

Budidaya Ikan Lele Berbasis IoT Dengan Metode Fuzzy Logic Di Karang Taruna Sekar Arum, Kelurahan Tunjung Sekar, Kota Malang

M Arief Maulana Efendi¹, Fawaidul Badri², Anang Habibi³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
Jl. MT Haryono 193 Malang

efendimaulana906@gmail.com, fawaidulbadri@unisma.ac.id, ananghabibi@unisma.ac.id

Abstract

Catfish farming often faces challenges in maintaining pond water quality, particularly pH and TDS parameters, which significantly impact fish growth and health. This study aims to design an IoT-based automation system using fuzzy logic to monitor and control water quality in catfish ponds at Karang Taruna Sekar Arum, Malang. The system integrates pH, TDS, DS18B20 temperature, and HC-SR04 ultrasonic sensors connected to an ESP32 microcontroller. Sensor data is processed using Mamdani fuzzy logic to activate actuators (acid/base pumps, solenoid valves, and stirrers) to stabilize water pH. Real-time monitoring is facilitated via the Arduino IoT Cloud dashboard. Test results show sensor accuracies for pH (4% error), TDS (3% error), temperature (2% error), and ultrasonic (2% error). The system successfully maintains pH within the ideal range (6.5–8.5) and optimizes water replacement based on TDS levels. This implementation proves the effectiveness of IoT and fuzzy logic in improving catfish farming efficiency.

Keywords: IoT, fuzzy logic, catfish farming, water quality, Arduino IoT Cloud.

Abstraksi

Budidaya ikan lele sering menghadapi tantangan dalam menjaga kualitas air kolam, terutama parameter pH dan TDS, yang berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan dan kesehatan ikan. Peneliti ini bertujuan merancang sistem otomatisasi berbasis *internet of things* (IoT) dengan metode *fuzzy logic* untuk memantau dan mengendalikan kualitas air kolam ikan lele di karang taruna sekar arum, malang. Sistem ini mengintegrasikan sensor pH, TDS, suhu DS18B20, dan ultrasonik HC-SR04 yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Data sensor diproses menggunakan logika fuzzy mamdani untuk mengaktifkan aktuator (pompa asam/basa, katup solenoid, dan pengaduk) guna menstabilkan pH air. Pemantauan real-time dilakukan melalui dashboard Arduino IoT cloud. Hasil pengujian menunjukkan akurasi sensor pH (error 4%), TDS (error 3%), suhu (error 2%), dan ultrasonik (error 2%). Sistem berhasil mempertahankan pH pada rentang ideal (6.5-8.5) serta mengoptimalkan pergantian air berdasarkan tingkat TDS. Implementasi ini membuktikan efektivitas IoT dan *fuzzy logic* dalam meningkatkan efisiensi budidaya ikan lele.

Kata Kunci: IoT, fuzzy logic, budidaya ikan lele, kualitas air, Arduino IoT Cloud.

I. PENDAHULUAN

Ikan air tawar merupakan hewan air yang disukai oleh masyarakat untuk di konsumsi atau di budidaya potensi pembudidayaan ikan air tawar di Indonesia sangat tinggi. Hal tersebut dapat di amati dari banyaknya pembudidaya di Indonesia. Menurut data triwulan I-2022 adalah sebesar 5,89 juta ton, yang terdiri dari produksi perikanan tangkap sebesar 1,90 juta ton dan perikanan budidaya sebesar 3,99 juta ton[1].

Dari banyaknya jenis ikan air tawar, ikan lele (*Clarias sp*) merupakan salah satu ikan air tawar yang populer di kalangan masyarakat Indonesia. Masyarakat Indonesia umumnya menyukai ikan lele dikarenakan tekstur dagingnya yang lunak dan kaya akan vitamin[2].

Tingginya potensi penjualan dan konsumsi ikan lele di kalang masyarakat Indonesia, maka peternak ikan lele dituntut untuk dapat dengan cepat dan efisien menyediakan pasokan ikan lele

ke pasaran, oleh sebab itu di butuhkan usaha atau langkah untuk meningkatkan kinerja ternak dari para pembudidaya [3].

Dalam proses pembudidayaan ikan sering terjadi kesalahan yang disebabkan oleh buruknya kualitas air[4], yang merupakan faktor utama untuk pertumbuhan dan Kesehatan ikan[5], air yang tidak memenuhi standar kualitas[6] dapat membahayakan ikan lele, mengganggu pertumbuhan, Kesehatan dan kelangsungan hidupnya.

Tingginya tingkat kematian ikan dalam pemeliharaan umumnya disebabkan oleh buruknya kualitas media, terutama kondisi air[7], yang berperan penting dalam mendukung pertumbuhan dan kesehatan ikan[8]. Parameter utama seperti pH, suhu[9], oksigen terlarut (DO)[10], ammonia, dan nitrit harus tetap di batas aman[11].

