

PENERAPAN *FUZZY* TSUKAMOTO PADA PERANCANGAN SISTEM KONTROL DAN MONITORING NUTRISI *AQUAPONIC* BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Abd. Muqsith Hidayat¹, Faisal Akib², Faisal³

^{1,2,3}Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, Jl. H.M Yasin Limpo No. 36, Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia, 92118.
e-mail: 60200120119@uin-alauddin.ac.id, ¹ faisal@uin-alauddin.ac.id², faisal.rahman@uin-alauddin.ac.id³

*Koresponden Author: Abd. Muqsith Hidayat, 60200120119@uin-alauddin.ac.id

Accepted: 08 30, 2024 ; Revised: 08 29, 2024; Published: 08 31, 2024

Abstrak

Aquaponic adalah teknik budidaya yang penting karena mudah diaplikasikan, hemat air, dan memungkinkan integrasi akar tanaman untuk menyerap limbah nitrogen dari kotoran ikan sebagai nutrisi. Namun, suhu, pH, *Total Dissolved Solids* (TDS), dan ketinggian air sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kontrol dalam memantau nutrisi dan perkembangan tanaman secara *real-time* menggunakan sensor suhu, pH, TDS, dan ultrasonik dan menerapkan model *Fuzzy* Tsukamoto untuk mengatasi ketidakpastian dalam pengambilan keputusan berdasarkan data sensor. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode desain dan pengembangan. Data dikumpulkan melalui observasi langsung, wawancara dengan petani *aquaponic*, dan studi literatur. Sistem yang dirancang berhasil memenuhi kebutuhan untuk mengontrol dan memonitor nutrisi dalam sistem *aquaponic* secara efektif. Sistem ini menggunakan modul ESP8266 dan berbagai sensor (pH, TDS/PPM, suhu, dan ketinggian air) untuk memantau kondisi air secara *real-time* dan mengirimkan data ke *Firestore*, yang kemudian ditampilkan pada aplikasi *interface*. Kontrol otomatis memungkinkan penyesuaian cepat terhadap perubahan kondisi lingkungan, memastikan lingkungan optimal bagi pertumbuhan tanaman.

Kata kunci : *Aquaponic, Nutrisi, Tanaman, Fuzzy Tsukamoto*

Abstract

[APPLICATION OF TSUKAMOTO FUZZY ON THE DESIGN OF AQUAPONIC NUTRITION MONITORING AND CONTROL SYSTEM BASED ON INTERNET OF THINGS] *Aquaponic* is an important aquaculture technique because it is easy to apply, saves water, and allows the integration of plant roots to absorb waste nitrogen from fish waste as nutrients. However, temperature, pH, Total Dissolved Solids (TDS), and water level greatly affect plant growth. This research aims to design a control system to monitor plant nutrition and development in *real-time* using temperature, pH, TDS, and ultrasonic sensors and apply Tsukamoto Fuzzy model to overcome uncertainty in decision making based on sensor data. This research uses a quantitative approach with a design and development method. Data were collected through direct observation, interviews with *aquaponic* farmers, and related literature studies. The designed system successfully fulfills the need to control and monitor nutrients in *aquaponic* systems effectively. The system utilizes an ESP8266 module and various sensors (pH, TDS/PPM, temperature, and water level) to monitor water conditions in *real-time* and send the data to *Firestore*, which is then displayed on the application interface. Automatic control allows for quick adjustments to changing environmental conditions, ensuring an optimal environment for plant growth.

Keywords: *Aquaponic, Nutrition, Plants, Tsukamoto Fuzzy*



1. PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya populasi manusia, jumlah penduduk juga bertambah, yang berdampak pada berkurangnya lahan penghijauan di daerah perkotaan akibat perkembangan infrastruktur. Hal ini menyebabkan kota-kota maju secara ekonomi tetapi mengalami kemunduran secara ekologi. Untuk mengatasi kemunduran ekologi ini, masyarakat disarankan untuk berpartisipasi dalam upaya pemulihan ekologi, salah satunya melalui bercocok tanam. Salah satu teknik yang semakin populer di kalangan masyarakat perkotaan adalah *aquaponic*, yang dapat dilakukan di halaman rumah [1].

