

Otomatisasi Pengontrolan Kualitas Air Pada Akuarium Ikan Arwana Berbasis IOT Menggunakan Logika Fuzzy Tsukamoto

Ade Muhamad Nurhadi*, Dwi Marisa Midyanti, Suhardi

Fakultas MIPA, Prodi Rekayasa Sistem Komputer, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

Email: ^{1,*}ademnurhadi@student.untan.ac.id, ²dwi.marisa@siskom.untan.ac.id, ³suhardi@siskom.untan.ac.id

Email Penulis Korespondensi: ademnurhadi@student.untan.ac.id

Submitted: 31/10/2023; Accepted: 31/12/2023; Published: 31/12/2023

Abstrak—Ikan Arwana adalah ikan hias yang memiliki bentuk tubuh dan warna indah yang menjadikannya memiliki harga yang tinggi, dan memerlukan perawatan yang sangat baik. Kualitas air di akuarium harus dijaga agar ikan Arwana tidak stres, sakit, atau mati. Namun, banyak pemilik Arwana yang kurang memantau kondisi air dengan cermat. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang dapat memantau keadaan lingkungan akuarium, termasuk pergantian air otomatis dan manual dari website. Pada penelitian ini menggunakan Arduino uno sebagai mikrokontroler yang dihubungkan ke sensor pH dan turbidity, kemudian NodeMCU ESP32 digunakan untuk melakukan pengiriman data ke internet dan untuk melakukan proses perhitungan Logika fuzzy Tsukamoto. Hasil pengujian didapatkan rata-rata akurasi pada sensor pH sebesar 96,62%, pada sensor turbidity rata-rata akurasi sebesar 92,84%, pada sensor ultrasonik rata-rata akurasi sebesar 99,62%. Pada sistem juga dilakukan pengujian logika fuzzy Tsukamoto dimana hasilnya yaitu fuzzy memiliki akurasi 83%. Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan selama 4 hari. Dari pengujian yang dilakukan, mendapatkan hasil rata-rata pH air perhari 7,1 dan kekeruhan 18 NTU dan semua kondisi kualitas air bisa terpenuhi sesuai dengan output yang diinginkan menggunakan 9 rule base.

Kata Kunci: Arwana; IoT; Fuzzy Tsukamoto; Sensor; Website

Abstract—Arowana fish is an ornamental fish that has a beautiful body shape and color that makes it have a high price, and requires excellent care. The quality of the water in the aquarium must be maintained so that the Arowana fish are not stressed, sick, or die. However, many Arowana owners do not monitor water conditions closely. Therefore, a system is needed that can monitor the state of the aquarium environment, including automatic and manual water changes from the website. In this study using Arduino uno as a microcontroller connected to a pH and turbidity sensor, then NodeMCU ESP32 was used to send data to the internet and to perform the calculation process of Tsukamoto's fuzzy logic. The test results obtained an average accuracy on pH sensors of 96.62%, on turbidity sensors an average accuracy of 92.84%, on ultrasonic sensors an average accuracy of 99.62%. The system also tested Tsukamoto's fuzzy logic where the results were fuzzy with an accuracy of 83%. Testing of the system as a whole was carried out for 4 days. From the tests carried out, the average water pH per day results are 7.1 and turbidity of 18 NTU and all water quality conditions can be met according to the desired output using 9 rule bases.

Keywords: Arowana; IoT; Fuzzy Tsukamoto; Sensor; Website

1. PENDAHULUAN

Ikan hias di Indonesia mengalami perkembangan yang terus meningkat, terutama ikan hias air tawar. Hal ini menjadi peluang yang sangat baik bagi para pembudidaya ikan hias, termasuk para peminat ikan hias, untuk meningkatkan produksinya [1]. Salah satu ikan hias air tawar yang populer adalah Arwana. Ikan arwana sudah dikenal masyarakat Indonesia sebagai hiasan akuarium dan di percaya sebagian orang sebagai pembawa keberuntungan.

Arwana yang memiliki nama latin *Scleropages formosus* juga dikenal ikan naga, naga perak, dan naga perak hitam. Ikan arwana juga termasuk terancam punah, akan tetapi karena keindahannya menjadikan populer dan mencuat ke seluruh dunia [2]. Ikan Arwana adalah spesies endemik Kabupaten Kapuas Hulu Kalimantan Barat yang saat ini sangat populer di semua kalangan pecinta ikan hias. Ikan ini memiliki nilai ekonomis yang tinggi serta warna yang indah, bahkan ada juga yang beranggapan ikan ini sebagai pembawa keberuntungan. Memiliki bentuk tubuh yang memanjang, ramping yang membuatnya menjadi anggun pada saat berenang [3].

Memelihara arwana di akuarium tidak jauh berbeda dengan memelihara ikan hias pada umumnya. Pemeliharaan juga harus tetap dilakukan dengan teliti dan rajin dalam menjaga kualitas air dalam akuarium. Meskipun ikan arwana termasuk ikan yang kuat berbagai kondisi lingkungan, beberapa hal yang harus diperhatikan dalam memelihara arwana adalah pH air, dan tingkat kekeruhan air [4]. Jika kualitas air pada akuarium yang tidak terjaga maka akan mendatangkan penyakit pada ikan arwana, seperti jamur, insang yang tergulung akibat suhu yang tinggi bahkan dapat berakibat stres yang berujung kematian. Penelitian ini dilakukan untuk membuat sebuah sistem yang mampu memonitoring dan mengontrol kualitas air pada akuarium arwana dengan mengimplementasikan logika fuzzy Tsukamoto.

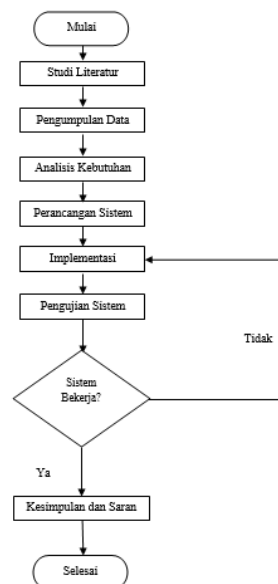
Untuk menyelesaikan permasalahan pada pemeliharaan ikan Arwana ketika pemilik tidak teliti untuk melihat keadaan air dan mengganti air yang ada di dalam akuarium, maka akan dibuat penelitian dibuat sistem mampu memberikan informasi tingkat kekeruhan air, pH air dan kualitas air, serta mampu melakukan kontrol secara otomatis dan manual pada pompa air dengan judul “Sistem Otomatisasi Pengontrol Kualitas Air Pada Akuarium Arwana Berbasis IoT Menggunakan Logika Fuzzy”. Pada penelitian ini dibuat sistem mampu memberikan informasi tingkat kekeruhan air, pH air dan kualitas air, serta mampu melakukan kontrol secara otomatis dan manual pada pompa air.

