

## RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN KONTROL AKUAPONIK BERBASIS IOT

### DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN IOT-BASED AQUAPONICS MONITORING AND CONTROL SYSTEM

Arbi Alfian Mas'ud<sup>1</sup>, Rini Puji Astutik<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Gresik<sup>1,2</sup>

[arbyjaya123@gmail.com](mailto:arbyjaya123@gmail.com)<sup>1</sup>, [astutik\\_rpa@umg.ac.id](mailto:astutik_rpa@umg.ac.id)<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

*Aquaponics is an integrated system of fish and plant cultivation that requires continuous water quality monitoring to maintain ecosystem stability. Manual monitoring methods are often unable to respond quickly to sudden changes, potentially affecting fish health and plant growth. This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based aquaponics monitoring and control system using an ESP32-S3 microcontroller. The system is equipped with a DS18B20 temperature sensor, pH sensor, turbidity sensor, and ultrasonic sensor for water-level measurement. Sensor data are transmitted in real time via the HTTP POST protocol and visualized on a web-based dashboard through graphs and status indicators. The water pump is controlled using the Mamdani fuzzy logic method, enabling smoother and more proportional decision-making based on water quality conditions. Experimental results show that all sensors achieved high accuracy with low error values. The fuzzy logic implementation on the ESP32-S3 also demonstrated consistency with MATLAB calculations. The system's dashboard successfully displays stable real-time data and sends automatic Telegram notifications when parameters exceed safe thresholds. Overall, the developed system effectively enhances aquaponics monitoring and control performance and has strong potential to be implemented as an efficient and sustainable smart farming solution.*

**Keywords:** Aquaponics, Internet of Things, ESP32-S3, Fuzzy Mamdani

#### ABSTRAK

Akuaponik merupakan integrasi antara budidaya ikan dan tanaman yang membutuhkan pemantauan kualitas air secara berkelanjutan agar ekosistem tetap stabil. Proses monitoring yang dilakukan secara manual sering kali tidak mampu merespons perubahan parameter air secara cepat, sehingga dapat berdampak pada kesehatan ikan dan pertumbuhan tanaman. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem monitoring dan kontrol akuaponik berbasis Internet of Things (IoT) dengan menggunakan mikrokontroler ESP32-S3. Sistem dilengkapi sensor suhu DS18B20, sensor pH, sensor kekeruhan, dan sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air. Data sensor dikirimkan secara real-time menggunakan protokol HTTP POST dan ditampilkan melalui dashboard web dalam bentuk grafik serta indikator status. Sistem kontrol pompa menggunakan metode logika fuzzy Mamdani untuk menghasilkan keputusan yang lebih halus dan proporsional terhadap perubahan kondisi air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sensor memiliki akurasi tinggi dengan nilai error rendah. Implementasi fuzzy pada ESP32-S3 juga menunjukkan hasil yang konsisten dengan perhitungan MATLAB. Dashboard mampu menampilkan data dengan stabil serta mengirimkan notifikasi otomatis melalui Telegram apabila parameter berada di luar ambang batas normal. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan mampu meningkatkan efektivitas monitoring dan kontrol akuaponik, serta berpotensi diterapkan sebagai solusi smart farming yang efisien dan berkelanjutan.

**Kata kunci:** Akuaponik, IoT, ESP32-S3, Fuzzy Mamdani

#### PENDAHULUAN

Ketahanan pangan global saat ini menjadi isu kritis seiring meningkatnya jumlah penduduk, perubahan iklim, serta keterbatasan lahan pertanian produktif yang menuntut adanya inovasi dalam sistem produksi pangan (FAO, 2021). Berbagai pendekatan pertanian modern mulai

dikembangkan untuk menjawab tantangan tersebut, salah satunya adalah sistem akuaponik. Akuaponik merupakan integrasi antara budidaya ikan (*akuakultur*) dan tanaman tanpa tanah (*hidroponik*) dalam satu ekosistem resirkulasi yang saling menguntungkan (Rakocy et al., 2016). Limbah organik dari ikan dimanfaatkan

sebagai nutrisi tanaman, sementara tanaman berperan dalam menjaga kualitas air melalui filtrasi alami. Sistem ini tidak hanya efisien dalam penggunaan air, bahkan mampu menghemat hingga 90% air dibandingkan pertanian konvensional (Somerville et al., 2014) namun juga dapat diterapkan pada area dengan ruang terbatas seperti lingkungan perkotaan.