Dengan kemajuan teknologi, pertanian kini memperkenalkan berbagai sistem dan teknologi yang membantu menghasilkan hasil berkualitas dan dalam jumlah besar. *Aquaponic* adalah salah satu teknologi dalam pertanian yang semakin dikenal dan diminati, terutama di daerah perkotaan [2].

Sistem *aquaponic* menawarkan alternatif bercocok tanam di lahan terbatas dengan menggabungkan akuakultur dan hidroponik dalam lingkungan simbiotik. Nutrisi dalam *aquaponic* diperoleh dari kotoran ikan, yang dipecah menjadi nitrat dan nitrit melalui proses alami dan dimanfaatkan oleh tanaman sebagai sumber nutrisi. Sistem hidroponik berfungsi sebagai filter untuk lingkungan ikan [1].

Aquaponic merupakan sistem budidaya yang mengintegrasikan akuakultur dan hidroponik dalam satu sistem. Sistem ini secara rutin menggunakan air dari budidaya ikan untuk tanaman, dan sebaliknya, air dari tanaman untuk kolam ikan (Rahmanto dkk., 2021). Keunggulan dari sistem *aquaponic* mencakup kemampuan menghasilkan dua jenis produk dalam satu siklus produksi, efisiensi penggunaan lahan, optimalisasi pengelolaan air, serta produksi pertanian organik [3].

Metode bercocok tanam ini memiliki banyak keunggulan, termasuk kemampuan untuk ditanam di lahan terbatas dan hanya memerlukan media tumbuh berupa air dan nutrisi. Namun, ada beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan dalam metode ini, yaitu suhu, pH, *Total Dissolved*

Solids (TDS), dan ketinggian air yang sesuai, karena faktor-faktor ini sangat memengaruhi pertumbuhan tanaman. Untuk pertumbuhan optimal, pH ideal adalah sekitar 5,5 – 6,5 dan TDS sekitar 1050 – 1200 PPM [4]. Adapun komposisi nutrisi tersebut dapat dikendalikan sesuai dengan kebutuhan, termasuk suhu yang ideal berada antara 23-25 °C [5].

2. METODE

Metode yang digunakan untuk pengolahan dan analisis data dalam penelitian ini adalah metode *Fuzzy Tsukamoto*. Metode ini melibatkan proses inferensi dengan aturan berbentuk *IF-THEN* dan operasi *AND*, di mana nilai minimum (*MIN*) dari dua variabel akan dipilih. Setelah proses inferensi selesai, dihasilkan data keluaran yang dikenal sebagai α -predikat, dengan jumlah yang sesuai dengan aturan yang telah ditentukan. Untuk mendapatkan hasil akhir, dilakukan perhitungan untuk mencari nilai *Z*, yang bergantung pada nilai-nilai α -predikat sebelumnya, menggunakan persamaan tertentu [6].

$$Z = \frac{\alpha_{pred1} * z1 + \alpha_{pred2} * z2 + \dots + \alpha_{predn} * zn}{\alpha_{pred1} + \alpha_{pred2} + \dots + \alpha_{predn}} \quad (2.1)$$

Keterangan :

Z = nilai *output* yang dihasilkan.

α_{pred} = nilai α -predikat tiap-tiap *rule*.

$z1 \dots zn$ = hasil inferensi secara tegas (*crisp*) masing-masing *rule*.

Secara umum, model ini terdiri dari tiga tahap untuk menghasilkan output, antara lain:

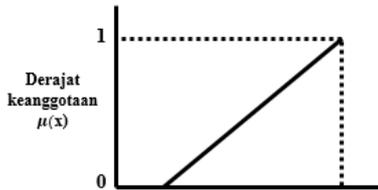
a. Fuzzifikasi

Dalam proses *Fuzzy Tsukamoto*, data input yang memiliki nilai tegas diubah menjadi variabel linguistik melalui kurva *fuzzy*. Fungsi keanggotaan memetakan setiap titik data input ke dalam nilai keanggotaannya, yang berkisar antara 0 hingga 1

1. Representasi Linear

Pada metode *Fuzzy Tsukamoto*, representasi linear digunakan untuk memetakan input ke derajat keanggotaannya dengan menggunakan dua garis lurus. Bentuk

ini dianggap sederhana dan akurat untuk mendekati konsep yang tidak jelas. Fungsi ini memiliki dua keadaan himpunan *fuzzy* yang bersifat linear [7].