Adapun beberapa penelitian yang berkaitan dengan kekeruhan air pada akuarium arwana diantaranya adalah, penelitian [5] yang menghasilkan sistem yang mampu mendeteksi kekeruhan air dengan mengirimkan informasi melalui telegram. Penelitian selanjutnya dari [6] yang menghasilkan sistem yang mampu mengukur ketinggian air dan mendeteksi suhu yang menghasilkan output kipas angin dan heater. Penelitian lainnya yang berkaitan dengan logika fuzzy antara lain, penelitian [7] yang menghasilkan sistem filter air dengan pompa otomatis berdasarkan output dari perhitungan fuzzy yang ada pada sistem. Penelitian selanjutnya [8] pada penelitian ini menghasilkan sistem yang bisa memonitoring kualitas air pada akuarium ikan hias dengan menggunakan perhitungan logika fuzzy pada sistem. Penelitian [9] menghasilkan sistem pergantian air otomatis berdasarkan kekeruhan air yang menggunakan perhitungan fuzzy pada kolam ikan lele.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan objek akuarium ikan arwana. Aplikasi yang dibuat untuk monitoring dan kontrol berbasis website. Fokus penelitian ini guna monitoring kualitas air pada akuarium ikan arwana dari pembacaan sensor. Penelitian ini diharuskan pada lokasi yang memiliki akses jaringan. Dalam pembuatan “Sistem Otomatisasi Pengontrol Kualitas Air Pada Akuarium Arwana Berbasis IoT Menggunakan Logika Fuzzy” diperlukan beberapa perangkat lunak dan perangkat keras, berikut dibawah ini perangkat keras dan perangkat lunak yang ada dan digunakan dalam proses pembuatan sistem. Adapun metode yang dilakukan dalam proses membuat sistem ini untuk menjadi sesuai seperti yang diharapkan dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1 Diagram Alir Metode Penelitian

Pada Gambar 1 menggambarkan langkah dalam metode penelitian secara berurutan, diawali dengan melakukan studi literatur, pengumpulan data, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, kemudian akan dilakukan pengujian pada sistem jika berhasil maka akan dilanjutkan dengan kesimpulan dan saran. Akan tetapi jika tidak berhasil maka dilakukan implementasi ulang pada sistem.

2.1.1 Studi Literatur

Pada tahap ini yaitu dilakukan proses pengumpulan sumber pustaka dan dokumentasi untuk memperoleh informasi yang menunjang dalam penelitian. Literatur dapat berupa jurnal ilmiah penelitian yang sebelumnya sudah dilakukan ataupun buku-buku yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

2.1.2 Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data, dilakukan observasi langsung ke lapangan, yaitu ke pecinta arwana yang memelihara arwana di Kabupaten Kapuas Hulu. Data diperoleh melalui hasil observasi langsung dilapangan untuk memperoleh permasalahan dan solusi yang akan dijadikan penelitian ini. Hasil tahap ini digunakan sebagai dasar pengetahuan untuk melakukan penelitian ini.

2.1.3 Analisis Kebutuhan

Pada tahap ini dilakukan analisis untuk mendukung sistem yang akan dibuat. Dimana hal ini berkaitan dengan kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak, adapun untuk kebutuhan adalah sebagai berikut:

2.1.4 Perangkat Keras

Perangkat Keras, dimana berfungsi sebagai eksekutor yang berinteraksi langsung dengan objek yang akan diteliti. Pada perangkat keras, yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Sensor pH

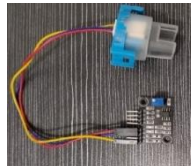
Sensor pH air adalah sensor yang mampu mengukur tingkat keasaman yang dimiliki oleh cairan. Sensor ini terbuat dari material kaca dan pada bagian ujung probe terdapat larutan HCL dan mampu mengukur ion H³⁰⁺ dalam larutan, pada penelitian ini sensor pH berfungsi mengukur tingkat keasaman air pada akuarium [10]. Bentuk fisik dari sensor pH dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2. Sensor pH Air

b. Sensor Turbidity

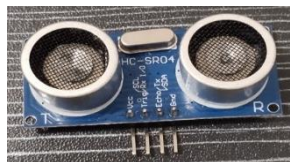
Sensor Turbidity adalah sensor yang dibuat dengan metode nephelometer yaitu metode yang memanfaatkan intensitas cahaya yang kemudian diubah menjadi sinyal listrik. Sensor ini berguna untuk mengetahui tingkat kekeruhan air, pada penelitian ini sensor turbidity digunakan mengukur partikel kekeruhan air yang ada pada akuarium arwana [11]. Bentuk fisik dari sensor Turbidity dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sensor Turbidity

c. Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik adalah sebuah sensor yang mampu mengukur atau membaca jarak mulai dari 2 cm sampai 4 m dan memiliki akurasi mencapai nilai 3 mm. Cara kerja dari sensor ultrasonik adalah mengubah bunyi menjadi listrik atau sebaliknya. Terdiri dari speaker ultrasonik berfungsi mengubah sinyal 40 KHz menjadi besaran suara dan mikropon ultrasonik berfungsi mendeteksi pantulan suaranya [12]. Pada penelitian ini, sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur ketinggian air. Bentuk fisik dari sensor Ultrasonik dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Sensor Ultrasonik

d. Node MCU ESP32

Mikrokontroler ESP32 adalah perangkat keras yang menjadi mikrokontroler atau otak dari suatu sistem. ESP32 adalah update dari ESP 8266, dengan daya yang rendah menjadikannya lebih sering digunakan pada saat ini. Tidak hanya itu ESP32 juga memiliki modul WiFi, pin GPIO dan juga Bluetooth yang lebih banyak digunakan untuk koneksi IoT [13]. Pada penelitian ini, Node MCU ESP32 digunakan untuk mengirim data dari sensor ke website dan mengambil data kontrol pompa dari web untuk menghidup atau mematikan pompa. Adapun bentuk fisik dari Node MCU ESP32 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Node MCU ESP32