Meskipun memiliki banyak keunggulan, keberhasilan sistem akuaponik sangat bergantung pada stabilitas kualitas air. Parameter seperti suhu, pH, kekeruhan, dan ketinggian air harus berada dalam nilai optimal agar ikan dan tanaman dapat tumbuh dengan baik (Goddek et al., 2019). Permasalahan utama yang sering muncul adalah proses monitoring yang masih dilakukan secara manual, sehingga tidak mampu memberikan respons cepat terhadap perubahan kualitas air yang terjadi secara tiba-tiba (Villaruel et al., 2016). Ketertinggalan respons dapat menyebabkan kerusakan ekosistem, penurunan kesehatan ikan, dan kegagalan panen. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem monitoring otomatis yang dapat bekerja secara *real-time*, akurat, dan mampu memberikan peringatan dini apabila terjadi kondisi kritis.

Perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* menghadirkan solusi yang efektif dalam mengotomatisasi sistem akuaponik. IoT memungkinkan perangkat sensor terhubung melalui jaringan internet sehingga mampu mengirimkan data secara berkelanjutan untuk ditampilkan pada dashboard yang dapat dipantau dari jarak jauh (Ashton, 2009; Ray, 2018). Penerapan IoT dalam akuaponik terbukti meningkatkan efisiensi pemantauan sekaligus meminimalkan risiko kesalahan manusia (Kumar & Patel, 2020). Selain itu, teknologi IoT dapat dikombinasikan dengan sistem kontrol cerdas seperti *logika fuzzy Mamdani*, yang bekerja berdasarkan pendekatan linguistik sehingga lebih fleksibel dalam menangani ketidakpastian parameter sistem (Zadeh, 1975; Kusumadewi & Purnomo, 2010). Implementasi fuzzy pada sistem akuaponik

memungkinkan pengambilan keputusan otomatis untuk mengatur pompa berdasarkan kondisi aktual air.

Melalui kebutuhan akan pemantauan otomatis dan pengendalian kualitas air yang lebih efisien, penelitian ini mengembangkan sistem akuaponik berbasis IoT dengan mikrokontroler ESP32-S3 yang terintegrasi dengan sensor suhu DS18B20, sensor pH, sensor kekeruhan, dan sensor ultrasonik untuk ketinggian air. Sistem ini dirancang untuk mengirimkan data ke server melalui HTTP POST, menampilkannya dalam bentuk grafik dan indikator status pada dashboard web, serta mengirimkan notifikasi otomatis melalui aplikasi Telegram jika terjadi kondisi tidak normal. Selain itu, penelitian ini menerapkan *logika fuzzy Mamdani* untuk mengendalikan pompa air secara otomatis berdasarkan hasil inferensi dari kondisi kualitas air.

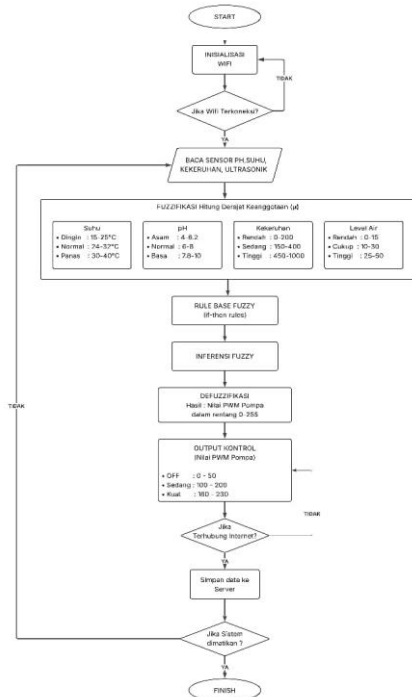
Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem akuaponik otomatis yang mampu meningkatkan efisiensi monitoring, mempercepat respons terhadap perubahan kualitas air, dan mendukung keberlanjutan praktik pertanian modern melalui integrasi teknologi IoT dan kontrol cerdas. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat menjadi solusi inovatif dalam mendukung *smart farming* serta meningkatkan produktivitas budidaya akuaponik secara berkelanjutan.

## METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen dengan tujuan merancang dan menguji sistem monitoring serta kontrol akuaponik berbasis *Internet of Things (IoT)*. Tahapan metode meliputi studi literatur, perancangan sistem, perancangan perangkat lunak, desain rangkaian perangkat keras, perancangan logika fuzzy Mamdani, serta pengujian performa sistem.