Gambar 2.1. Representasi Linear

Untuk merepresentasikan fungsi keanggotaan linear naik, digunakan rumus fungsi keanggotaan berikut: [8].

$$\mu[x] = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \quad (2.2)$$

Keterangan:

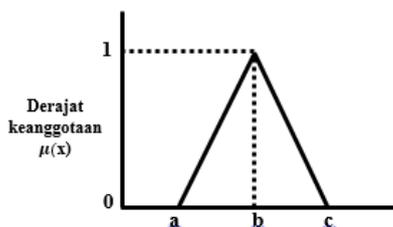
x = nilai inputan variabel.

b = batas bawah fungsi keanggotaan variabel.

a = batas atas fungsi keanggotaan variabel.

2. Representasi Kurva Segitiga

Pada metode *fuzzy* Tsukamoto, representasi kurva segitiga dibentuk dari hasil gabungan dua garis lurus yang membentuk segitiga. Kurva ini berfungsi untuk memetakan *input* data ke dalam derajat keanggotaan yang lebih spesifik, sehingga memungkinkan penentuan nilai keanggotaan dengan lebih detail dan akurat. Fungsi keanggotaan segitiga terdiri dari tiga nilai yaitu batas bawah, puncak, dan batas atas, sehingga bentuknya menyerupai segitiga [8].



Gambar 2.2. Representasi Kurva Segitiga

Untuk merepresentasikan fungsi keanggotaan kurva segitiga, digunakan rumus persamaan berikut:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}; & a \leq x \leq b \\ \frac{(b-x)}{(c-b)}; & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (2.3)$$

b. Sistem Inferensi

Dalam metode *fuzzy* Tsukamoto pada tahap sistem inferensi, digunakan aturan *fuzzy* yang berupa pernyataan *IF-THEN* untuk menghasilkan inferensi. Proses evaluasi aturan dilakukan dengan menggunakan fungsi implikasi *MIN*, yang bertujuan untuk mendapatkan nilai α -predikat dari setiap aturan.

c. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah tahap akhir dalam sistem inferensi *fuzzy* dimana *output fuzzy* diubah menjadi nilai tegas. Dalam metode Tsukamoto, nilai *Z* (*output crisp*) diperoleh melalui proses defuzzifikasi dengan menggunakan metode rata-rata (*average*) dari hasil inferensi yang dinyatakan dalam bentuk α -predikat. Defuzzifikasi dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

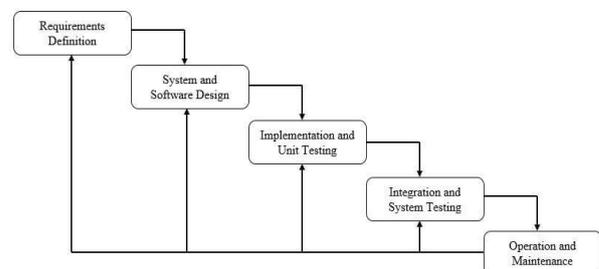
$$Z = \frac{\sum a_i z_i}{\sum a_i} \quad (2.4)$$

Keterangan:

Z = nilai *output* yang dihasilkan.

α_{pred} = nilai α -predikat tiap-tiap *rule*.

$z_1 \dots z_n$ = hasil inferensi secara tegas (*crisp*) masing-masing *rule*.

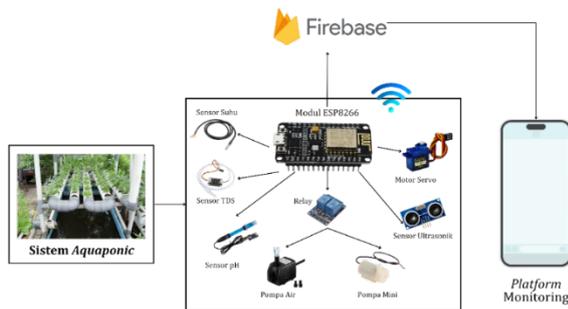


Gambar 2.3. Metode *Waterfall*

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah model *waterfall*. Model *waterfall* adalah metodologi penelitian yang terstruktur dan berurutan, yang dianggap

cocok untuk diterapkan dalam penyelidikan ini karena pendekatannya yang sistematis sesuai dengan tuntutan situasi di lapangan [9].