e. Arduino Uno

Arduino Uno merupakan salah satu mikrokontroler bersifat open source dengan basis Atmega328. Arduino Uno memiliki pin input sebanyak 14 pin dan pin output sebanyak 6 pin output analog. Untuk koneksi Arduino memiliki 1 pin untuk USB dan 1 pin jack listrik selain itu juga memiliki konektor ICSP dan sebuah tombol reset [14]. Pada penelitian ini, Arduino uno dihubungkan dengan sensor yang digunakan untuk mendapatkan hasil dari pembacaan sensor pada keadaan air. Adapun bentuk fisik Arduino uno dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Arduino Uno

f. Relay

Modul relay adalah salah satu piranti yang beroperasi berdasarkan prinsip elektromagnetik untuk memindahkan posisi On ke Off atau sebaliknya dengan memanfaatkan energi listrik. Proses tertutup dan terbukanya kontraktor ini terjadi akibat adanya efek induksi magnet yang timbul dari kumparan induksi listrik. Perbedaan yang paling mendasar antara relay dan saklar adalah pada saat pemindahan dari posisi On ke Off. Relay melakukan pemindahannya secara otomatis dengan arus listrik, sedangkan saklar dilakukan dengan cara manual [15]. Pada penelitian ini modul relay yang digunakan adalah relay 4 channel untuk mengontrol pompa pada akuarium. Berikut ini adalah bentuk dari Relay 4 channel pada Gambar 7.



Gambar 7. Relay 4 channel

2.1.5 Perangkat Lunak

Perangkat lunak, pada penelitian ini digunakan untuk membuat kode dan perintah pada perangkat keras. Berikut ini adalah perangkat keras yang digunakan sebagai berikut:

- a. Arduino IDE, berfungsi untuk pembuatan kode pada perangkat keras.
- b. Visual Studio Code, digunakan untuk pembuatan kode pada website.
- c. MySql, digunakan sebagai tempat penyimpanan data.

2.1.6 Perancangan Sistem

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem dengan membuat perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak. Pada perancangan perangkat keras, dimasukkan perintah serta logika pada perangkat mikrokontroler yang menjadi komponen utama pada sistem dengan semua perangkat keras pendukung seperti sensor dan perangkat lainnya. Sedangkan perancangan perangkat lunak dilakukan pada IDE Arduino. Sedangkan pada perancangan perangkat lunak, akan dilakukan beberapa pembuatan sistem untuk memberikan perintah pada mikrokontroler maupun untuk membuat interface yang akan digunakan untuk menampilkan data hasil dari pengukuran sensor maupun pengontrolan pada relay. Adapun pada perancangan perangkat lunak yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu, perancangan pengukuran dan pengontrolan pada Arduino, perancangan logika fuzzy perancangan Basis data, perancangan antarmuka website

2.1.7 Implementasi Sistem

Tahap ini merupakan tahap implementasi sistem sesuai dengan perancangan yang telah dibuat sebelumnya menjadi kode-kode program. Perangkat keras adalah perangkat pertama yang akan dibuat karena melalui perangkat keras, pembacaan data dari sensor dapat dilakukan. Perangkat lunak akan bisa digunakan setelah perangkat keras telah selesai dibangun dan siap digunakan dengan menanamkan program terlebih dahulu ke perangkat keras agar perangkat keras dan perangkat lunak dapat terintegrasi untuk dapat melakukan monitoring dan mengecek air, kekeruhan air, pH air dan menghidupkan pompa sehingga sistem dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Adapun implementasi pada penelitian ini dibagi menjadi implementasi perangkat keras dan implementasi perangkat lunak.

2.1.8 Pengujian Sistem

Setelah sistem selesai dibangun, selanjutnya dilakukan pengujian untuk memastikan apakah sistem yang dibangun berfungsi dengan baik dan sesuai dengan yang diharapkan. Tahap pengujian meliputi pengujian kinerja sistem

yang dirancang sebagai antara lain, pengujian pengukuran pH air, pengujian pengukuran kekeruhan air, pengujian pengukuran jarak, pengujian pengiriman data dari mikrokontroler ke server, pengujian pengontrolan relay, pengujian metode logika Fuzzy Tsukamoto, pengujian keseluruhan sistem.

2.1.9 Hasil Dan Pembahasan

Tahap akhir dari penelitian ini adalah menarik kesimpulan yang akan menjawab pertanyaan yang ada pada perumusan masalah berdasarkan hasil pengujian sistem. Dan memberikan saran untuk pengembangan dari penelitian yang sudah dilakukan.

2.2 Internet Of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep di mana berbagai perangkat elektronik dapat saling berkomunikasi dan berinteraksi, baik melalui internet maupun tanpa internet. Interaksi ini dapat terjadi antara manusia dan perangkat, atau antara perangkat dengan perangkat lainnya, dengan memanfaatkan jaringan internet [16]. Cara kerja IoT beroperasi dengan memanfaatkan logika pemrograman di mana setiap perintah menghasilkan perintah antara mesin yang terhubung secara otomatis, tanpa perlu campur tangan manusia dan tanpa batasan jarak. Internet yang akan menjadi penghubung antara perintah manusia ke mesin, dimana manusia hanya akan bertugas mengatur dan mengawasi kerja dari alat tersebut [17].

2.3 Logika Fuzzy

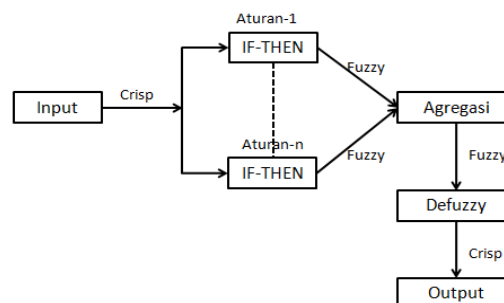
Logika Fuzzy adalah cabang dari sistem kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) yang mampu menjabarkan kemampuan manusia dalam berfikir ke bentuk algoritma dalam sebuah aplikasi untuk pemrosesan data maupun program yang dijalankan oleh mesin. Algoritma ini digunakan untuk pemrosesan data yang tidak dapat direpresentasikan dalam bentuk biner. Dan logika fuzzy juga menginterpretasikan statemen yang samar menjadi pendapat yang lebih logis [18].