Pada tahap studi literatur, peneliti mengkaji referensi terkait akuaponik, IoT, sensor kualitas air, dan penerapan logika

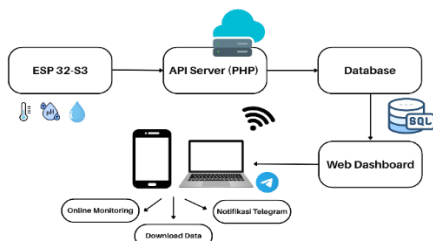
fuzzy dalam sistem kontrol. Tahap berikutnya adalah perancangan sistem yang menggambarkan alur kerja proses monitoring dan kontrol otomatis. Sistem dirancang agar mampu membaca sensor suhu, pH, kekeruhan air, dan ketinggian air, kemudian mengirimkan data ke server untuk ditampilkan dalam dashboard web.



**Gambar 1. Flowchart Sistem**

Flowchart proses kerja sistem mulai dari pembacaan sensor, pengiriman data, pemrosesan fuzzy, hingga kontrol pompa.

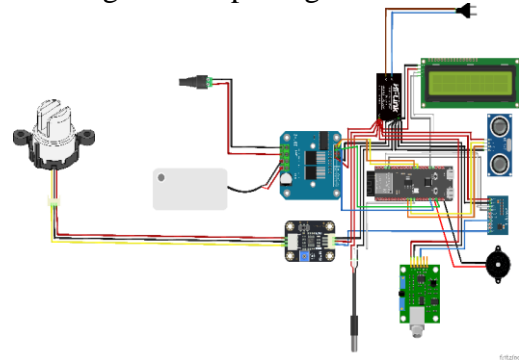
Perancangan perangkat lunak dilakukan menggunakan Arduino IDE untuk mengelola pembacaan sensor dan pengiriman data ke server melalui protokol HTTP POST. Server dibangun menggunakan PHP dan basis data MySQL, sedangkan tampilan dashboard dirancang untuk memberikan visualisasi grafik secara real-time kepada pengguna.



**Gambar 2. Diagram Arsitektur Perangkat Lunak Sistem**

Diagram hubungan antara ESP32-S3, server, database, dan dashboard web.

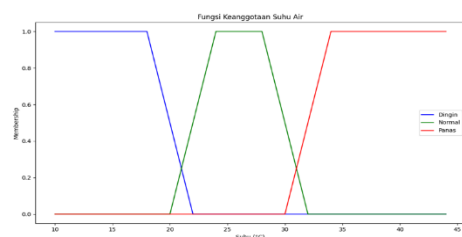
Tahap berikutnya adalah desain wiring perangkat keras. Setiap sensor dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32-S3 sesuai konfigurasi teknis. Sensor DS18B20 terhubung melalui protokol One-Wire, sensor pH dan turbidity melalui input analog, sementara sensor ultrasonik terhubung melalui pin digital.



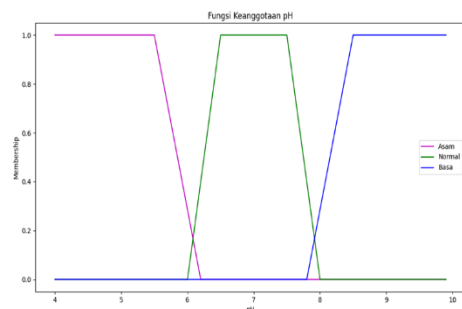
**Gambar 3. Wiring Sistem**

Wiring ESP32-S3 dengan semua sensor dan relay pompa air.

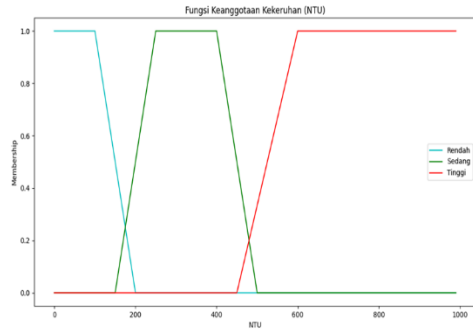
Pada tahap perancangan logika fuzzy Mamdani, seluruh parameter input (suhu, pH, kekeruhan, level air) dibentuk menjadi fungsi keanggotaan. Setiap variabel memiliki rentang fuzzy seperti dingin–normal–panas atau rendah–sedang–tinggi. Kemudian disusun rule base yang memuat hubungan antarvariabel untuk menentukan output berupa PWM pompa.