Pemilihan metode ini dikarenakan proses perancangan sistem akan dilakukan tahap demi tahap dimulai dari *Requirements definition, System and Software design, Implementation and Unit testing, Integration and System testing*, sampai tahap *Operation and Maintenance*.



Gambar 2.4. Analisis Perangkat Keras

Pada proses analisis perangkat keras terdapat rangkaian yang menggambarkan proses penerapan *Fuzzy Tsukamoto* Pada Perencanaan Sistem Kontrol dan Monitoring Nutrisi *aquaponic* Berbasis IoT. Berikut adalah penjelasan singkatnya:

1) Sensor Suhu

Sensor ini berfungsi untuk mengambil nilai suhu yang ada di dalam air, lalu data yang dikumpulkan oleh sensor akan dikirim ke modul ESP8266 untuk di proses.

2) Sensor Ultrasonik

Sensor ini berfungsi untuk mengambil nilai ketinggian air, lalu data yang telah dikumpulkan oleh sensor akan dikirim ke mode ESP8266 untuk di proses.

3) Sensor pH

Sensor ini berfungsi untuk mengambil nilai pH yang ada di dalam kolam, lalu data yang dikumpulkan oleh sensor akan dikumpulkan oleh sensor dan akan dikirim ke modul ESP8266.

4) Sensor TDS

Sensor ini digunakan untuk mengukur jumlah total padatan terlarut dalam air. Fungsi utama dari sensor ini adalah memberikan informasi tentang tingkat konsentrasi padatan terlarut dalam suatu larutan, lalu data yang

telah diambil dikumpulkan dan dikirim ke modul ESP8266.

5) Pompa air

Pompa air berfungsi untuk mengalirkan air dari kolam ikan ke atas tanaman *hydroponic*, selain itu pompa berfungsi untuk mengganti air ketika nilai PPM dan nilai pH rendah lalu memasukkan air baru agar nilai PPM dan pH kembali normal sesuai instruksi dari modul ESP8266.

6) Pompa Mini DC

Pompa ini berfungsi untuk mengeluarkan cairan penurun pH ketika nilai pH sangat tinggi atau basa sesuai dengan instruksi dari modul ESP8266.

7) *Relay 2 Channel*

Relay ini digunakan untuk mengontrol pompa air yang berisi nutrisi cair digunakan untuk menjaga nilai PPM dan pH pada air, serta *relay* berfungsi untuk mengaktifkan pompa untuk mengeluarkan air jika nilai PPM dan pH di dalam kolam tidak sesuai aturan *fuzzy* yang ditetapkan, server akan mengirim instruksi ke modul untuk menghidupkan *relay* dan mengaktifkan pompa air.

8) Motor Servo

Motor servo berfungsi sebagai *output* untuk membuka katup pemberi makan ikan yang menerima perintah dari ESP8266 untuk melakukan perintah yang diberikan sesuai data yang telah ditentukan.

9) *Firestore*

Firestore berfungsi sebagai server untuk mengumpulkan data dari suhu, pH dan TDS dari modul ESP8266 dan menyimpan data tersebut ke dalam *database* kemudian akan ditampilkan ke aplikasi pengguna. Server juga akan mengirimkan instruksi ke modul ESP8266 untuk menghidupkan atau mematikan *relay 2 channel*, serta mengirim instruksi untuk membuka katup pemberi makan ikan.

10) *NodeMCU ESP8266*

NodeMCU ESP8266 berperan sebagai pusat kendali dan komunikasi dalam sistem monitoring kualitas air kolam ikan. ESP8266 bertugas mengumpulkan data sensor, mengolahnya, dan mengirimkannya ke server. ESP8266 juga menerima instruksi dari server

untuk mengontrol aktuator dan menerapkan model *Fuzzy Tsukamoto* untuk pengambilan keputusan yang optimal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian program dilakukan menggunakan algoritma *Fuzzy Inference* dengan metode Tsukamoto. Metode *Fuzzy Tsukamoto* memanfaatkan variabel input pH air dan TDS/PPM air, serta variabel *output* berupa kontrol pompa, untuk menganalisis nilai *fuzzy*. Penelitian ini mengimplementasikan variabel tersebut dalam proses analisis *Fuzzy Tsukamoto*, dimana pH air dan TDS/PPM air berperan sebagai input yang mempengaruhi output sistem, yaitu pengendalian pompa secara otomatis. Hasil pengujian mencakup perbandingan antara perhitungan manual dengan hasil dari penggunaan fitur Matlab *Toolbox Fuzzy*.

