Agroteknika 9 (4): xx-xx (2026)

AGROTEKNIKA

ISSN: 2685-3450 (*Online*) www.agroteknika.id ISSN: 2685-3450 (*Print*)

Rancang Bangun *Smart* Akuaponik Berbasis *Internet of Things* (IoT) Untuk Otomasi Budidaya Ikan Lele (*Clarias Gariepinus)*

Design and Development of an *Internet of Things* (IoT)-Based *Smart* Aquaponics System for the Automated Cultivation of Catfish (Clarias gariepinus)

Sania Maylani [*,1], Hendra [1], Agus Nurkhomarudin [1]

[1] Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh, Lima Puluh Kota, Indonesia

[*]Penulis Korespondensi
Email: saniamaylani967@gmail.com

Abstrak. *Budidaya ikan lele dalam sistem akuaponik memerlukan pengelolaan kualitas air dan pemberian pakan yang tepat untuk menjaga kondisi pemeliharaan. Namun, proses monitoring dan pengendalian yang masih dilakukan secara manual dapat mengurangi efisiensi budidaya. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem Smart akuaponik berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32 untuk mengotomatisasi pemberian pakan dan melakukan monitoring serta pengendalian kualitas air pada budidaya ikan lele. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan model pengembangan ADDIE yang terdiri atas tahap Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation. Pada tahap implementasi dilakukan pengujian fungsional sistem serta pengujian akurasi sensor pH, sensor TDS, dan sensor ultrasonik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring kualitas air secara real-time, mengontrol proses pembuangan dan pengisian air secara otomatis menggunakan solenoid valve, serta memberikan pakan sesuai jadwal yang telah ditentukan. Sensor pH memperoleh akurasi sebesar 99,57% pada buffer pH 7,00 dan 99,75% pada buffer pH 4,00, sedangkan sensor TDS memiliki akurasi antara 96,97%–98,39%. Sistem pengontrolan solenoid valve mampu bekerja sesuai kondisi ketinggian air yang telah ditentukan. Sistem juga mampu mengirimkan notifikasi melalui Telegram ketika kualitas air berada di luar batas normal dan memberikan notifikasi ketika kondisi kembali normal. Data monitoring dapat diakses secara real-time melalui website. Berdasarkan hasil pengujian, sistem Smart akuaponik berbasis IoT yang dikembangkan berfungsi sesuai rancangan dalam mendukung otomatisasi pemberian pakan serta monitoring dan pengendalian kualitas air pada budidaya ikan lele.*

Kata kunci: *akuaponik, Internet of Things (IoT), ikan lele, pemantau kualitas Air, pemberi pakan otomatis.*

Abstract. *Catfish farming in an aquaponic system requires proper water quality management and feeding to maintain optimal rearing conditions. However, monitoring and control processes that are still carried out manually can reduce farming efficiency. This study aims to design and develop a smart aquaponics system based on the Internet of Things (IoT) using ESP32 to automate feeding and monitor and control water quality in catfish farming. The research method used was Research and Development (R&D) following the ADDIE development model, which consists of the Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation stages. During the implementation stage,*

Diterima: 6 Juni 2026; Disetujui: 14 Oktober 2026; Diterbitkan: ***TERBITAN AKAN DATANG***
https://doi.org/10.55043/agroteknika.v9i4.768
© 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Green Engineering Society dalam jurnal Agroteknika
Artikel ini adalah artikel open access di bawah lisensi CC BY-SA 4.0

functional testing of the system was conducted, along with accuracy testing of the pH sensor, TDS sensor, and ultrasonic sensor. The research results show that the system is capable of monitoring water quality in real time, automatically controlling the drainage and refilling processes using solenoid valves, and dispensing feed according to a predetermined schedule. The pH sensor achieved an accuracy of 99.57% in a pH 7.00 buffer and 99.75% in a pH 4.00 buffer, while the TDS sensor had an accuracy ranging from 96.97% to 98.39%. The solenoid valve control system was able to operate according to predetermined water level conditions. The system is also capable of sending notifications via Telegram when water quality falls outside normal limits and notifying users when conditions return to normal. Monitoring data can be accessed in real time via the website. Based on the test results, the IoT-based smart aquaponics system developed functions as designed in supporting the automation of feeding as well as the monitoring and control of water quality in catfish farming.