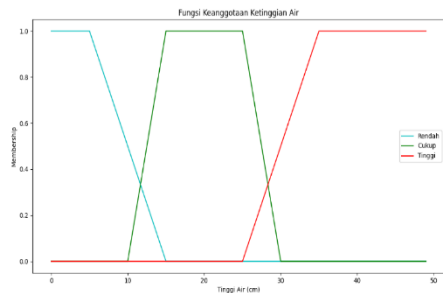
**Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Suhu Air**



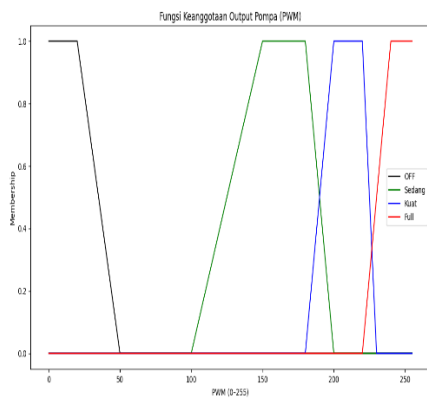
**Gambar 5. Fungsi Keanggotaan pH**



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Kekeruhan Air



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Ketinggian Air



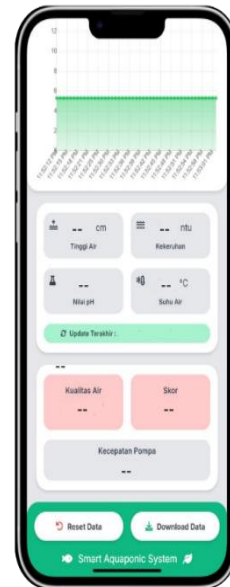
Gambar 8. Fungsi Keanggotaan Output PWM

Tabel 1. Rules Fuzzy Mamdani

No	Suhu	Ph	Kekeruhan	Level Air	Output Pompa	Status
1	Normal	Normal	Rendah	Cukup	Off	Schat
2	Normal	Normal	Sedang	Cukup	Sedang	Waspada
3	Normal	Normal	Tinggi	Cukup	Kuat	Krisis
4	Panas	Asam	Sedang	Cukup	Sedang	Waspada
5	Dingin	Normal	Tinggi	Cukup	Kuat	Krisis
6	Normal	Basa	Sedang	Rendah	Kuat	Krisis
7	Normal	Normal	Sedang	Tinggi	Sedang	Waspada
8	Panas	Normal	Rendah	Cukup	Sedang	Waspada

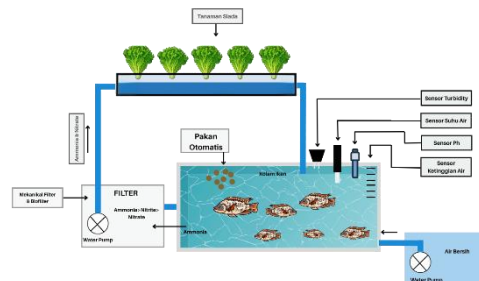
Aturan fuzzy IF–THEN berdasarkan kondisi suhu, pH, kekeruhan, dan level air.

Tahap berikutnya adalah desain antarmuka dashboard IoT. Dashboard dirancang untuk menampilkan grafik suhu, pH, kekeruhan, dan level air, serta status pompa. Sistem juga dilengkapi fitur notifikasi Telegram untuk memberikan peringatan ketika parameter berada di luar ambang batas normal.



Gambar 9. Desain Tampilan Sistem Akuaponik Pada Smart Phone

Tahap terakhir adalah penyusunan prototipe sistem akuaponik secara fisik. Prototipe terdiri atas kolam ikan, talang hidroponik, pompa air, dan jalur sirkulasi. Semua sensor dipasang pada posisi yang memungkinkan pengukuran yang akurat serta terhubung langsung ke mikrokontroler.



Gambar 10. Prototype Sistem Akuaponik

Setelah seluruh komponen sistem dirancang dan diintegrasikan, baik pada sisi perangkat keras maupun perangkat lunak, prototipe akuaponik kemudian siap untuk dilakukan proses pengujian. Seluruh

sensor yang telah dipasang diverifikasi kembali untuk memastikan bahwa pembacaan data berlangsung stabil dan konsisten. Sistem IoT serta mekanisme pengiriman data diuji untuk memastikan konektivitas dan pembaruan informasi secara real-time berjalan tanpa jeda. Selain itu, implementasi logika *fuzzy Mamdani* dievaluasi untuk memastikan bahwa output kontrol pompa yang dihasilkan sesuai dengan kondisi aktual kualitas air. Tahap implementasi dan verifikasi ini menjadi fondasi penting untuk menentukan efektivitas sistem secara keseluruhan dan menjadi dasar dilakukannya pengujian performa, yang hasilnya disajikan dalam bagian berikutnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil pengujian sistem monitoring dan kontrol akuaponik berbasis *Internet of Things* (IoT) yang telah dikembangkan, serta analisis performa sistem berdasarkan parameter kualitas air dan respons kontrol fuzzy. Hasil yang dipaparkan mencakup pengujian sensor, pengujian komunikasi data, pengujian implementasi fuzzy Mamdani, performa dashboard monitoring, serta evaluasi keseluruhan prototipe akuaponik.