Berikut adalah langkah-langkah untuk melakukan perhitungan manual menggunakan metode *Fuzzy Tsukamoto* jika diketahui data input pH 6.8 dan TDS 1300ppm.

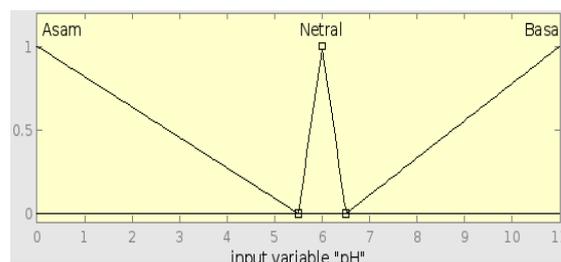
a. Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi adalah tahap di mana input dan output pada sistem, yang semula memiliki nilai tegas diubah menjadi variabel *Fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan.

Detail mengenai data Ph, TDS dan pompa yang akan diubah menjadi bentuk *Fuzzy* dapat dilihat pada Tabel 1.

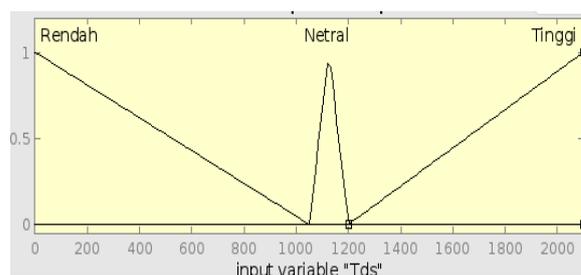
Tabel 1. Fungsi Keanggotaan variabel

No	Nama Variabel	Nilai Crisp	Variabel Fuzzy
1	pH	$\leq 5,5$	Asam
		$< 6,5$	Netral
		$\geq 6,5$	Basa
2	TDS	< 1050 ppm	Rendah
		< 1200 ppm	Netral
		≥ 1200 ppm	Tinggi
3	Pompa	0-0.5	OFF
		0.5-1	ON



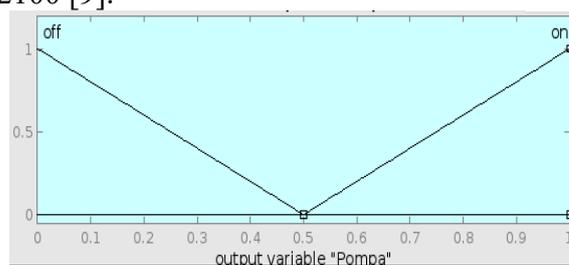
Gambar 3.1. Fungsi Keanggotaan pH

Pada gambar 3.1 menampilkan 3 buah representasi input pH dengan range 0 sampai dengan 11, yang terdiri dari 3 bagian yaitu representasi linear turun untuk pH asam dengan *range* 0-5,5, representasi kurva segitiga untuk pH netral dengan *range* 5,5-6,5 dan representasi linear naik untuk pH basa dengan garis menaik dalam *range* 6,5-11[9]. Pengelompokan ini bertujuan untuk memudahkan pembacaan data.



Gambar 3.2. Fungsi Keanggotaan TDS

Pada gambar 3.2 menampilkan 3 buah representasi input TDS dengan range 0 sampai dengan 2100, yang terdiri dari 3 bagian yaitu representasi linear turun untuk TDS rendah dengan *range* 0-1050, representasi kurva segitiga untuk TDS netral dengan *range* 1050-1200 dan representasi linear naik untuk TDS tinggi dengan garis menaik dalam *range* 1050-2100 [9].



Gambar 3.3. Fungsi Keanggotaan Pompa

Pada gambar 3.3 menampilkan 2 buah representasi *output* pompa dengan *range* 0 sampai dengan 1, yang terdiri dari 2 bagian yaitu representasi linear turun untuk pompa *off* dengan *range* 0-0,5 dan representasi linear naik untuk pompa *on* dengan garis menaik dalam *range* 0,5-1.