Kurangnya frekuensi penggantian air[12] dapat menyebabkan penumpukan limbah[13], seperti

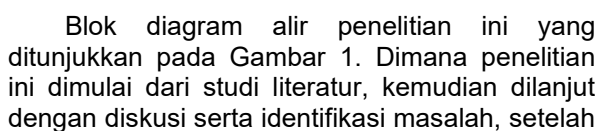
mengetahui permasalahan dilanjutkan perancangan sistem dilakukan untuk menentukan struktur dan fungsi teknis sistem secara menyeluruh, yang kemudian diikuti oleh perencanaan hardware berupa pemilihan sensor, mikrokontroler, dan aktuator. Tahap berikutnya pembuatan program yang bertugas mengatur kerja logika kerja system, setelah perangkat keras dan lunak selesai dibuat, dilakukan uji coba alat guna memastikan bahwa system dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan. Jika alat berfungsi dengan baik, maka dilakukan pengambilan data jika terjadi error maka dilakukan perancangan ulang jika berfungsi dengan baik maka dilakukan analisis dan evaluasi menyeluruh terhadap sistem.

B. FLOWCHART SYSTEM

Gambar 2. Flowchart Sistem

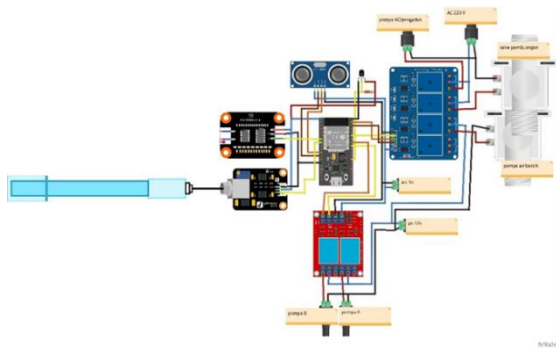
Pada gambar 3.7 menggambarkan proses pengendalian kualitas air kolam secara otomatis berdasarkan parameter ketinggian air, kandungan tds, dan nilai pH, sistem diawali dengan memeriksa kondisi awal yaitu, status pompa air bersih dalam keadaan mati. Jika level air belum mencapai ambang batas (>100), maka pompa air bersih menyala dan air bersih ditambahkan hingga mencapai level yang ditentukan, kemudian pengaduk di aktifkan selama satu menit. Setelah itu sistem menjalankan inferensi fuzzy dan defuzzifikasi pertama untuk menentukan Tindakan selanjutnya, jika hasil defuzzifikasi menunjukkan nilai tds melebihi ambang target, maka katup pembuangan air akan dibuka, dan sistem memantau ulang level air. Jika air berkurang di bawah ambang batas, pengisian air bersih dan pengaduk dilakukan Kembali. Selanjutnya, sistem melakukan inferensi fuzzy kedua untuk mengevaluasi nilai pH. Jika nilai pH terlalu tinggi, maka pompa A akan di aktifkan untuk menambahkan larutan asam, sedangkan jika terlalu rendah, pompa B di aktifkan untuk

Gambar 1. Diagram Alur Tahapan Penelitian



menambahkan larutan basa. Setelah nilai pH berada dalam rentang target, kedua pompa dimatikan, dan sistem masuk ke mode loop untuk melakukan pemantauan secara berkala. Dalam mode otomatis menunjukkan bahwa sistem bekerja secara otomatis dan berkelanjutan dalam menjaga stabilitas kualitas air kolam melalui kontrol berbasis fuzzy logic.

C. DESAIN ELEKTRONIK



Gambar 3. Desain Elektronik

Pada desain board hardware di gambar 3. berupa tata letak komponen-komponen sistem monitoring dan pengendalian pH air kolam yang menggunakan logika fuzzy yang dimulai dari catu daya hingga aktuator yang tersusun sebagai berikut:

- 1) Catu Daya
 - Listrik AC 220 V
Untuk mensuplai daya yang dibutuhkan valve pembuangan dan pompa AC 220 V sebagai pengaduk/sirkulasi.
 - Power Supply DC 12 V
Untuk mensuplai daya yang dibutuhkan pompa A, B dan pompa air bersih DC 12 V.
 - Adaptor DC 5 V
Untuk mensuplai daya yang dibutuhkan ESP32.
- 2) Mikrokontroler ESP32 DEVKIT V1
Berfungsi sebagai otak dan pengolahan data dari sensor dan berkomunikasi dengan cloud serta pengendali aktuator.
- 3) Sensor – sensor
 - Sensor pH
 - Sensor TDS
 - Sensor Suhu DS18B20
 - Sensor ultrasonik HC-SR04
- 4) Aktuator
 - 5 Buah Relay
2 buah relay digunakan untuk pompa larutan asam dan pompa larutan basa dengan daya 12 VDC, 1 buah relay untuk pompa air bersih dengan daya 12 VDC, 2

buah relay digunakan untuk pompa sirkulasi dan valve pembuangan 220VAC.