Logika fuzzy yang mampu mempresentasikan pemikiran manusia yang berbeda dengan logika digital yang hanya memiliki nilai 1 atau 0. Dimana fuzzy memiliki nilai antara 0 hingga 1. Logika fuzzy digunakan untuk mengambil keputusan menggunakan bahasa (linguistic) seperti sangat bagus, sedang, bagus, buruk, sangat buruk [19]. Oleh karena itu, logika fuzzy menjadi salah satu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output. Tahapan dari proses fuzzy adalah sebagai berikut:

- Fuzzyfikasi, perubahan inputan menjadi linguistik dengan fungsi keanggotaan.
- Rule Base, proses penarikan kesimpulan dari IF-THEN rule.
- Inferensi, adalah proses penggunaan nilai dari fungsi minimal untuk mencari nilai α -predikat.
- Defuzzifikasi, mengubah fungsi himpunan variabel(linguistik) menjadi bentuk nilai tegas.

2.4 Logika Fuzzy Tsukamoto

Pada metode Tsukamoto setiap konsekuen pada aturan yang berbentuk “jika-maka” harus direpresentasikan dengan suatu himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang monoton. Sistem inferensi fuzzy adalah sebuah kerangka komputasi dengan didasari teori himpunan fuzzy, aturan fuzzy berbentuk IF-THEN, dan penalaran fuzzy. Berikut adalah contoh gambar proses dari inferensi fuzzy pada Gambar 9.



Gambar 9. Struktur Dasar Pengendali Fuzzy

Sistem inferensi fuzzy menerima inputan berupa crisp. Pada input akan dikirim ke basis pengetahuan yang berisi aturan fuzzy dengan bentuk IF-THEN. Fire strength (nilai α -predikat atau anteseden) akan dicari pada setiap aturan. Apabila jumlah dalam aturan lebih dari satu, maka akan dilakukan agregasi pada semua aturan. Selanjutnya, pada hasil agregasi akan dilakukan defuzzy untuk mendapatkan nilai crisp sebagai output dari sistem.

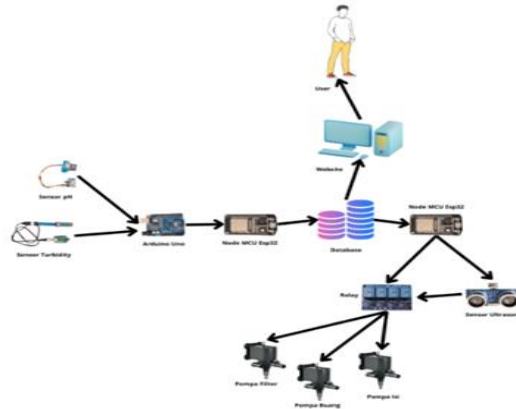
Salah satu metode pada logika fuzzy yaitu metode tsukamoto, memiliki inferensi yang fleksibel dan lebih cocok digunakan untuk masukan manusia. Metode defuzzifikasi yang digunakan dalam metode Tsukamoto adalah metode defuzzifikasi rata-rata terpusat (Center Average Defuzzifier) dirumuskan pada Persamaan (1) [20].

$$Z = \frac{\alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 + \dots + \alpha_n z_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n} \quad (1)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Sistem

Implementasi sistem adalah tahap pembuatan dan penerapan dari sistem yang sudah dirancang, dilakukan penggabungan semua komponen perangkat lunak dan perangkat keras. Implementasi perangkat lunak dilakukan proses pembuatan kode. Implementasi perangkat keras adalah penggabungan dari alat - alat yang dipakai dalam sistem contohnya Arduino Uno, Esp32, sensor Ultrasonik, Sensor pH, sensor Turbidity dan modul Relay. Berikut ini adalah gambar arsitektur sistem pada Gambar 10



Gambar 10. Arsitektur Sistem

3.2 Implementasi Logika Fuzzy

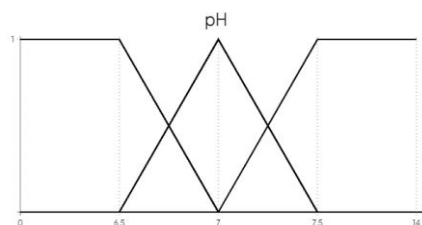
Pada sistem ini logika fuzzy digunakan untuk membuat sebuah keputusan mengenai keadaan kualitas air dalam akuarium. Hasil dari perhitungan dan keputusan logika fuzzy akan di kirim ke database website. Setelah hasil dari fuzzy masuk ke dalam database, maka akan menentukan aksi dari pompa air seperti pada basis aturan yang diinginkan.

3.2.1 Variabel Input pH

Pada himpunan input pH terdiri dari 3 variabel yaitu 0 - 7 keanggotaannya Asam, 6,5 – 7,5 keanggotaannya Normal dan 7,5 – 14 keanggotaannya Basa. dapat dilihat pada Tabel 1 dan grafik pada Gambar 11.

Tabel 1. Keanggotaan pH

No	Himpunan	Derajat Keanggotaan
1	Asam	0 – 7
2	Netral	6,5 – 7,5
3	Basa	7,5 - 14



Gambar 11. Grafik keanggotaan pH air

Fungsi keanggotaan dari pH yang terdiri dari Asam, Normal dan Basa dapat dilihat pada Persamaan (2), (3), dan (4).

$$\text{Asam } \mu[x] = \begin{cases} 1; & x \leq 6,5 \\ \frac{7-x}{7-6,5}; & 6,5 < x < 7 \\ 0; & x \geq 7. \end{cases} \tag{2}$$

$$\text{Normal } \mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 6,5 \\ \frac{x-6,5}{7-6,5}; & 6,5 < x < 7 \\ \frac{7,5-x}{7,5-7}; & 7 < x < 7,5 \\ 0; & x \geq 7,5. \end{cases} \tag{3}$$

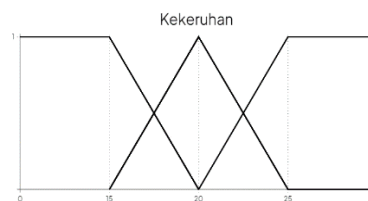
$$\text{Basa } \mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 7 \\ \frac{x-7}{7,5-7}; & 7 < x < 7,5 \\ 1; & x \geq 7,6. \end{cases} \quad (4)$$

3.2.2 Variabel Input Kekерuhan

Pada variabel input kekерuhan, berdasarkan landasan teori dibuatlah 3 himpunan kekерuhan antara lain 0 - 20NTU keanggotaannya Jernih, 15 - 25 NTU keanggotaannya Cukup Keruh dan lebih dari sama dengan 25NTU keanggotaannya Keruh . Pada variabel input kekерuhan dapat dilihat pada Tabel 2. dan gambar grafik pada Gambar 12

Tabel 2. Tabel Keanggotaan Kekерuhan

No	Himpunan	Derajat Keanggotaan
1	Jernih	0 - 20
2	Cukup Keruh	15 - 25
3	Keruh	≥ 25