Berdasarkan fungsi keanggotaan di atas, maka dapat ditentukan fungsi keanggotaan variabel input pH dan TDS adalah sebagai berikut:

$$\mu_{pH \text{ Asam}} [x] = \begin{cases} 1; & x \leq 0 \\ \frac{(5,5 - x)}{(5,5 - 0)}; & 0 \leq x \leq 5,5 \\ 0; & x \geq 5,5 \end{cases}$$

$$\mu_{pH \text{ Netral}} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq 5,5 \text{ atau } x \geq 6,5 \\ \frac{(x - 5,5)}{(6 - 5,5)}; & 5,5 \leq x \leq 6 \\ \frac{(6,5 - x)}{(6,5 - 6)}; & 6 \leq x \leq 6,5 \end{cases}$$

$$\mu_{pH \text{ Basa}} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq 6,5 \\ \frac{(x - 6,5)}{(11 - 6,5)}; & 6,5 \leq x \leq 11 \\ 1; & x \geq 11 \end{cases}$$

$$\mu_{Tds \text{ Rendah}} [y] = \begin{cases} 1; & x \leq 1050 \\ \frac{(1050 - y)}{(1050 - 0)}; & 0 \leq x \leq 1050 \\ 0; & x \geq 1050 \end{cases}$$

$$\mu_{Tds \text{ Netral}} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq 1050 \text{ atau } x \geq 1200 \\ \frac{(x - 1050)}{(1125 - 1050)}; & 1050 \leq x \leq 1125 \\ \frac{(1125 - x)}{(1200 - 1125)}; & 1025 \leq x \leq 1200 \end{cases}$$

$$\mu_{Tds \text{ Tinggi}} [y] = \begin{cases} 0; & x \leq 1200 \\ \frac{(y - 1200)}{(2100 - 1200)}; & 1200 \leq x \leq 2100 \\ 1; & x \geq 2100 \end{cases}$$

Untuk setiap variabel *input* pH dan TDS, kita perlu menghitung derajat keanggotaan pada setiap himpunan *Fuzzy* yang telah ditentukan. Contoh perhitungan derajat keanggotaan untuk pH 6,8 dan TDS 1300ppm sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{pH \text{ Asam}} [6,8] &= 0 \text{ (karena } x \geq 5,5) \\ \mu_{pH \text{ Netral}} [6,8] &= 0 \text{ (karena } x \geq 6) \\ \mu_{pH \text{ Basa}} [6,8] &= \frac{(6,8 - 6,5)}{(11 - 6,5)} = \frac{0,3}{4,5} = 0,0667 \\ \mu_{Tds \text{ Rendah}} [1300] &= 0 \text{ (karena } x \geq 1050) \\ \mu_{Tds \text{ Netral}} [1300] &= 0 \text{ (karena } x \geq 1200) \\ \mu_{Tds \text{ Tinggi}} [1300] &= \frac{(1300 - 1200)}{(2100 - 1200)} = \frac{100}{900} = 0,111 \end{aligned}$$

b. Inferensi

Setelah menghitung derajat keanggotaan, kemudian akan menggunakan aturan *Fuzzy* untuk menghubungkan variabel input dengan variabel *output*. Proses evaluasi aturan dilakukan dengan menggunakan fungsi implikasi *MIN-MAX*, yang bertujuan untuk mendapatkan nilai α -predikat dari setiap aturan. Berikut adalah beberapa aturan yang telah ditetapkan dalam sistem:

- a. Jika TDS tinggi dan pH basa maka pompa *On*.

$$\begin{aligned} \alpha\text{-predikat1:} \\ &= \mu_{TDS \text{ tinggi}} \cap \mu_{pH \text{ basa}} \\ &= \min(0,111, 0,0667) \\ &= 0,0677 \\ z_1 &= 0,75 \text{ (nilai tengah pada himpunan pompa "On")} \end{aligned}$$

- b. Jika TDS tinggi dan pH netral maka pompa *On*.