D. DESAIN MEKANIK



Gambar 4. Desain Mekanik

Pada Gambar 4. ditampilkan posisi perangkat elektronik sistem. Catu daya sebesar 12VDC digunakan untuk menyuplai energi yang diperlukan oleh pompa. Mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32, yang berfungsi untuk menerima input dari berbagai sensor, seperti sensor pH, sensor TDS, sensor suhu, dan sensor ultrasonik, serta mengaktifkan modul relay yang mengendalikan pompa dan katup (valve).

E. PERANCANGAN LOGIKA FUZZY

Pada perencanaan logika fuzzy ini mengacu pada mode otomatis untuk mengendalikan stabilitas pH air kolam ikan lele, sistem ini mempunyai urutan kerja pengendalian kualitas air secara menyeluruh berdasarkan mode auto pada logika fuzzy mempunyai 2 variabel input: sensor pH, sensor tds dan mempunyai 3 variabel output: pompa asam, pompa basa dan valve pembuangan. Untuk mempersiapkan logika fuzzy secara utuh maka dilakukan tahapan seperti, derajat keanggotaan dan fuzzy rule agar memudahkan peneliti dalam membuat simulasi selanjutnya akan dijadikan sebagai bahan perbandingan dengan hasil perbandingan dengan hasil perhitungan aktual yang di jalankan oleh mikrokontroler.

Berikut detail tahapan yang direncanakan:

- 1) Variabel Fuzzy
Variabel yang akan dibahas adalah nilai pH nilai ppm dan pompa asam, basa dan valve.
- 2) Semesta Pembicaraan Fuzzy
Semesta Pembicaraan Fuzzy *Input*:
 - pH (0-14)
 - TDS (0-1000)ppm
 Semesta Pembicaraan Fuzzy *Output*:
 - Pompa A (0-10)s
 - Pompa B (0-10)s
 - Valve pembuangan (0-50)%
- 3) Himpunan Fuzzy

Tabel 1. Variabel Himpunan Fuzzy

Himpunan variabel				
Input		Output		
pH	TDS	Pompa A	Pompa B	Valve P
Asam	Ideal	Asam Singkat	Basa Singkat	Sedikit
Ideal	Bahaya	Asam Sedang	Basa Sedang	Sedang
Basa	Mematikan	Asam Lama	Basa Lama	Banyak

4) Domain Fuzzy

Tabel 2. Domain Fuzzy

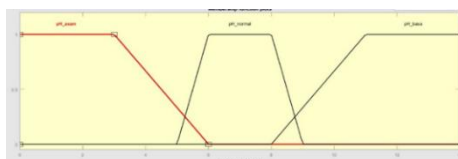
pH	Asam	Normal	Basa
	[0,0,3,6]	[5,6,8,9]	[8,11,14,14]
TDS	Ideal	Bahaya	Mematikan
	[0,0,400,500]	[400,500,800,900]	[800,900,1000,1000]
Pompa A	Asam Singkat	Asam Sedang	Asam Lama
	[0,2,5,2,5,5]	[2,5,5,5,7,5]	[5,7,5,7,5,10]
Pompa B	Basa Singkat	Basa Sedang	Basa Lama
	[0,2,5,2,5,5]	[2,5,5,5,7,5]	[5,7,5,7,5,10]
Valve	Sedikit	Sedang	Banyak
	[0,10,10,20]	[15,25,25,35]	[30,40,40,50]

5) Keanggotaan Fuzzy

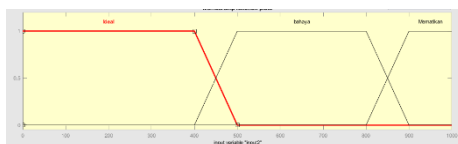
Dengan Menyusun derajat keanggotaan fuzzy,peneliti dapat secara langsung menetapkan variabel fuzzy, menentukan semesta pembicaraan, serta membentuk himpunan fuzzy yang diperlukan sebagai berikut:

Derajat Keanggotaan Fuzzy *Input*:

1) pH

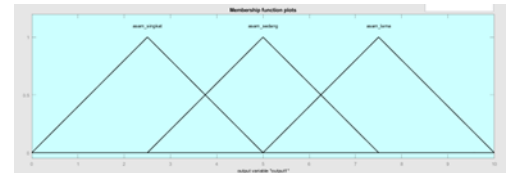
**Gambar 5. Keanggotaan pH**

2) TDS

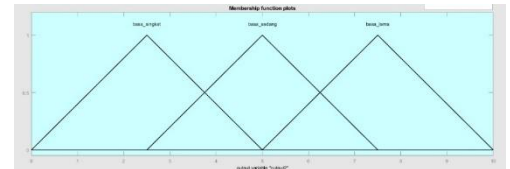
**Gambar 6. Keanggotaan Temperatur**

Derajat Keanggotaan Fuzzy *Output*:

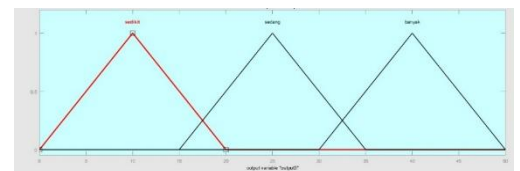
1) Pompa A

**Gambar 7. Keanggotaan Pompa A**

2) Pompa B

**Gambar 8. Keanggotaan Pompa B**

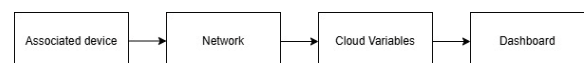
3) Valve Pembuangan

**Gambar 9. Keanggotaan Valve**

6) Fuzzy Rule Base

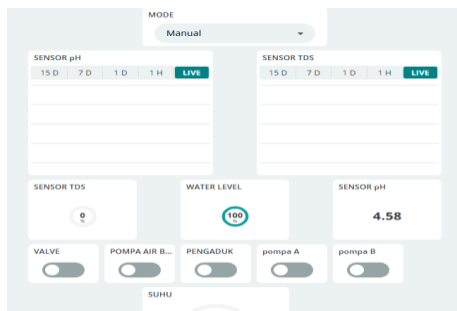
Tabel 3. Rule Base

No	pH	TDS	Pompa A	Pompa B	Valve Pembuangan
1	Asam	Ideal	Asam Singkat	Basa Singkat	V Sedikit
2	Asam	Bahaya	Asam Singkat	Basa Sedang	V Sedang
3	Asam	Mematikan	Asam Singkat	Basa Lama	V Banyak
4	Normal	Ideal	Asam Singkat	Basa Singkat	V Sedikit
5	Normal	Bahaya	Asam Singkat	Basa Singkat	V Sedang
6	Normal	Mematikan	Asam Singkat	Basa Singkat	V Banyak
7	Basa	Ideal	Asam Singkat	Basa Singkat	V Sedikit
8	Basa	Bahaya	Asam Singkat	Basa Singkat	V Sedang
9	Basa	Mematikan	Asam Singkat	Basa Singkat	V Banyak

F. INFRASTRUKTUR SISTEM INTERNET OF THINGS**Gambar 10. Infrastruktur Arduino IoT Cloud**

Pada gambar 10. menggambarkan arsitektur inti Arduino IoT Cloud, dimulai dari perangkat fisik Arduino (Scaled Device) yang berinteraksi dengan dunia nyata melalui sensor dan aktuator; perangkat ini terhubung ke jaringan internet (Network) seperti WiFi atau seluler untuk komunikasi dengan cloud. Inti sistem terletak pada mekanisme variabel lokal (*Local Variables*) di

perangkat, yang secara otomatis dan real-time disinkronkan dua arah dengan representasinya di cloud – ketika nilai variabel berubah di perangkat (misalnya dari pembacaan sensor), cloud diperbarui, dan ketika nilai diubah di cloud (misalnya perintah kontrol), nilai di perangkat juga diperbarui. Akhirnya, dashboard (*Dashboard*) berbasis web menyediakan antarmuka visual untuk memantau data dari variabel (melalui grafik, indikator) dan mengendalikan perangkat (melalui tombol, slider) dari mana saja, menyederhanakan manajemen dan otomatisasi solusi IoT secara keseluruhan.



Gambar 11. Wireframe Dashboard

Pada gambar 11. adalah rancangan dashboard pada Arduino IoT, sistem ini dapat diakses melalui aplikasi Arduino IoT remote pada perangkat mobile maupun melalui web browser. Kemampuan ini memberikan kemudahan bagi pengguna dalam melakukan pemantauan dan pengendalian sistem secara real-time dari berbagai lokasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. PENGUJIAN DIGITAL OUTPUT



Gambar 12. Digital Output Sistem

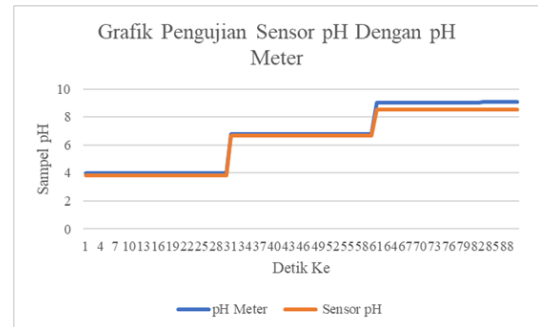
Pengujian keluaran digital dilakukan dengan memberikan perintah atau trigger melalui dashboard Arduino IoT Cloud. Perintah tersebut kemudian dibandingkan dengan respons kerja dari masing-masing aktuatur digital, yang meliputi pompa A, pompa B, pompa air bersih, katup pembuangan, dan pengaduk yang menerima instruksi tersebut.