Pengujian sensor dilakukan untuk memastikan akurasi dan stabilitas pembacaan data sebelum digunakan pada sistem. Setiap sensor diuji dengan cara membandingkan hasil pengukuran dengan alat ukur pembanding yang telah dikalibrasi. Berikut adalah rumus mencari rata-rata error yang akan digunakan dalam perhitungan rata-rata error pada sistem.

$$\text{Rata - rata Error (\%)} = \frac{\sum(\text{Error}\%)}{\text{Jumlah Data}}$$

**Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Suhu**

No	Tanggal	Alat Ukur (°C)	Suhu Sensor (°C)	Error (%)
1	04/11/25	26	26,8	3,08
2	11/11/25	27,6	28	1,45
3	18/11/25	29,8	30,3	1,68
4	25/11/25	30,8	31,4	1,95
<b>Rata - rata Error (%)</b>				2,04

Tabel di atas merupakan hasil dari perbandingan antara nilai sensor DS18B20 dan termometer digital.

**Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor pH**

No	Tanggal	Alat Ukur pH	Nilai Sesor	Error (%)
1	04/11/25	6,8	6,9	1,47
2	11/11/25	7,7	7,5	-2,6
3	18/11/25	6,8	6,8	0
4	25/11/25	5,5	5,6	1,82
<b>Rata - rata Error (%)</b>				0,17

Tabel di atas merupakan hasil dari perbandingan antara nilai sensor pembacaan Ph meter digital dan Nilai sensor Ph pada pada sistem.

**Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor Turbidity**

No	Tanggal	Alat Pembanding NTU	Nilai Sesor NTU	Error (%)
1	04/11/25	445	440	-1,12
2	11/11/25	350	359	2,57
3	18/11/25	342	346	1,17
4	25/11/25	521	538	3,26
<b>Rata - rata Error (%)</b>				1,47

**Tabel 5. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik**

No	Tanggal	Alat Pembanding (CM)	Nilai Sesor (CM)	Error (%)
1	04/11/25	10	9,6	4
2	11/11/25	16,4	17	3,66
3	18/11/25	23	23,8	3,48
4	25/11/25	18	17,8	-1,11
<b>Rata - rata Error (%)</b>				0,51

Pembacaan seluruh sensor menunjukkan nilai error yang rendah dan stabil. Hal ini menandakan bahwa sensor layak digunakan dalam monitoring kualitas air secara real-time dalam sistem akuaponik.

Hasil Implementasi Logika Fuzzy Mamdani Tahap ini menguji kesesuaian output fuzzy terhadap variasi input parameter kualitas air yang diberikan, baik melalui simulasi MATLAB maupun implementasi langsung pada ESP32-S3.

**Tabel 6. Perbandingan Output Fuzzy MATLAB dan ESP32-S3**

No	Tanggal	Suhu (°C)	Ph	Kekeruhan(NTU)	Level Air (CM)	ResponFuzzy	ResponMatlab	Error %
1	04/11/25	26,8	6,9	440	9,6	173	170	1,76%
2	11/11/25	28	7,5	359	17	150	150	0,00%
3	18/11/25	30,3	6,8	346	23,8	189,7	190	-
4	25-11 2025	31,4	5,6	538	17,8	209,5	210	-
<b>Rata-rata error</b>								0,34

Hasil menunjukkan bahwa implementasi fuzzy pada ESP32-S3 memiliki akurasi tinggi dengan tingkat error yang sangat kecil, menandakan bahwa sistem kontrol bekerja secara konsisten dan responsif sesuai perubahan kualitas air.

### Pengujian Dashboard IoT

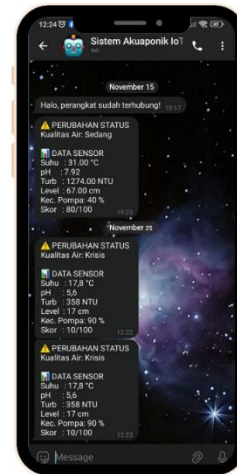
Dashboard diuji untuk memastikan semua data dapat dikirimkan, disimpan, dan ditampilkan secara real-time.