Gambar 12. Grafik Keanggotaan Kekерuhan Air

Fungsi keanggotaan dari pH yang terdiri dari Jernih, Cukup Keruh dan Keruh dapat dilihat pada Persamaan (4), (5), dan (6).

$$\text{Jernih } \mu[x] = \begin{cases} 1; & x \leq 15 \\ \frac{20-x}{20-15}; & 15 < x < 20 \\ 0; & x \geq 20. \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{Cukup Keruh } \mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 15 \\ \frac{x-15}{20-15}; & 15 < x < 20 \\ \frac{25-x}{25-20}; & 20 < x < 25 \\ 0; & x \geq 25 \end{cases} \quad (5)$$

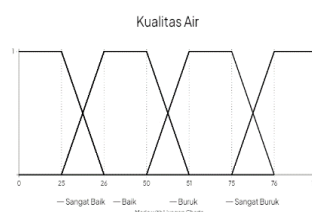
$$\text{Keruh } \mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 20 \\ \frac{x-20}{25-20}; & 20 < x < 25 \\ 1; & x \geq 25 \end{cases} \quad (6)$$

3.2.3 Variabel Output Kualitas Air

Pada variabel kualitas air, dibuat yaitu kualitas air dibagi menjadi 4 himpunan yang terdiri dari Sangat baik dengan Keanggotaan 0 - 26, Baik dengan keanggotaan 25 - 51, Buruk dengan keanggotaan 50 - 71, dan Sangat Buruk dengan keanggotaan lebih dari 70. Pada output kualitas air dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 13.

Tabel 3. Tabel Keanggotaan Kualitas Air

No	Himpunan	Derajat Keanggotaan
1	Sangat Baik	0 - 26
2	Baik	25 - 51
3	Buruk	50 - 71
4	Sangat Buruk	70



Gambar 13. Grafik Keanggotaan Kualitas Air

3.2.4 Rule Base

Setelah dibuat variabel dari tiap himpunan maka akan dibuat basis aturan yang akan digunakan dalam fuzzy. Adapun basis aturan yang dibuat dapat dilihat pada Tabel.

Tabel 4. Rule Base Fuzzy

Rule	pH	Kekeruhan	Kualitas	Keadaan Pompa
R1	Asam	Jernih	Buruk	Filter menyala
R2	Asam	Cukup Keruh	Buruk	Filter menyala
R3	Asam	Keruh	Sangat Buruk	Ganti air
R4	Normal	Jernih	Sangat Baik	Filter mati
R5	Normal	Cukup Keruh	Baik	Filter menyala sebentar
R6	Normal	Keruh	Buruk	Filter menyala
R7	Basa	Jernih	Buruk	Ganti air
R8	Basa	Cukup Keruh	Buruk	Filter menyala sebentar
R9	Basa	Keruh	Sangat Buruk	Ganti air

3.3 Implementasi Pengukuran pH Air

Alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran pH air adalah sensor ph dengan modul ph-4205c dan Arduino Uno. Nilai yang di dapatkan dari sensor berupa voltase dari air yang kemudian di kalibrasi dan di konversi menjadi nilai pH air. Pada rangkaian sistem, pin yang terhubung adalah Gnd pada Arduino ke Gnd pada modul sensor, pin Vcc pada Arduino juga dihubungkan pada pin V+ pada modul sensor, dan pin A0 dihubungkan dengan pin p+ pada modul sensor pH. Gambar dari implementasi sistem dapat dilihat pada Gambar



Gambar 14. Implementasi Pengukuran pH

3.4 Implementasi Pengukuran Kekeruhan Air

Alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran kekeruhan air adalah sensor turbidity DFRobot SEN189 dan Arduino Uno. Pada penelitian ini satuan yang digunakan dalam mengukur kekeruhan air adalah satuan NTU. Sensor ini menggunakan voltase yang di dapatkan dari analog output dan kemudian dilakukan kalibrasi untuk menghitung partikel cahaya pada air. Pada sistem ini adapun rangkaiannya yaitu Gnd pada Arduino dihubungkan dengan kabel hitam pada modul sensor, Vcc pada Arduino dihubungkan ke kabel merah, dan A1 pada Arduino dihubungkan dengan kabel biru pada modul sensor. Berikut ini adalah gambar implementasi sistem pengukuran kekeruhan air pada Gambar



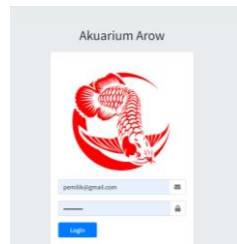
Gambar 16. Implementasi Pengukuran Kekeruhan

3.5 Implementasi Website

Pada implementasi website digunakan framework Laravel untuk pengembangan kebutuhan dari apa saja yang akan ditampilkan pada halaman web serta melakukan koneksi dengan mikrokontroler dan database MySQL digunakan untuk menyimpan data yang akan ditampilkan pada website.

3.5.1 Halaman Login

Pada halaman ini akan diminta untuk mengisi form email dan password dari user. Pada saat form di isi dengan email dan password yang benar maka akan masuk ke halaman selanjutnya, akan tetapi jika password dan email yang dimasukkan salah maka halaman login akan memberitahukan kesalahan email dan password sehingga tidak akan bisa membuka halaman lain pada website.



Gambar 17. Halaman Login

3.5.2 Halaman Dashboard

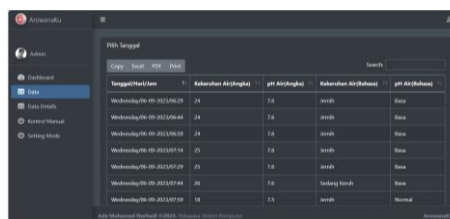
Halaman Dashboard adalah halaman utama setelah login yang memberikan informasi singkat tentang keadaan air melalui kartu dan tabel. Kartu tersebut menampilkan kualitas air, pH air, dan kekeruhan air dalam bentuk angka dan linguistik dari data sensor terbaru. Tabel menampilkan data pH air, kekeruhan air, dan waktu pengukuran sesuai data sensor. Halaman ini juga memiliki grafik pH air dan kekeruhan air. Pada Gambar adalah tampilan dari halaman dashboard.