Tabel 4. Pengujian Aktuatur

Item	Perintah Dari Cloud	Aktual	Keterangan
Pompa A	ON	HIGH	Sesuai
	OFF	LOW	
Pompa B	ON	HIGH	Sesuai
	OFF	LOW	
Pompa Air Bersih	ON	HIGH	Sesuai
	OFF	LOW	
Pengaduk	ON	HIGH	Sesuai
	OFF	LOW	

Pada Gambar 4.7 Validasi Digital Output Menunjukkan hasil pengujian pada digital output. Ketika pengguna mengirimkan perintah ON melalui dashboard Arduino IoT Cloud, mikrokontroler ESP32 memberikan sinyal HIGH ke modul relay, sehingga pompa dan katup (valve) diaktifkan. Sebaliknya, saat perintah OFF dikirimkan, ESP32 mengeluarkan sinyal LOW yang menyebabkan pompa dan katup menjadi tidak aktif.

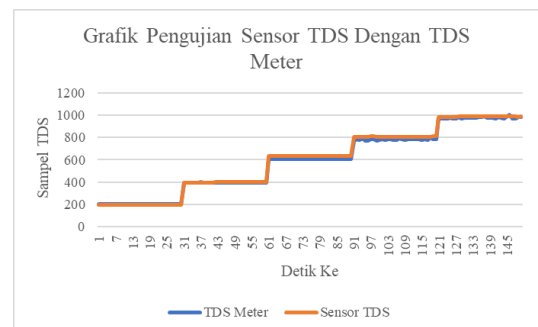
B. PENGUJIAN SENSOR pH



Gambar 13. Grafik Hasil Pengujian Sensor pH

Pada Gambar 13. Grafik Pengujian Sensor pH Dengan pH Meter Menunjukkan grafik perbandingan antara nilai pH yang dibaca oleh sensor pH dengan nilai dari alat ukur pH meter. Pengujian dilakukan pada tiga nilai pH yaitu pH 4,01, 6,80, dan 9,18. Setiap nilai diuji sebanyak 30 kali untuk mendapatkan data yang representatif. Pada pengujian dengan larutan buffer pH 4,01, sensor menghasilkan pembacaan rata-rata sebesar 3,83, dengan presentase error sebesar 4%. Selanjutnya, pada pengujian dengan larutan buffer pH 6,80, sensor menghasilkan nilai berkisar antara 6,67 hingga 6,69 dengan error sebesar 1-2%. Pada pengujian larutan buffer pH 9,18 sensor menghasilkan nilai yang relatif konstan sebesar 8,52 dengan presentase error sebesar 6%. Pada hal ini menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang optimal pada kisaran pH netral.

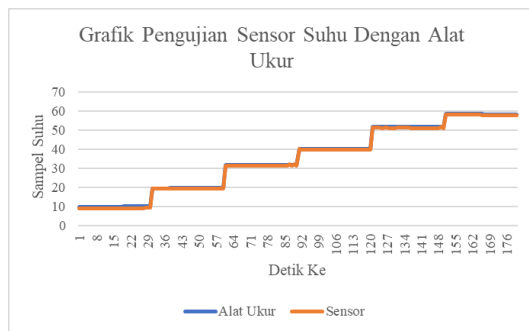
C. PENGUJIAN SENSOR TDS



Gambar 14. Grafik Hasil Pengujian Sensor TDS

Berdasarkan Gambar 14. grafik perbandingan antara sensor TDS dan TDS meter standart menunjukkan bahwa nilai yang terbaca oleh sensor TDS memiliki pola yang sangat mendekati alat ukur standart. Respons sensor bersifat konsisten dalam mempresentasikan perubahan konsentrasi. Meskipun terdapat selisih pada level konsentrasi menengah ke atas, perbedaan tersebut masih dalam rentang toleransi yang dapat diterima. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor TDS yang digunakan memiliki akurasi yang baik dan andal untuk pengukuran *Total Dissolved Solids* (TDS) dalam air. Dengan demikian, sensor ini layak digunakan dalam sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT.

