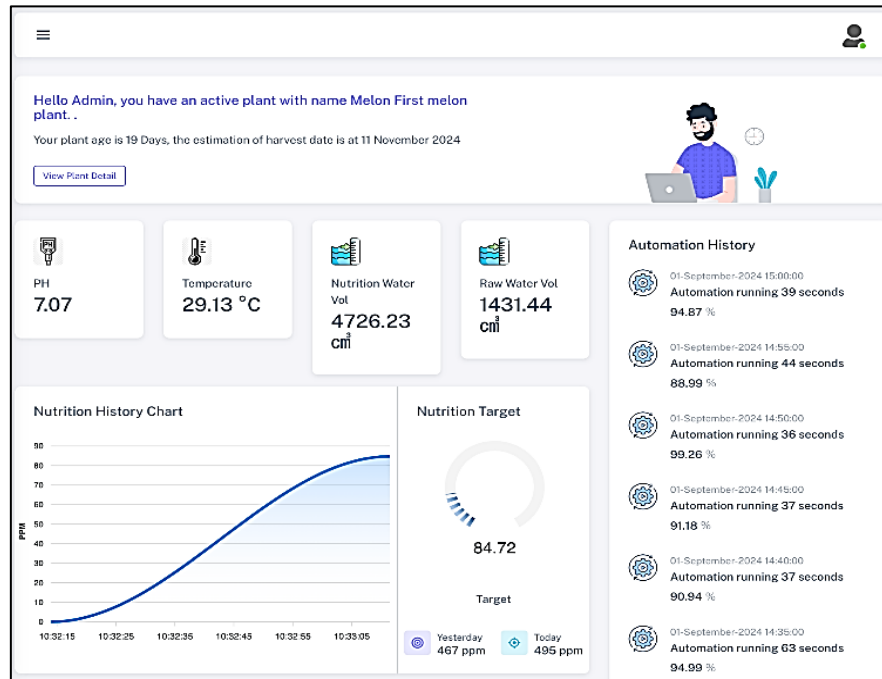
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Prototipe alat dan web pemantauan

Hasil prototipe perangkat IoT yang dibuat dapat dilihat pada gambar 10. Perangkat tersebut diterapkan pada instalasi hidroponik sederhana dengan 2 lubang tanaman.



Gambar 10. Prototipe perangkat IoT



Gambar 11. Halaman *dashboard* pemantauan

Untuk web pemantauan, ada beberapa halaman yang dibuat, selain halaman *dashboard* yang merupakan halaman utama untuk melakukan pemantauan, dibuat juga halaman untuk melakukan pengaturan variabel Fuzzy dan halaman untuk pengaturan tanaman. Halaman dashboard dapat dilihat pada gambar 11, halaman tambah tanaman dapat dilihat pada gambar 12, dan yang terakhir halaman untuk mengatur variabel Fuzzy dapat dilihat pada gambar 13.

NAME	DESCRIPTION
Melon	First melon plant.
VARIETIES	PLANT TYPE
Golden Aroma	Fruit Crop
HARVEST AGE	GENERATIVE AGE
90	55
NUTRITION MIN	NUTRITION MAX
100	2200
NUTRITION ADJUSTMENT	PH LEVEL
300	7
TEMPERATURE	PLANT AGE
25	11

Save changes

Gambar 11. Halaman tambah tanaman

Gambar 11. Halaman pengaturan

3.2. Pengujian

Ada dua pengujian yang dilakukan untuk menguji perangkat yang telah dibuat. Pengujian yang pertama dilakukan untuk menguji implementasi Logika Fuzzy yang digunakan, dan yang kedua menguji fungsi otomatisasi. Pada pengujian implementasi Logika Fuzzy, data yang digunakan dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Data pengujian Fuzzy

Kadar Nutrisi		Volume Air		Suhu Air	
Linguistik	Nilai	Linguistik	Nilai	Linguistik	Nilai
Rendah	90	Sedikit	1000	Dingin	20
Optimal	100	Sedang	2500	Optimal	25
Tinggi	110	Banyak	3000	Panas	30

Pengujian implementasi logika Fuzzy dilakukan dengan memasukan sampel data ke dalam fungsi perhitungan Fuzzy. Hasil pengujian untuk implementasi Fuzzy yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Hasil pengujian Fuzzy

Percobaan	Nutrisi	Volume	Suhu	Z	Otomatisasi	Sesuai
1	89	999	19	4	Dijalankan	Ya
2	95	1100	27	2.27	Dijalankan	Ya
3	94	1400	35	2.96	Dijalankan	Ya
4	101	1010	22	2.34	Dijalankan	Ya
5	104	1350	26	2.13	Dijalankan	Ya
6	109	2600	29	2.8	Dijalankan	Ya

Percobaan	Nutrisi	Volume	Suhu	Z	Otomatisasi	Sesuai
7	93	2999	31	2.88	Dijalankan	Ya
8	102	2700	21	2.13	Dijalankan	Tidak
9	99	3100	24	1.58	Tidak dijalankan	Ya
10	111	2850	28	1.94	Tidak dijalankan	Ya

Dari pengujian yang dilakukan, ditemukan bahwa dari 10 percobaan, terdapat satu hasil yang tidak sesuai. Hal tersebut berkaitan dengan derajat keanggotaan dan aturan yang digunakan, dimana semakin jauh nilai masukan dari nilai acuan membuat derajat keanggotaannya semakin kecil.