Gambar 18. Halaman Dashboard

3.5.3 Halaman Data

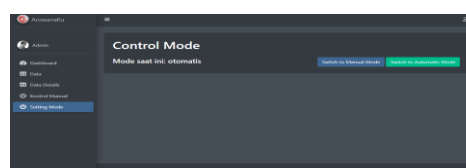
Halaman Data menampilkan informasi dari sensor dalam bentuk tabel, termasuk data kekeruhan air dan pH air dalam bentuk angka dan linguistik. Fitur-fitur tambahan meliputi kemampuan mencetak data serta mengunduh data dalam format Excel, Word, dan PDF. Tabel hanya menampilkan 10 baris sekaligus dengan opsi untuk melihat baris berikutnya melalui tombol di bawahnya. Terdapat juga fitur pencarian data yang memungkinkan pencarian berdasarkan waktu atau hasil pengukuran sensor menggunakan kata kunci sesuai keinginan. Pada Gambar adalah tampilan halaman data pada website.



Gambar 19. Halaman Data

3.5.4 Halaman Mode

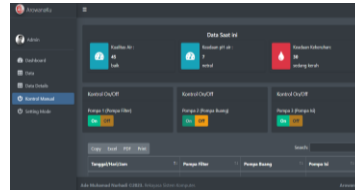
Halaman Mode adalah halaman yang digunakan untuk melakukan pengaturan pada pompa, dimana terdapat dua mode yaitu mode otomatis dan mode manual. Pada mode otomatis, pompa akan melakukan sesuai dengan sistem yang sudah dirancang pada basis aturan fuzzy. Sedangkan pada mode manual, pompa dikontrol melalui menu kontrol. Berikut Gambar 5.10 adalah tampilan dari halaman mode.



Gambar 20. Halaman Mode

3.5.5 Halaman Kontrol

Halaman kontrol adalah halaman yang berfungsi untuk melakukan pengontrolan pada pompa. Pada halaman memiliki beberapa data yang ditampilkan yaitu data air yang terakhir dikirim dari hasil pengukuran sensor dan perhitungan fuzzy. Tidak hanya itu, halaman ini juga menampilkan tabel kondisi pompa dan terdapat tombol untuk menghidupkan atau mematikan pompa secara manual. Tampilan Halaman Kontrol dapat dilihat pada Gambar



Gambar 21. Halaman Kontrol

3.6 Pengujian Sistem

3.6.1 Pengujian Sensor pH

Pada sistem yang di buat sensor pH yang dipakai adalah sensor pH dengan modul pH-4502C. Proses pengujian sensor pH air dibandingkan dengan pH meter digital Hasil dari pengujian sensor pH dapat dilihat pada Tabel 5, Gambar 22 dan Gambar 23.

Tabel 5. Tabel Pengujian pH

No	Sensor pH	pH Meter Digital	Selisih	Error %
1	6,92	7,33	0,41	5,59%
2	7	7,33	0,33	4,50%
3	7,03	7,32	0,31	3,96%
4	6,88	7,32	0,44	6,01%
5	6,91	7,32	0,41	5,60%
6	6,91	7,31	0,4	5,47%
7	6,87	7,31	0,44	6,01%
8	6,88	7,31	0,43	5,88%
9	6,92	7,31	0,39	5,33%
10	6,93	7,31	0,38	5,19%
Rata- rata			0,394	5,35%



Gambar 22. Pengukuran dengan sensor



Gambar 23. Pengukuran dengan pH Meter

Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan untuk melakukan proses pengujian sensor pH air dibandingkan dengan pH meter digital. Pengujian yang dilakukan menggunakan air PDAM. Hasil dari pengujian yang dilakukan diperoleh selisih rata-rata sebesar 0,394cm dan error rata-rata 5,35%.

3.6.2 Pengujian Sensor Turbidity

Sensor yang digunakan untuk mengetahui tingkat kekeruhan air adalah sensor turbidity, dimana pada sensor ini menggunakan menggunakan cahaya untuk memprediksi partikel yang ada pada air. Pada penelitian ini kekeruhan air diukur dengan satuan nilai NTU (Nephelometric Turbidity Unit). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi pada sensor turbidity yang digunakan pada sistem. Perbandingan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Tabel Pengujian Sensor Turbidity

Air sampel	Pengujian Dalam NTU		Selisih	Error %
	Sensor kekeruhan	Turbidity meter		
PDAM	7	5,94	1,06	15,14
Air Sumur Bor	42	40,5	1,5	3,57
Rata-rata			2,56	9,35

Pengujian dilakukan dengan menggunakan 3 buah sampel air yang berbeda, yaitu air PDAM dan Air Sumur. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor dan pengukuran dengan Turbidity meter Hasil dari pengujian sensor Turbidity diperoleh rata-rata error sensor sebesar 9,35%.

3.6.3 Pengujian Sensor Ultrasonik

Sensor yang digunakan untuk mengukur jarak air ketika melakukan pergantian air adalah sensor Ultrasonik HC-SR04. Sensor ini bekerja menggunakan gelombang ultrasonik yang digunakan untuk mendeteksi atau memperkirakan jarak dan keberadaan suatu benda. Berikut ini adalah tabel perbandingan dan gambar percobaan yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 24.

Tabel 7. Tabel Pengujian Sensor Ultrasonik

No	Pengukuran Jarak		Selisih	Error %
	Sensor Ultrasonik	Penggaris		
1	4,98	5	0,02	0,4%
2	9,91	10	0,09	0,9%
3	14,89	15	0,11	0,73%
4	19,96	20	0,04	0,2%
5	24,98	25	0,02	0,08%
6	29,9	30	0,1	0,33%
7	34,88	35	0,12	0,34%
8	39,85	40	0,15	0,37%
9	44,82	45	0,18	0,4%
10	49,98	50	0,02	0,04%
	Rata- rata		0,09	0,38%



Gambar 24. Pengujian Sensor Ultrasonik

Pada pengujian sensor ultrasonik yang dilakukan sebanyak 10 kali dengan jarak 5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, 30cm, 35cm, 40cm, 45cm, dan 50cm didapatkan hasil dari rata-rata selisih sebesar 0,09cm. Sensor ultrasonik dibandingkan dengan pengukuran menggunakan penggaris dan didapatkan hasil error dari perbandingan adalah 0,38%.

3.6.4 Pengujian Logika Fuzzy Tsukamoto

Pengujian metode fuzzy Tsukamoto pada sistem adalah bertujuan untuk mengetahui akurasi dari sistem yang dibuat. Pada pengujian ini dilakukan percobaan sebanyak 30 kali dengan melakukan percobaan data. Untuk menguji di buat keadaan air yang berbeda sebanyak 30 sampel air. Pada pengujian untuk mendapatkan data input yang berbeda diberikan beberapa keadaan air dengan secara acak. Tabel pengujian dari logika fuzzy Tsukamoto Tabel 8.