$$\begin{aligned} \alpha\text{-predikat2:} \\ &= \mu_{TDS \text{ tinggi}} \cap \mu_{pH \text{ netral}} \\ &= \min(0,111, 0) \\ &= 0 \\ z_2 &= 0,75 \text{ (nilai tengah pada himpunan pompa "On")} \end{aligned}$$

- c. Jika TDS netral dan pH basa maka pompa *On*.

$$\begin{aligned} \alpha\text{-predikat3:} \\ &= \mu_{TDS \text{ netral}} \cap \mu_{pH \text{ basa}} \\ &= \min(0, 0,0667) \\ &= 0 \\ z_3 &= 0,75 \text{ (nilai tengah pada himpunan pompa "On")} \end{aligned}$$

- d. Jika TDS tinggi dan pH asam maka pompa *On*.

$$\begin{aligned} \alpha\text{-predikat4:} \\ &= \mu_{TDS \text{ tinggi}} \cap \mu_{pH \text{ asam}} \\ &= \min(0,111, 0) \\ &= 0 \\ z_4 &= 0,75 \text{ (nilai tengah pada himpunan pompa "On")} \end{aligned}$$

Tabel 2. Hasil Inferensi

Nomor	Nilai α -predikat	Nilai Min
1	α -predikat1	0,0667
2	α -predikat2	0
3	α -predikat3	0
4	α -predikat4	0

c. Defuzzifikasi

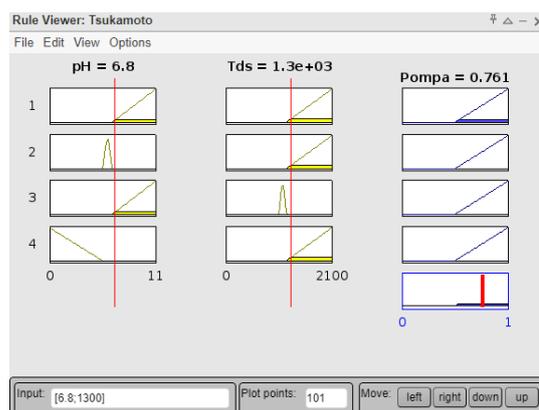
Setelah mendapatkan hasil inferensi dalam bentuk derajat keanggotaan, kita perlu mengubahnya menjadi nilai tegas pada variabel output pompa. Proses defuzzifikasi dari masalah yang telah dijelaskan sebelumnya adalah dengan menentukan nilai Z menggunakan metode *centroid*. Berikut adalah perhitungan nilai Z :

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{(0,0667 \cdot 0,75) + (0 \cdot 0,75) + (0 \cdot 0,75) + (0 \cdot 0,75)}{0,0667 + 0 + 0 + 0} \\
 &= \frac{0,0500}{0,0667} = 0,75 \\
 &= 0,75
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan untuk nilai tegas variabel output pompa adalah sekitar 0,75, yang berarti pompa akan berada dalam kondisi "On" dengan derajat keanggotaan sekitar 0,75.

Dengan demikian, berdasarkan aturan *Fuzzy* yang ditetapkan dan data input pH 6,8 dan TDS 1300, hasil perhitungan manual menunjukkan bahwa pompa akan berada dalam kondisi "On" dengan derajat keanggotaan sekitar 0,75.

Kemudian akan dilakukan pengujian menggunakan *Matlab toolbox Fuzzy* dengan nilai inputan yang sama yaitu pH 6,8 dan TDS 1300ppm guna membandingkan nilai dari hasil perhitungan secara manual dan menggunakan *Matlab toolbox Fuzzy*. Untuk hasil pengujian menggunakan *Matlab toolbox Fuzzy* dapat dilihat pada gambar 3.4.


Gambar 3.4. Matlab Toolbox Fuzzy

Gambar 3.4 merupakan hasil perhitungan menggunakan *Matlab toolbox Fuzzy* dengan input pH 6,8 dan TDS 1300ppm didapatkan nilai 0,761 yang menunjukkan bahwa pompa akan berada dalam kondisi "On" dengan derajat keanggotaan sekitar 0.761.