Selanjutnya pada pengujian otomatisasi, dilakukan pengujian sistem keseluruhan untuk memastikan *backend service* dan perangkat IoT saling terhubung dan berfungsi dengan baik. Pengujian ini menggunakan fitur yang dibuat pada *backend service* dimana setiap proses otomatisasi dijalankan, dilakukan pencatatan data. Pengujian dilakukan secara simultan setiap 5 menit sekali. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Hasil pengujian otomatisasi

Percobaan	Nutrisi Awal	Target Nutrisi	Nutrisi Akhir	Durasi	Akurasi
1	241	260	246	63 detik	93%
2	266	280	305	37 detik	91%
3	308	320	348	37 detik	91%
4	348	360	362	26 detik	98%
5	369	450	499	44 detik	90%
6	476	500	525	39 detik	95%

Pada data pengujian diatas terlihat bahwa setiap percobaan yang dilakukan memiliki akurasi yang cukup tinggi, dimana seluruh percobaan mendapat nilai diatas 89%. Meskipun begitu terlihat bahwa data antara percobaan, pada nutrisi awal tidak selalu sesuai dengan nutrisi akhir pada proses sebelumnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses pencampuran nutrisi tidak berjalan dengan optimal, sehingga nilai kadar nutrisi masih dapat mengalami perubahan yang cukup signifikan.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini, telah berhasil dibuat prototipe perangkat yang menerapkan IoT untuk pemantauan dan otomatisasi pemberian nutrisi pada sistem hidroponik menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto. Dari pengujian yang dilakukan, pengujian Fuzzy menunjukkan 9 dari 10 percobaan yang dilakukan mendapatkan hasil yang sesuai. Kemudian untuk pengujian otomatisasi, seluruh percobaan mendapatkan akurasi diatas 89%. Meskipun begitu, penerapan Logika Fuzzy yang telah dilakukan masih belum optimal, dimana terdapat aturan-aturan yang memiliki hasil yang tidak sesuai. Selain itu pada proses otomatisasi, didapatkan hasil yang tidak konsisten.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. R. Nurcahyo, K. Prawiroredjo, dan S. Sulaiman, "Prototipe Sistem Pembuatan Larutan Nutrisi Otomatis pada Hidroponik Metode Nutrient Film Technique," *Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 19, no. 2, pp. 71-82, 2020.
- [2] Z. U. Rahmatullah, dan D. Irawan, "Rancang Bangun Alat Perawatan dan Pemberian Nutrisi Otomatis Pada Tanaman Pakcoy Hidroponik berbasis Internet of Things Menggunakan Fuzzy Logic Control," *Telekontran*, vol. 11, no. 1, pp. 63-73, 2023.
- [3] Fitriani, T. P. Fiqar, dan R. K. Abdullah, "Implementasi Sistem Monitoring Tanaman Hidroponik Menggunakan Metode Fuzzy Sugeno," *Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia*, vol. 5, no. 2, pp. 109-121, 2023.

- [4] M. Isnan, "Hidroponik: Bertanam Sayuran Tanpa Tanah," 1. Jakarta: Agromedia, 2020.
- [5] I. Laksmana, T. Z. Jingga, W. Febriana, A. N. Khomarudin, E. E. Putri, R. Nazli, R. Novita, dan Amrizal, "Teknologi Internet Of Things (IoT) dan Hidroponik," 1. Kuningan: Goresan Pena, 2022.
- [6] Susilawati, "Dasar-Dasar Bertanam Secara Hidroponik," 1. Palembang: Unsri Press, 2019.
- [7] T. E. Panggabean, dan V. Wijaya, "Sistem Pakar," 1. Medan: Cattleya Darmaya Fortuna, 2022.
- [8] A. M. Sihite, M. I. Sari, dan H. R. Andrian, "Sistem Monitoring Ketinggian Gelombang Air Laut Pada Pelabuhan Berbasis Web," *e-Proceeding of Applied Science*, vol 5, no. 3, pp. 2457-2464, 2019.
- [9] A. Nugroho, "Rekayasa Perangkat Lunak Berorientasi Objek dengan Metode USDP," 1. Yogyakarta: Penerbit Andi, 2010.
- [10] D. G. Pratama, J. Maulidar, dan R. P. Indah, "Perancangan Monitoring dan Pengontrol pH Sayuran Sawi Hidroponik Berbasis IoT," *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, vol. 3, no. 2, pp. 4051-4060, 2023.
- [11] M. Sudha, "Internet of Things Analytics and Its Applications," 1. Bhilai: OrangeBooks Publication, 2024.
- [12] M. Rusli, dan E. Sany, "Algoritma dan Pemrograman I," 1. Lombok Tengah: Pusat Pengembangan dan Penelitian Indonesia, 2023.
- [13] S. Kusumadewi, dan H. Purnomo, "Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan," 2. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010
- [14] H. H. Solihin, et al, "Konsep Sistem Informasi di Era Digital," 1. Bandung: Kaizen Media Publishing, 2024
- [15] R. Chang, "Kimia Dasar," 3. Jakarta: Erlangga, 2002
- [16] A. Sutanto, A. Rakhman, dan L. Khakim, "Rancang Bangun Model Prototipe Irigasi Otomatis untuk Tanaman Cabai dengan Sensor Kelembapan Tanah," *Smart Comp*, vol. 12, no. 3, pp. 712-722, 2023.