Tabel 8. Tabel Pengujian Fuzzy Tsukamoto

No	Nilai Pengukuran sensor		Output Fuzzy			Pompa		Pengujian berhasil / tidak
	pH	Kekeruhan	Nilai	Linguistik	Filter	Buang	Isi	
1	7,4	22	71,94	Buruk	Hidup	Mati	Mati	Berhasil
2	7,3	40	75,8	Sangat Buruk	Hidup	Mati	Mati	Berhasil
3	7,3	8	55,48	Buruk	Hidup	Mati	Mati	Tidak Berhasil
4	7,4	18	58,86	Buruk	Hidup	Mati	Mati	Berhasil
5	7	40	71	Buruk	Hidup	Mati	Mati	Berhasil
6	7	8	70	Sangat Baik	Mati	Mati	Mati	Berhasil
7	7	18	40,48	Baik	Hidup	Mati	Mati	Berhasil
8	8,9	18	75,48	Sangat Buruk	Mati	Hidup	Hidup	Tidak Berhasil
9	8,7	41	76	Sangat Buruk	Mati	Hidup	Hidup	Berhasil
10	6,9	41	75,2	Buruk	Hidup	Mati	Mati	Berhasil
11	8,8	21	75,2	Buruk	Hidup	Mati	Mati	Berhasil
12	8,8	40	76	Sangat Buruk	Mati	Hidup	Hidup	Berhasil
13	3,9	10	75	Buruk	Hidup	Mati	Mati	Tidak Berhasil
14	3,9	20	75	Buruk	Hidup	Mati	Mati	Berhasil
15	3,9	41	76	Sangat Buruk	Mati	Hidup	Hidup	Berhasil
16	6,8	21	64,77	Buruk	Hidup	Mati	Mati	Berhasil
17	6,8	9	45,48	Baik	Hidup	Mati	Mati	Tidak Berhasil
18	6,9	40	75,2	Buruk	Hidup	Mati	Mati	Berhasil
19	6,8	73	75,4	Buruk	Hidup	Mati	Mati	Tidak Berhasil

No	Nilai Pengukuran sensor		Output Fuzzy		Pompa			Pengujian berhasil / tidak
	pH	Kekeruhan	Nilai	Linguistik	Filter	Buang	Isi	
20	4	73	76	Sangat Buruk	Mati	Hidup	Hidup	Berhasil
21	4	20	75	Buruk	Hidup	Mati	Mati	Berhasil
22	4	8	75	Buruk	Hidup	Mati	Mati	Berhasil
23	7,1	8	35,2	Baik	Hidup	Mati	Mati	Berhasil
24	7,1	21	61	Buruk	Hidup	Mati	Mati	Berhasil
25	7,1	42	75,2	Buruk	Hidup	Mati	Mati	Berhasil
26	8,9	42	76	Sangat Buruk	Mati	Hidup	Hidup	Berhasil
27	3,9	42	76	Sangat Buruk	Mati	Hidup	Hidup	Berhasil
28	7,2	20	60,48	Buruk	Hidup	Mati	Mati	Berhasil
29	7,2	72	75,4	Buruk	Hidup	Mati	Mati	Berhasil
30	7,2	9	45,48	Baik	Hidup	Mati	Mati	Berhasil

Pada pengujian logika fuzzy Tsukamoto didapatkan hasil dari pengujian 30 kali pengujian yang dilakukan, 25 pengujian sesuai dengan yang diharapkan dan 5 pengujian tidak sesuai dengan dengan yang diharapkan. Adapun perhitungan untuk mendapatkan nilai akurasi dijabarkan dibawah ini.

$$\text{Error}(\%) \text{ sistem} = \left| \frac{30-25}{30} \right| \times 100 = 16,66\%$$

$$\text{Akurasi} (\%) \text{ sistem} = 100 - 16,66 = 83,33\%$$

3.6.5 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian dilakukan selama 4 hari, hal yang diamati yaitu tingkat kualitas air yang ditentukan dari logika fuzzy Tsukamoto. Gambar dari pengujian keseluruhan sistem dapat dilihat pada Gambar 25 dan hasil dari pengamatan keadaan air dan pompa dalam 4 hari dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Tabel Pengujian Keseluruhan Sistem

No	Hari Ke	pH	Kekeruhan	Kualitas Air	Pompa Aktif
1	Ke-1	7,04 (Normal)	15,5 (Jernih)	25 (Sangat Baik)	Pompa Filter Mati
2	Ke-2	7,1 (Basa)	16,83 (Jernih)	35 (Baik)	Filter setiap 5 menit
3	Ke-3	7,2 (Basa)	18,84 (Jernih)	65,48 (Buruk)	Filter Selalu hidup
4	Ke-4	7,3 (Basa)	21,5 (Cukup Keruh)	75,8 (Sangat Buruk)	Buang dan Isi

Pada pengujian selama 4 hari, pada Tabel 5.5 adalah ringkasan dalam rata-rata perhari dimana pada hari ke-1 kondisi air sangat baik. Pada ke-2 keadaan kualitas air kondisi Baik dimana pompa yang hidup adalah pompa filter setiap 5 menit, hari ke-3 keadaan kualitas air kondisinya buruk dimana pada kondisi ini pompa yang hidup adalah pompa filter, dan pada hari ke-4 keadaan kualitas air kondisinya Buruk dimana ketika pada kondisi ini maka akan dilakukan ganti air secara otomatis.