Keywords: *aquaponics, Internet of Things (IoT), catfish, Water Quality Monitoring, automatic feeder.*

1. Pendahuluan

Akuaponik merupakan sistem budidaya yang menggabungkan akuakultur dan hidroponik dalam satu ekosistem yang saling terintegrasi. Sistem ini memanfaatkan limbah dari budidaya ikan lele sebagai sumber nutrisi bagi tanaman, sehingga mampu menciptakan metode pertanian yang lebih hemat air dan ramah lingkungan (Shobihah *et al.,* 2022). Namun, pada penerapannya, sistem akuaponik memerlukan pemantauan kualitas air dan pemberian pakan ikan secara rutin agar pertumbuhan ikan dan tanaman tetap optimal. Pemantauan secara manual dinilai kurang efisien karena membutuhkan waktu, tenaga, dan ketelitian yang tinggi, terutama dalam pengontrolan parameter kualitas air seperti pH, TDS, jumlah pakan yang tersedia di dalam tangki pakan serta ketinggian air.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* memberikan peluang dalam pengembangan sistem akuaponik yang lebih otomatis dan efisien khususnya pada lahan terbatas dan skala rumah tangga (Putra *et al*., 2026). *Internet of Things* memungkinkan perangkat elektronik saling terhubung melalui jaringan internet sehingga proses monitoring dan pengendalian dapat dilakukan secara *real-time*. Penggunaan mikrokontroler ESP32 menjadi salah satu solusi yang banyak digunakan karena memiliki kemampuan konektivitas Wi-Fi, konsumsi daya rendah, dan kompatibel dengan berbagai sensor pendukung. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* mampu meningkatkan efisiensi pemeliharaan serta mempermudah proses pemantauan pada sistem budidaya (Purnaningsih *et al.,* 2020).

Pada penelitian ini dikembangkan sistem *Smart* akuaponik berbasis *Internet of Things* menggunakan ESP32 yang mampu melakukan monitoring kualitas air dan pemberian pakan ikan secara otomatis. Sistem dilengkapi dengan sensor pH untuk mengukur tingkat keasaman air, sensor TDS untuk mengetahui kadar zat terlarut dalam air (Umar *et al.,* 2024), sensor ultrasonik untuk

mendeteksi ketinggian air dan sisa pakan, serta motor servo dan solenoid valve sebagai aktuator otomatis (Wahyudi, 2025). Selain itu, sistem juga dilengkapi website monitoring dan notifikasi Telegram untuk mempermudah pengguna dalam memantau kondisi sistem secara *real-time* (Nurhidayah *et al.,* 2024).

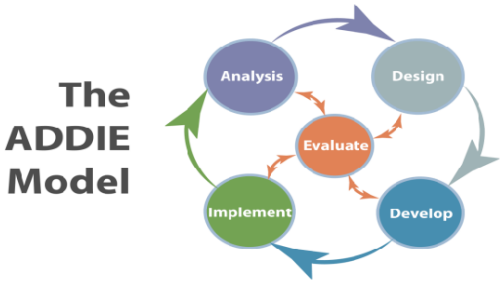
Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membangun sistem *Smart* akuaponik berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu melakukan monitoring kualitas air, pengontrolan ketinggian air, serta pemberian pakan ikan lele secara otomatis dan *real-time*. Sistem ini dikembangkan untuk membantu proses pemeliharaan ikan lele melalui pemantauan dan pengendalian kondisi air serta pemberian pakan secara otomatis sehingga proses budidaya dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini dilaksanakan dalam kurun waktu enam bulan, terhitung sejak Januari 2026 hingga Juni 2026, dan dilaksanakan di Laboratorium Instrumen dan Kelistrikan (ISK) Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh (PPNP).

2.1. Metode Penelitian

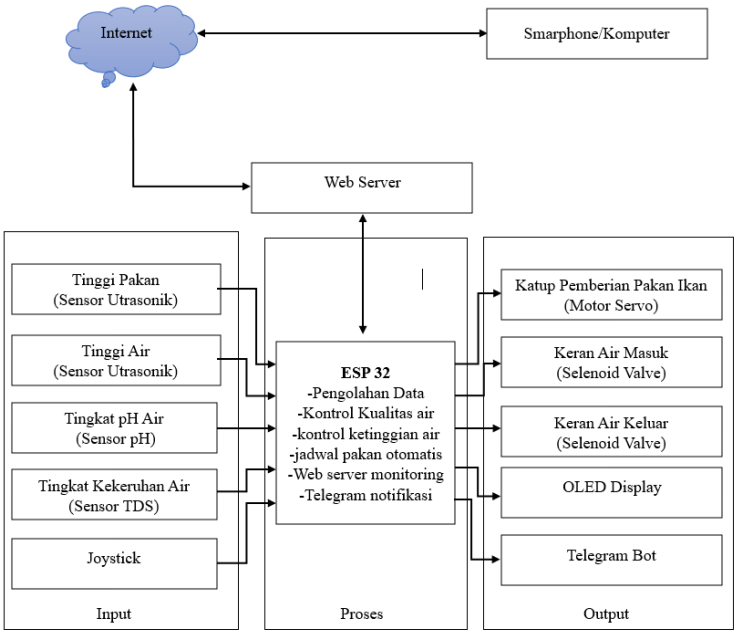
Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan ADDIE, yang terdiri atas lima tahap yaitu (Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation) (Adu *et al.,* 2022). Prosedur penelitian dilakukan secara sistematis sesuai tahapan tersebut untuk menghasilkan *Prototype Smart* Aquaponik berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terintegrasi dengan web server pada ESP32, Sehingga tahapan penelitian ini dapat dideskripsikan seperti pada Gambar 1.