Hasil pengujian keseluruhan data sampel dengan membandingkan hasil perhitungan manual dan menggunakan *Matlab toolbox Fuzzy* dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Hasil Pengujian Fuzzy Tsukamoto

No	pH	TDS (ppm)	Matlab Toolbox Fuzzy	Perhitungan Manual	Output Pompa	Error (%)
1	6,8	1300	0.761	0.75	On	0,01
2	6	1350	0.773	0.75	On	0,023
3	7	1150	0.766	0.76	On	0,06
4	5	1400	0.764	0.87	On	0,106
5	6	1100	0,178	0.17	Off	0,08
Rata-Rata						0,055

Data pada tabel merupakan data sampel yang diambil secara acak melalui pengukuran langsung menggunakan sensor pH dan TDS sensor pada sistem *aquaponic*, dengan mempertimbangkan variasi nilai pH dan TDS yang berbeda. Hasil pengujian diperoleh dimana sistem berhasil dalam mengontrol pompa dengan nilai rata-rata selisih *Error* 0,0558 dari hasil perbandingan perhitungan manual dan *Matlab toolbox Fuzzy*.

4. KESIMPULAN

Sistem kontrol dan *monitoring* aquaponik berbasis IoT ini berhasil mengintegrasikan berbagai sensor (pH, TDS, suhu, ultrasonik) untuk memantau kondisi lingkungan secara presisi, terutama dalam mengukur pH air, suhu, dan kandungan zat terlarut secara *real-time*. Dengan modul ESP8266, data lingkungan dikirim ke Firebase dan ditampilkan melalui aplikasi antarmuka. Sistem ini beroperasi dengan baik dan menunjukkan respons cepat terhadap perubahan lingkungan, sehingga mendukung pengambilan keputusan dan pengendalian otomatis yang tepat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Rahayu, W. S. Utami, M. M. Razabi, and A. Uno, "RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL DAN PEMANTAUAN AQUAPONIC BERBASIS IoT PADA KELURAHAN KUTAJAYA," vol. 4, no. 2, pp. 192–201, 2018.
- [2] N. G. Mohd Shafik Mohd Samsi, Mohd Zuhaili Kamal Basir, "SIGNIFICANT USE OF THE AQUAPONICS SYSTEM FROM AN ISLAMIC PERSPECTIVE," vol. 28, no. 2, 2022.
- [3] E. Wardani and U. L. Karimah, "Pengoimalan Kja Dengan Inovasi Aquaponik Untukmeningkatkan Produksi Ikan Air Tawar Dan Sayuran Organikpadalahan Perairan Pasca Tambang Timah Kobatin Desaperlang Bangka Tengah," *J. Abdimas Bina Bangsa*, vol. 3, no. 1, pp. 145–152, 2022.
- [4] Sotyohadi, Wahyu Surya Dewa, and I Komang Somawirata, "Perancangan Pengatur Kandungan TDS dan PH pada Larutan Nutrisi Hidroponik Menggunakan Metode Fuzzy Logic," *ALINIER J. Artif. Intell. Appl.*, vol. 1, no. 1, pp. 33–43, 2020, doi: 10.36040/aliner.v1i1.2520.
- [5] M. A. Nahdi, T. Y. Putro, and Y. Sudarsa, "IoT Based Hydroponic Plant Nutrient Monitoring and Control System," *Pros. Ind. Res.*, pp. 201–207, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/proceeding/article/view/1390>
- [6] A. Setiawan and U. P. Pengaraian, *LOGIKA FUZZY Dengan M A T L A B (Contoh Kasus Penelitian Penyakit Bayi dengan Fuzzy Tsukamoto)*, no. July. 2018.
- [7] K. N. Silaban, "Penerapan Metode Tsukamoto (Logika Fuzzy) Dalam Sistem Pendukung Keputusan Untuk Menentukan Besarnya Gaji Karyawan Pada Hotel Grand Antares," *J. Informatics, Electr. Electron. ...*, vol. 1, no. 1, pp. 20–26, 2021, [Online]. Available: <https://djournals.com/jieee/article/view/56%0Ahttps://djournals.com/jieee/article/download/56/168>
- [8] A. Setiawan, B. Yanto, and K. Yasdomi, *Logika Fuzzy Dengan Matlab*. 2018.
- [9] D. Handayani and M. Salam, "Aplikasi Sistem Informasi Simpan Pinjam Koperasi Berbasis Website Menggunakan Metode Waterfall," vol. 3, no. 5, pp. 425–434, 2023.