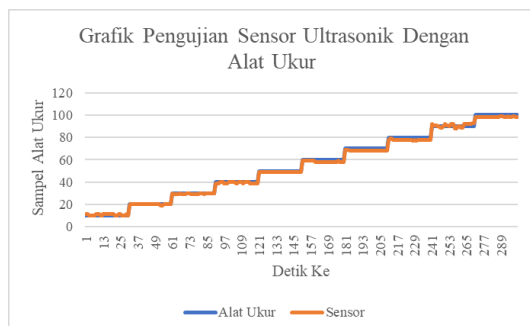
D. PENGUJIAN SENSOR SUHU



Gambar 15. Grafik Hasil Pengujian Sensor Suhu

Pada Gambar 15. Menunjukkan grafik hasil pengujian sensor suhu terhadap thermometer digital standart menunjukkan bahwa kedua kurva memiliki tren kenaikan yang serupa dari suhu 10°C hingga $60 \pm 2,5^{\circ}\text{C}$. selisih nilai yang terjadi sangat kecil dan masih dalam batas toleransi kesalahan yang dapat diterima. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sensor suhu ini memiliki akurasi yang memadai dan layak digunakan dalam system pemantauan kualitas air berbasis IoT.

E. PENGUJIAN SENSOR ULTRASONIK



Gambar 16. Grafik Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

Berdasarkan Pada Gambar 16. memperlihatkan hasil pengujian sensor ultrasonik dengan membandingkan data pembacaan sensor

terhadap alat ukur referensi. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa kurva yang mempresentasikan hasil pembacaan sensor (berwarna oranye) memiliki pola yang hampir serupa dengan kurva alat ukur referensi (berwarna biru). Tingkat akurasi ini diperkuat dengan nilai MAPE sebesar 2.5% yang menunjukkan bahwa selisih atau deviasi yang terjadi dalam batas toleransi yang sangat baik. Dengan demikian sensor ultrasonik terbukti andal untuk digunakan sebagai alat ukur.

F. PENGUJIAN PERHITUNGAN FUZZY

Tabel 5. Hasil Pengujian Perhitungan Fuzzy ESP32 dengan MATLAB

Jenis	MAPE		
	Pompa A	Pompa B	Valve
ESP32	0%	0%	0%
MATLAB	0%	0%	0%

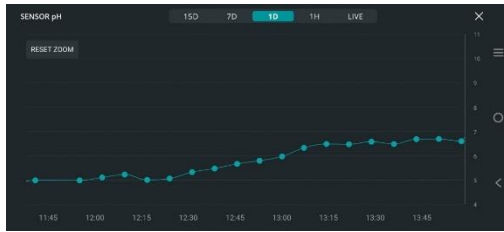
Pengujian perhitungan fuzzy dilakukan dengan cara membandingkan hasil perhitungan dari mikrokontroler ESP32 Devkit V1 dengan hasil perhitungan aplikasi MATLAB. Hal ini bertujuan untuk mengetahui bahwa implementasi logika fuzzy pada mikrokontroler ESP32 Devkit V1 telah memenuhi akurasi yang baik dan sudah sesuai.

Berdasarkan pada Tabel 5. nilai perhitungan MAPE dari mikrokontroler ESP32 Devkit V1 dengan aplikasi Matlab Implementasi logika fuzzy pada mikrokontroler ESP32 menghasilkan keluaran yang sepenuhnya identik dengan simulasi di MATLAB (MAPE = 0 %). Hal ini membuktikan bahwa algoritma fuzzy telah diimplementasikan dengan tepat dan valid, sehingga dapat diandalkan untuk pengendalian pompa A, pompa B, maupun valve dalam sistem otomatis kualitas air kolam.

G. PENGUJIAN SISTEM KESELURUHAN

Pengujian sistem keseluruhan dibagi menjadi tiga pengujian yang pertama pengujian dimana dalam kondisi air kolam berada pada pH asam yang kedua kondisi dimana pH dalam kondisi basa, untuk pengujian yang ketiga adalah pengujian dimana keadaan TDS pada nilai bahaya berikut adalah data proses pengujian.

- Pengujian nilai pH dari kondisi asam ke rentang normal



Gambar 17. Grafik Pengujian pH kondisi Asam

Pada pengujian sistem keseluruhan yang ditunjukkan pada gambar grafik pertama sistem di uji kemampuannya menaikkan pH air dari kondisi sangat asam (sekitar 5,0- 5,3) ke nilai yang diharapkan, yaitu pH 6,7 – 7,0. pada proses pengujian ini system mampu meningkatkan pH dalam kurun waktu 45 menit, pH terangkat secara linear tanpa mengalami lonjakan (overshoot) yang signifikan. Kenaikan konsisten ini menunjukkan bahwa strategi fuzzy logic dalam mengatur injeksi larutan basa melalui pompa B berjalan dengan mulus dan responsif. Setelah mencapai set-point, nilai pH dipertahankan dengan fluktuasi minimal ($\pm 0,1$), yang mengindikasikan bahwa sistem ini mampu menahan kondisi stabil.