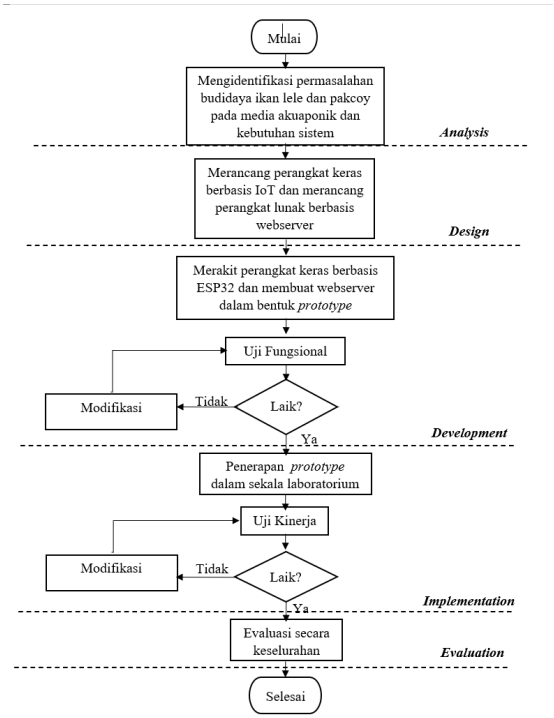
Gambar 1. Metode Penelitian R&D (Adu *et al*., 2022).

Teknik analisis data dalam penelitian ini disusun dengan menyesuaikan model pengembangan ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation*). Analisis data dilakukan secara deskriptif dan kuantitatif sesuai dengan karakteristik penelitian rancang bangun sistem *Smart* Akuaponik berbasis *Internet of Things* (IoT). Pada tahap *Analysis*, data dianalisis untuk mengidentifikasi kebutuhan sistem dan permasalahan budidaya berdasarkan hasil observasi dan studi literatur.

Tahap *Design* dilakukan dengan merancang perangkat keras *Smart* Akuaponik berbasis IoT yang mencakup perancangan arsitektur sistem, diagram blok, serta rancangan rangkaian komponen utama. Selain itu, dilakukan perancangan sistem pendukung berupa perangkat lunak berbasis *web server* yang berfungsi sebagai media pemantauan dan pengendalian sistem. Tahap *Design* bertujuan untuk menghasilkan rancangan sistem yang sesuai dengan kebutuhan dan siap dikembangkan pada tahap selanjutnya, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem.



Gambar 3. *Flowchart* tahapan penelitian berbasis ADDIE.

Pada tahap *Development*, analisis kuantitatif dilakukan terhadap data hasil pengujian *prototype*, seperti pembacaan sensor pH, TDS, sensor ultrasonik, serta jumlah pakan yang dikeluarkan dalam satuan gram per detik, menggunakan statistik deskriptif berupa nilai rata-rata, deviasi standar, tingkat kesalahan, dan akurasi. Tahap *Implementation* menganalisis kinerja sistem secara fungsional dalam kondisi operasional untuk menilai keberhasilan otomasi dan monitoring secara *real-time*. Selanjutnya, pada tahap *Evaluation*, seluruh hasil analisis diinterpretasikan untuk menilai kelayakan dan kinerja sistem secara keseluruhan sebagai dasar penyempurnaan dan penarikan kesimpulan penelitian pada Gambar 3.