**Gambar 11. Tampilan Dashboard Monitoring Suhu, pH, Kekeruhan, dan Level Air**



**Gambar 12. Alat Monitoring dan Kontrol Akuaponik berbasis IoT**



**Gambar 13. Notifikasi Telegram**

Dashboard terbukti mampu menampilkan data secara aktual, grafik terupdate, dan mengirimkan notifikasi otomatis ketika kondisi air berada di luar batas aman. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi kondisi air seperti peningkatan suhu, penurunan pH, peningkatan kekeruhan, dan penurunan ketinggian air. Sistem kontrol fuzzy merespons perubahan kondisi air dengan memberikan nilai PWM yang proporsional. Hal ini menunjukkan bahwa logika fuzzy memberikan kontrol yang lebih halus dibandingkan metode kontrol ON-OFF.

Parameter kualitas air berada dalam batas optimal dan pompa bekerja otomatis sesuai keputusan fuzzy. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring dan kontrol akuaponik berbasis *Internet of Things (IoT)* yang dikembangkan mampu bekerja secara optimal dalam memantau kondisi kualitas air serta mengendalikan pompa sirkulasi secara otomatis. Keberhasilan ini tidak terlepas dari integrasi antara perangkat keras, perangkat lunak, sensor, komunikasi data, dan algoritma *logika fuzzy Mamdani* yang saling mendukung untuk menghasilkan sistem yang responsif, akurat, dan efisien.

Pengujian sensor menjadi bagian penting untuk memastikan kualitas data yang diterima oleh sistem. Seluruh sensor (DS18B20, pH, turbidity, dan ultrasonik) menunjukkan nilai error yang rendah, dengan rata-rata di bawah ambang toleransi akurasi perangkat IoT sejenis. Error yang

kecil mengindikasikan bahwa data yang diterima oleh mikrokontroler dapat dipercaya sebagai dasar pengambilan keputusan. Hal ini sangat penting dalam sistem akuaponik, karena parameter kualitas air dapat berubah dengan cepat dan memerlukan respons yang tepat waktu agar tidak mengganggu ekosistem ikan dan tanaman.

Dari sisi pengiriman data, penggunaan protokol HTTP POST pada ESP32-S3 berjalan stabil tanpa keterlambatan signifikan. Hal ini terlihat dari dashboard yang mampu menampilkan data secara *real-time*. Proses *refresh* data yang cepat memungkinkan pengguna memantau perubahan kualitas air setiap beberapa detik. Konsistensi ini merupakan indikator bahwa jaringan IoT yang dibangun mampu bekerja pada kondisi sebenarnya dan dapat diandalkan untuk pemantauan jarak jauh. Fitur notifikasi Telegram juga memperkuat keunggulan sistem karena dapat memberikan peringatan dini secara otomatis, sehingga risiko kerusakan ekosistem dapat diminimalkan.

Implementasi *logika fuzzy Mamdani* pada sistem kontrol pompa menunjukkan kinerja yang sangat baik. Hasil perbandingan antara output fuzzy MATLAB dan ESP32-S3 menunjukkan perbedaan nilai yang sangat kecil. Artinya, proses inferensi yang dilakukan mikrokontroler sudah mampu meniru akurasi perhitungan fuzzy pada lingkungan simulasi. Hal ini membuktikan bahwa algoritma fuzzy dapat diterapkan secara efektif pada perangkat *embedded system* dengan keterbatasan sumber daya. Penggunaan fuzzy juga memberikan keunggulan dibandingkan kontrol ON-OFF konvensional, karena fuzzy dapat menghasilkan keputusan yang lebih halus dan proporsional terhadap perubahan input, sehingga pompa tidak bekerja secara mendadak yang dapat menyebabkan keausan perangkat.

Selain itu, pengujian prototipe akuaponik menunjukkan bahwa sistem

mampu menjaga parameter air dalam batas optimal. Ketika suhu air naik, pH berubah, atau kekeruhan meningkat, pompa merespons dengan nilai PWM yang sesuai. Pengaturan pompa yang responsif menjadi faktor penting dalam mempertahankan sirkulasi air dan oksigen. Hal ini membuktikan bahwa sistem kontrol berbasis fuzzy dapat meningkatkan stabilitas dan keberlanjutan akuaponik. Sistem fisik prototipe juga bekerja stabil selama periode pengujian, menunjukkan kesesuaian antara rancangan perangkat keras dan perangkat lunak.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa integrasi IoT, sensor kualitas air, dashboard monitoring, dan kontrol fuzzy mampu menciptakan sistem akuaponik yang tidak hanya efisien tetapi juga adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Jika dikembangkan lebih lanjut, sistem ini dapat digunakan pada skala yang lebih besar atau dilengkapi dengan modul kontrol tambahan seperti heater, aerator, atau dosing pump untuk sistem penyeimbang pH dan nutrisi. Dengan demikian, hasil penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan teknologi *smart farming* yang relevan diterapkan di era digital untuk mendukung ketahanan pangan yang berkelanjutan.

## SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem monitoring dan kontrol akuaponik berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan mikrokontroler ESP32-S3, sensor kualitas air, dashboard berbasis web, serta algoritma *logika fuzzy Mamdani* sebagai pengendali pompa. Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa simpulan penting sebagai berikut.

Pertama, seluruh sensor yang digunakan meliputi: suhu DS18B20, sensor pH, turbidity sensor, dan ultrasonic sensor mampu memberikan pembacaan yang akurat dan stabil. Nilai error yang diperoleh berada dalam batas toleransi standar,

sehingga data yang diterima sistem dapat diandalkan untuk proses analisis dan pengendalian kualitas air akuaponik. Hal ini menunjukkan bahwa sensor mampu bekerja secara konsisten dalam kondisi operasional nyata.

Kedua, sistem komunikasi data berbasis IoT menggunakan metode HTTP POST menunjukkan performa yang sangat baik. Data dari seluruh sensor dapat dikirimkan secara *real-time* ke server dan ditampilkan melalui dashboard monitoring tanpa jeda yang berarti. Dashboard yang dirancang mampu menampilkan tren perubahan suhu, pH, kekeruhan, dan level air, serta memberikan notifikasi otomatis melalui Telegram ketika parameter air berada di luar ambang batas aman. Hal ini menegaskan bahwa sistem mampu menyediakan pemantauan jarak jauh yang efektif dan efisien.

Ketiga, penerapan *logika fuzzy Mamdani* dalam pengendalian pompa terbukti memberikan respons yang lebih halus dan adaptif dibandingkan kontrol konvensional. Output fuzzy yang dihasilkan ESP32-S3 hampir identik dengan hasil perhitungan MATLAB, dengan selisih error yang sangat kecil. Hal ini menunjukkan bahwa implementasi fuzzy pada perangkat *embedded* berjalan dengan baik dan mampu menghasilkan keputusan kontrol yang sesuai terhadap perubahan kualitas air secara dinamis.

Keempat, prototipe sistem akuaponik yang dikembangkan mampu mempertahankan kondisi lingkungan air tetap stabil. Ketika terjadi perubahan nilai suhu, pH, kekeruhan, dan level air, sistem secara otomatis mengaktifkan pompa dengan nilai PWM yang proporsional. Dengan mekanisme ini, ekosistem ikan dan tanaman dapat dipertahankan dalam kondisi yang optimal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini tidak hanya bekerja stabil secara teknis, tetapi juga efektif dalam menjaga kualitas air pada kolam akuaponik.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa integrasi IoT dan

logika fuzzy dapat diterapkan secara efektif dalam sistem akuaponik untuk meningkatkan akurasi monitoring dan efisiensi kontrol air. Sistem ini dapat dijadikan dasar pengembangan teknologi *smart farming* yang lebih canggih, serta dapat diperluas pada skala yang lebih besar atau disesuaikan dengan kebutuhan agrikultur modern. Dengan hasil ini, penelitian memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem otomatisasi pertanian berbasis teknologi digital yang mendukung peningkatan produktivitas dan keberlanjutan lingkungan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aziezah, N., Sholihah, W., Novianty, I., Romadhona, M., & Mardiyono, A. (2023). Sipekernik: Sistem pemantau kekeruhan air dan pengairan pada akuaponik menggunakan sensor turbidity, LDR dan water level. *JTIM: Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia*, 4(4), 261–271. <https://doi.org/10.35746/jtim.v4i4.324>
- Amrullah, A. (2022). Perbandingan tingkat akurasi pengukuran ketinggian air. *Jurnal Infomedia Teknik Informatika Multimedia Jaringan*, 7(1), 1–5.
- Baganz, G. F. M., et al. (2022). The aquaponic principle—It is all about coupling. *Reviews in Aquaculture*, 14(1), 252–264. <https://doi.org/10.1111/raq.12596>
- Chuzaini, F., & Dzulkifli. (2022). IoT monitoring kualitas air dengan menggunakan sensor suhu, pH, dan total dissolved solids (TDS). *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 11(3), 46–56.
- Cifuentes-Torres, L., Correa-Reyes, G., & Mendoza-Espinosa, L. G. (2021). Can reclaimed water be used for sustainable food production in aquaponics? *Frontiers in Plant Science*, 12,