- b. Pengujian nilai pH dari kondisi basa ke rentang normal



Gambar 18. Grafik Pengujian pH Kondisi Basa

Berdasarkan pada gambar grafik pengujian sistem yang kedua dikonfigurasi untuk menurunkan nilai pH air yang awalnya sangat basa (sekitar pH 9) untuk menuju pada pH normal (sekitar 7,2-7,4). Pada proses ini terjadi penurunan nilai pH dari 9 ke 8 selama 60 menit, dan untuk penurunan yang terakhir menuju nilai pH 7,3 dalam waktu sekitar 15 menit. Sepanjang keseluruhan durasi, fluktuasi nilai pH diakhir pengujian hanya berada dalam deviasi $\pm 0,1$, menandakan bahwa aksi koreksi melalui pengaktifan pompa asam berjalan tanpa overshoot berbahaya dan memberikan kestabilan yang memadai.

- c. Pengujian TDS dari kondisi tinggi/ bahaya ke kondisi ideal



Gambar 19. Grafik Pengujian TDS kondisi Tinggi

Berdasarkan pada gambar grafik pengujian ketiga menitik beratkan pada pengendalian total dissolved solids (TDS) pada kolam. Mulanya TDS tercatat tinggi, sekitar 670 ppm, kemudian sistem fuzzy logic memulai dua siklus penurunan bertahap. Siklus pertama menurunkan TDS dari 670 ppm ke 500 ppm dalam waktu 30 menit, diikuti periode stabilitas selama kurang lebih 45 menit. Setelah itu, siklus kedua diterapkan, menurunkan TDS lebih lanjut menjadi 400 ppm dalam jangka waktu sekitar 30 menit. Pada akhir pengujian nilai TDS menunjukkan fluktuasi terbatas (± 5 ppm), memperlihatkan bahwa mekanisme pergantian air bersih dan pembuangan air berkadar padatan tinggi telah di kendalikan dengan persisi.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian ini membuktikan bahwa sistem kendali kualitas air kolam lele berbasis IoT dengan metode logika fuzzy mampu menjawab seluruh rumusan masalah yang diajukan. Pertama, penerapan logika fuzzy menghasilkan pengambilan keputusan adaptif untuk pompa penaik dan penurun pH dengan akurasi 100 %, sehingga pH dan TDS terjaga dalam rentang ideal (error sensor rata-rata < 5 %). Kedua, kemampuan monitoring dan kontrol jarak jauh melalui Arduino IoT Cloud memudahkan pengelola dalam memantau kondisi air secara real-time tanpa harus hadir di lokasi. Ketiga, dalam pengujian lapangan, sistem berhasil menaikkan pH dari kondisi asam (pH = 5) ke netral (pH = 7) dalam waktu 45 menit tanpa overshoot dan dengan fluktuasi minimal. Keempat, kombinasi kendali otomatis dan pemantauan jarak jauh ini sekaligus meminimalkan risiko kematian ikan akibat perubahan kualitas air yang tiba-tiba. Dengan demikian, solusi ini tidak hanya efektif dari segi kestabilan parameter, tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional budidaya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. M. C. Siahaan and S. Saputra, "DIVERSIFIKASI EKONOMI