4. KESIMPULAN

Pada sistem ini, digunakan mikrokontroler Arduino uno yang dihubungkan dengan sensor pH untuk membaca keadaan pH dan sensor turbidity untuk kekeruhan air. Mikrokontroler NodeMCU ESP32 untuk mengirim data hasil pembacaan sensor ke website dan digunakan untuk melakukan perhitungan logika fuzzy. NodeMCU ESP32 juga digunakan untuk mengontrol relay pompa dan dihubungkan dengan sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air. Pada sensor pH diperoleh akurasi sebesar 96,62%, sedangkan pada sensor turbidity akurasi sebesar 90,65%, dan pada sensor ultrasonik akurasi sensor sebesar 99,62%. Penerapan logika fuzzy Tsukamoto pada sistem berfungsi sebagai pendukung keputusan kualitas air, dari kualitas air bisa dilakukan pengontrolan otomatis pada pompa. Sistem ini, dibuat dengan 9 rule base dengan logika fuzzy Tsukamoto untuk menentukan kualitas air sebagai hasil dari perhitungan. Pengujian fuzzy Tsukamoto pada sistem dilakukan dengan 30 kali percobaan untuk mengetahui akurasi fuzzy, pada pengujian di peroleh hasil akurasi 83,66%. Pengujian sistem secara keseluruhan, dilakukan selama 4 hari. Dari pengujian tersebut, didapatkan keadaan akuarium yaitu pH air memiliki rata-rata 7,1 dan Kekeruhan air memiliki rata-rata 18,1 NTU. Pada hari ke-1 keadaan kualitas air sangat baik, hari ke-2 kualitas air dalam keadaan baik dan pompa yang menyala adalah pompa filter yang hidup setiap 5 menit sekali. Pada hari ke-3 air berada dalam keadaan buruk, dan pompa filter menyala setiap saat. Pada hari ke-4 kualitas air dalam keadaan sangat buruk, dan pada keadaan kualitas air buruk maka akan dilakukan ganti air otomatis pada pompa buang dan pompa isi. Setelah dilakukan pergantian air otomatis, air kembali ke kualitas Baik. Adapun saran untuk penelitian yang dilakukan kedepan antara lain dengan membuat aplikasi berbentuk mobile yang mampu mengirimkan notifikasi dan menambahkan fitur kontrol manual pada alat penunjang kebutuhan akuarium seperti lampu dan aerator.

REFERENCES

- [1] S. G. R. D. P. A. T. & P. A. T. Samsugi, "Penerapan Penjadwalan Pakan Ikan Hias Molly Menggunakan Sensor Mikrokontroler Arduino Uno Dan Sensor RTC DS3231," *Jurnal Teknologi dan Sistem Tertanam*, 2022.
- [2] L. Setiawan, "Ikan Arwana sebagai Sumber Inspirasi Penciptaan Karya Kriya Logam," *Doctoral dissertation*, Institut Seni Indonesia Yogyakarta, 2018.
- [3] Aditya rizky Wildani, Jannus Marpaung, Leonardus Sandy Ade Putra, Fitri Imansyah dan R. R. Y. , "Sistem Monitoring Kecerdasan Ikan Arwana," *Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura*, 2021.
- [4] P. A. & P. P. Pamungkas, "Teknik Pemijahan Alami Ikan Arwana Super Red (*Scleropages formosus*) Di PT.Arwana, Depok, Jawa Barat," *Journal of Aquaculture and Fish Health*, pp. 98-101, 2018.
- [5] R. N. Hidayat dan Supatman, "Perancangan Sistem Deteksi Kekeruhan Air Pada Akuarium Ikan Arwana," *KONSTELASI: Konvergensi Teknologi dan Sistem Informasi*, 1(2), 391-401, 2021.
- [6] T. W. Piter Wijaya, "Perancangan dan Implementasi Sistem Pemantauan Suhu dan Ketinggian Air pada Akuarium Ikan Hias berbasis IoT," *Jurnal Sistem Komputer dan Informatika (JSON)*, vol. 4, 2022.
- [7] D. Arefianto, A. P. Sasmito dan A. Wahid, "Pemanfaatan Metode Fuzzy Untuk Budidaya Ikan Tombro Bebasis Iot (Internet Of Thing)," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, pp. 138-145, 2021.
- [8] S. F. Kadir, "Mobile Iot (Internet of Things) Untuk Pemantauan Kualitas Air Habitat Ikan Hias Pada Akuarium Menggunakan Metode Logika," *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 2019.
- [9] M. Cholilulloh, D. Syaquy dan Tibyani, "Implementasi MetodeFuzzyPada Kualitas Air Kolam Bibit Lele Berdasarkan Suhu dan Kekeruhan," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 2, pp. 1813-1822, 2018.
- [10] I. P. Y. P. Pratama, K. S. Wibawaa dan I. M. A. D. Suarjaya, "Perancangan PH Meter Dengan Sensor PH Air BerbasisArduino," *JITTER Jurnal Ilmiah Teknologi dan Komputer*, vol. 3, 2022.
- [11] G. Wiranto, T. Rahajoeningroem dan A. F. Fernanda, "Sistem Monitoring Kualitas Air Menggunakan Sensor Turbidity Metode Nephelometri Berbasis Raspberry PI 3," *Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan (Telekontran)*, vol. 8, 2020.
- [12] M. Amin, "Sistem Cerdas Kontrol Kran Air Menggunakan Mikrokontroler Arduino dan Sensor Ultrasonic," *Jurnal Nasional Teknologi dan Jaringan*, 2020.
- [13] S. Rahmad, D. Triyanto dan U. Ristian, "Sistem Kontrol Dan Monitoring Pembibitan Ikan Arwana Berbasis Internet Of Things," *Jurnal Komputer dan Aplikasi*, 2021.
- [14] Z. Lubis, L. A. Saputra dan Haikal Nando Winata, "Kontrol Mesin Air Otomatis Berbasis Arduino Dengan Smartphone," *Buletin Utama Teknik*, pp. 155-159., 2019.
- [15] F. R. Darmawan, Y. Ariyanto dan S. N. Arief, "Pengukuran Ketinggian Air dalam Tangki Berbasis IOT menggunakan Protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)," *Seminar Informatika Aplikatif Polinema (SIAP)*, 2021.
- [16] K. S. Bu'u, Nachrowie dan E. Sonalitha, "Monitoring Kualitas Air pada Aquarium Berbasis Internet of Things (IoT)," *Blend Sains Jurnal Teknik*, vol. 2, pp. 184-190, 2023.
- [17] S. Bella, "Implementasi Smart Aquarium Berbasis Internet Of Things (Iot) Pada Salma Aquarium Ikan Hias," *JTIK (Jurnal Teknik Informatika Kaputama)*, pp. 322-330, 2023.
- [18] S. Kusumadewi dan H. Purnomo, *Aplikasi Logika Fuzzy untuk pendukung keputusan*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010.
- [19] D. A. Ula, "Rancang bangun sistem monitoring kualitas air layak konsumsi berbasis internet of things dengan metode Fuzzy Tsukamoto sebagai sistem pendukung keputusan," *Doctoral dissertation*, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, 2020.
- [20] N. I. S. Bromastuty, B. D. Setiawan dan Indriati, "Optimasi Fungsi Keanggotaan Fuzzy Inference System Tsukamoto dengan Particle Swarm Optimization pada Penentuan Jumlah Produksi Gula (Studi Kasus : Pabrik Gula Kebonagung Malang)," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, pp. 2902-2908 , 2018.