669984. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.669984>
- Danih, D., & Sugiyatno, S. (2021). Sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) untuk pengendalian kualitas air dan pakan ikan pada budidaya sistem akuaponik. *Journal of Students' Research in Computer Science*, 2(1), 89–98. <https://doi.org/10.31599/jsrsc.v2i1.665>
- Fernanda, R., & Wellem, T. (2022). Perancangan dan implementasi sistem pemberi pakan. *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, 9(2), 1261–1274.
- Indra Gunawan, A., Afiful Maula, R., Harun Al Rasyid, M. U., & Rifa'i, A. (2022). Penerapan platform Fishtech alat monitoring dan kontrol otomatis berbasis IoT untuk budidaya udang di Lamongan. *Jurnal Applied Community Engagement*, 2(1), 8–20. <https://doi.org/10.52158/jace.v2i1.266>
- Ibrahim, L. A., Shaghaleh, H., El-Kassar, G. M., Abu-Hashim, M., Elsadek, E. A., & Alhaj Hamoud, Y. (2023). Aquaponics: A sustainable path to food sovereignty and enhanced water use efficiency. *Water*, 15(24). <https://doi.org/10.3390/w15244310>
- Ikhsan, R. N., & Syafitri, N. (2021). Pemanfaatan sensor suhu DS18B20 sebagai penstabil suhu air budidaya ikan hias. *Prosiding Seminar Nasional Energi, Telekomunikasi dan Otomasi*, 1(1), 18–26.
- Khairunsyah, H., Solikhun, S., Nasution, Z. M., Damanik, B. E., & Parlina, I. (2021). Prototype sistem kendali jarak jauh air conditioner berbasis Arduino dan WiFi. *Jurnal Penelitian Inovatif*, 1(2), 75–84. <https://doi.org/10.54082/jupin.13>
- Musa, P. (2024). *Internet of Things: Konsep*.
- Mulyani, A., Mulyanto, B., Barus, B., Panuju, D. R., Husnain, & Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. (2022). Analisis kapasitas produksi lahan sawah untuk ketahanan pangan nasional menjelang tahun 2045. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 16(1), 33–50. <https://doi.org/10.21082/jsdl.v16n1.2022.33-50>
- Nandika, R., & Amrina, E. (2021). Sistem hidroponik berbasis Internet of Things (IoT). *Sigma Teknika*, 4(1), 1–8.
- Putra, J. L., & Astutik, R. P. (2024). Rancang bangun alat monitoring dan kontrol tanaman mint (*Mentha spicata*) berbasis teknologi IoT. *Techno.Com*, 23(2), 387–399. <https://doi.org/10.62411/tc.v23i2.10393>
- Pratiwi Baharsyah, A., & Suriansyah, M. I. (2024). Sistem penunjang keputusan normalisasi pH dan TDS pada vertical garden tanaman kangkung menggunakan Fuzzy Logic Mamdani berbasis Internet of Things. *DIKE: Jurnal Ilmu Multidisiplin*, 2(1), 9–16. <https://doi.org/10.69688/dike.v2i1.63>
- Rawal, J. S., & RC, P. (2024). Integrating aquaculture and hydroponics: A review of aquaponics systems and their sustainability. *Engineering Heritage Journal*, 5(2), 53–61. <https://doi.org/10.26480/gwk.02.2024.53.61>
- Rozie, F., et al. (2021). Aquaponics system for catfish farms and hydroponic kale plants based on IoT and fuzzy inference system. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 8(1). <https://doi.org/10.25126/jtiik.202184025>
- Rizan, N., Balasundram, S. K., Shahbazi, A. B., & Balachandran, U. (2024). Internet-of-Things for smart agriculture: Current applications, future perspectives, and limitations. *Agricultural Sciences*, 15, 1446–

1475. <https://doi.org/10.4236/as.2024.1512080>
- Shobihah, H. N., Yustiati, A., & Andriani, Y. (2022). Produktivitas budidaya ikan dalam berbagai konstruksi sistem akuaponik (Review). *Akuatika Indonesia*, 7(1), 34. <https://doi.org/10.24198/jaki.v7i1.39441>
- State of Food Security and Nutrition in the World 2023. (2023). <https://doi.org/10.4060/cc3017en>
- “Sistem aquaponik.pdf.” (n.d.). (*Jika ini adalah file internal, tuliskan ulang sesuai judul resmi; beri tahu saya jika ingin diperbaiki.*)
- Swandi, A., Rahmadhanningsih, S., & Viridi, S. (2021). Menganalisis hubungan debit pompa listrik submersible DC 12 volt terhadap ketinggian penampungan air melalui pembelajaran berbasis proyek. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 9(2), 83. <https://doi.org/10.24252/jpf.v9i2.20710>
- The Food Security and Vulnerability Atlas Nasional Tahun 2023. (2023).