- MASYARAKAT PESISIR DALAM PEMBENTUKAN KAMPUNG MARITIM TANGGUH DESA BAGAN SERDANG," *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, vol. 7, no. 3, p. 2676, Jun. 2023,
- [2] R. Nurhidayat, "PENGENDALIAN KUALITAS AIR PADA BUDIDAYA IKAN LELE JENIS MUTIARA," *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kendali dan Listrik*, vol. 1, no. 2, pp. 42–50, Jun. 2020,
- [3] T. Widodo, A. Bayu Santoso, S. Ihsani Ishak, and R. Rumeon, "JEPIN (Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika) Sistem Kendali Proporsional Kualitas Air berupa Ph dan Suhu pada Budidaya Ikan Lele Berbasis IoT," 2023.
- [4] D. Sofarini, Y. Yunandar, and R. Nurhidayah, "PERBAIKAN KUALITAS AIR KOLAM BUDIDAYA IKAN DENGAN SISTEM FILTRASI DI KECAMATAN BAKUMPAI BARITO KUALA KALIMANTAN SELATAN," *Jurnal Abdi Insani*, vol. 9, no. 4, pp. 1486–1494, Dec. 2022,
- [5] A. Bhawiyuga and W. Yahya, "SISTEM MONITORING KUALITAS AIR KOLAM BUDIDAYA MENGGUNAKAN JARINGAN SENSOR NIRKABEL BERBASIS PROTOKOL LORA," vol. 6, no. 1, pp. 99–106, 2019,
- [6] Z. Saputra, P. Silalahi, S. Verentinus, W. Safitri, and P. Manufaktur Negeri Bangka Belitung, "Monitoring Kualitas Air Kolam Ikan Lele Berbasis IoT," 2025.
- [7] A. B. Zaidy, "Pengaruh Pergantian Air Terhadap Kualitas Air dan Performa Produksi Ikan Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*) Dipelihara di Kolam Bioflok," *Jurnal Penyuluhan Perikanan dan Kelautan*, vol. 16, no. 1, pp. 95–107, Apr. 2022,
- [8] M. A. Z. R. F. Leila Ariyani Sofia*1, "Peningkatan Produktivitas Usaha Budidaya Ikan Haruan Melalui Perbaikan Pengelolaan Kualitas Air," *Jurnal Pengabdian Inovasi Lahan Basah Unggu*, vol. 1, p. 152162, 2021, Accessed: Aug. 07, 2025.
- [9] E. Patriono, R. Amalia, and M. Sitia, "Kualitas air kolam budidaya dan kolam terpal untuk pertumbuhan ikan Lele Sangkuriang (*Clarias gariepinus*) pada kelompok pembudidaya ikan Lele di Kabupaten PALI Sumatera Selatan," 2021.
- [10] P. Destariantanto, A. A. Gemaputri, and T. Kustiari, "Diseminasi Penerapan Teknologi Inovasi SANKE (Intelligent Koi Pond Water Quality Control System) pada Pengendalian Kualitas Air Kolam Koi Terintegrasi Intelligent System berbasis Internet of Things untuk Peningkatan Produktivitas Ikan Koi di The Genks Koi 99, Kabupaten Jember," *Community Service*, 2024.
- [11] R. Dian Rahmawati *et al.*, "Meningkatan Produktivitas Budidaya Ikan Melalui Sistem Monitoring Kualitas Air Di Desa Tapen Berbasis IoT," 2024.
- [12] D. S. Siti Nuraisah1*, "RANCANG BANGUN SISTEM PEMBERIAN IKAN LELE DAN PERGANTIAN AIR KOLAM SECARA OTOMATIS MENGGUNAKAN MIKROKONTROLLER," *Sistem Informatika, Jaringan Komputer, dan Aplikasi*, vol. 11, 2021, Accessed: Aug. 07, 2025.
- [13] J. Sistem and K. Tgd, "Rancang Bangun Sistem Ganti Air Kolam Ikan Otomatis Menggunakan RTC Berbasis Mikrokontroler Atmega 16A," vol. 2, pp. 163–168, 2023,
- [14] A. Rusman, N. V. Hidayati, and H. Syakuri, "DETERMINASI TINGKAT PENCEMARAN AIR PADA SISTEM BUDIDAYA IKAN GURAMI (*Osphronemus gouramy*) DI BANYUMAS, JAWA TENGAH," *Jurnal Perikanan Unram*, vol. 13, no. 3, pp. 690–702, Jan. 2024,
- [15] I. Yuliani, R. H. Pratiwi, and Yulistiana, "Analisis Tingkat Serangan Parasit pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) dan Ikan Lele (*Clarias gariepinus*) di Balai Benih Ikan (BBI) Ciganjur," *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Hayati*, pp. 68–80, Feb. 2023.
- [16] M. Tasya Aulia, N. Anisah, E. Sulistyo, P. M. Negeri, and B. Belitung, "PROSIDING SEMINAR NASIONAL INOVASI TEKNOLOGI TERAPAN 2022 SISTEM KONTROL DAN MONITORING KUALITAS AIR PADA BUDIDAYA IKAN LELE DENGAN MEDIA KOLAM BERBASIS IoT," 2022.
- [17] D. Agra Susilo, J. Maulindar, and M. Evi Yuliana, "Perancangan Alat Monitoring Kualitas Air Kolam Ikan Lele Berbasis Internet Of Things," *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, vol. 3, pp. 4703–4711, 2023.
- [18] F. Islamy, M. Fauzan, and I. Sakti, "Peningkatan Hasil Budidaya Ikan Lele melalui Pengendalian Kualitas Air dengan Microbubble dan Sistem Monitoring IoT," *Jurnal Pendidikan Teknologi informasi*, vol. 9, no. 1, pp. 88–102, 2025.
- [19] A. E. Wijaya, R. Bani, and S. Sukarni, "SISTEM MONITORING KUALITAS AIR MINERAL BERBASIS IOT (INTERNET OF THINGS) MENGGUNAKAN PLATFORM NODE-RED DAN METODE SAW (SIMPLE ADDITIVE WEIGHTING)," *Jurnal Teknologi*

Informasi dan Komunikasi STMIK Subang,
2019.