2.2.Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan meliputi ESP32 DevKit V1 sebagai mikrokontroler utama, sensor pH PH-4502C untuk mengukur tingkat keasaman air, sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) untuk mengukur kadar zat terlarut dalam air, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi ketinggian air dan ketersediaan pakan (Anto *et al.,* 2024), motor servo sebagai aktuator pemberi pakan otomatis, relay dan solenoid valve sebagai pengontrol sirkulasi air, OLED SSD1306 sebagai media tampilan informasi, power supply sebagai sumber daya sistem, serta timbangan digital. Perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE untuk pemrograman ESP32, SolidWorks untuk perancangan desain alat, Cirkit Designer untuk perancangan wiring diagram, dan Microsoft Excel 2024 untuk pengolahan data hasil pengujian.

2.3.Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan dengan merancang *Prototype Smart* akuaponik berbasis *Internet of Things* (IoT) yang berfokus pada monitoring dan pengendalian kondisi pemeliharaan ikan lele serta pemberian pakan secara otomatis. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor pH, sensor TDS, sensor ultrasonik, motor servo, relay, OLED, dan solenoid valve. Sensor pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman air, sensor TDS digunakan untuk mengetahui kadar zat terlarut dalam air, sedangkan sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi ketinggian air dan ketersediaan pakan pada wadah pakan (Alam & Nasuha, 2020). Data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32 dan ditampilkan pada OLED serta website monitoring secara *real-time*. Sistem juga dilengkapi dengan mekanisme pengendalian pengisian dan pembuangan air menggunakan solenoid valve serta notifikasi Telegram untuk memberikan informasi kepada pengguna ketika kondisi kualitas air berada di luar batas yang ditentukan. Dengan demikian, perancangan sistem difokuskan pada otomatisasi pemberian pakan serta monitoring dan pengendalian kualitas air untuk mendukung pemeliharaan ikan lele dalam sistem akuaponik.

2.4.Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan dengan merakit seluruh komponen perangkat keras sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Setelah proses perakitan selesai, dilakukan pemrograman ESP32 menggunakan Arduino IDE untuk mengintegrasikan seluruh sensor dan aktuator ke dalam sistem *Smart* akuaponik (Alfia *et al.,* 2021). Sistem dirancang untuk mendukung pemeliharaan ikan lele melalui pemberian pakan secara otomatis berdasarkan jadwal yang telah ditentukan serta monitoring dan pengendalian kualitas air secara *real-time*. Website monitoring digunakan untuk menampilkan data hasil pembacaan sensor, sedangkan Telegram digunakan untuk mengirimkan notifikasi kepada pengguna ketika kondisi kualitas air berada di luar batas normal dan ketika kondisi kembali normal (Ihtisyamuddin *et al.,* 2023). Implementasi sistem difokuskan pada pengendalian kondisi air dan pemberian pakan sebagai bagian dari proses pemeliharaan ikan lele dalam sistem akuaponik.

2.5. Teknik Pengujian dan Analisis Data

Pengujian dilakukan terhadap sensor pH, sensor TDS, sensor ultrasonik, serta sistem pemberian pakan otomatis. Pengujian sensor pH dilakukan menggunakan larutan buffer pH 4,00 dan pH 7,00 untuk mengetahui tingkat akurasi sensor. Pengujian sensor TDS dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam membaca kadar zat terlarut dalam air. Sensor ultrasonik diuji untuk mengetahui kemampuan pembacaan jarak terhadap ketinggian air dan sisa pakan. Selain itu, dilakukan pengujian motor servo untuk mengetahui ketepatan sistem dalam memberikan pakan secara otomatis. Data hasil pengujian dianalisis menggunakan perhitungan persentase *error*, akurasi, dan nilai rata-rata *(mean*) untuk mengetahui performa sistem yang telah dikembangkan (Wulandari *et al.,* 2024).

Data hasil pengujian dianalisis menggunakan perhitungan persentase *error*, akurasi, dan nilai rata-rata (*mean*) untuk mengetahui performa sistem yang telah dikembangkan. Persentase kesalahan (*error*) dihitung menggunakan Persamaan (1) (Chuzaini & Dzulkifli, 2022).

$$error = \left(\frac{|Xsensor - Xrefrensi|}{Xrefrensi}\right) \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

error (%) = persentase kesalahan pengukuran sensor

X sensor = nilai pengukuran yang dihasilkan oleh sensor

X Referensi = nilai pengukuran dari alat referensi

|Xsensor-X Referensi| =nilai absolut selisih antara sensor dan alat referensi

Nilai akurasi sensor diperoleh dari Persamaan (2) (Chuzaini & Dzulkifli, 2022).

$$Akurasi\ (\%) = 100\% - Error\ (\%) \quad (2)$$

Keterangan:

Akurasi (%) = tingkat ketepatan hasil pembacaan sensor

error % = persentase kesalahan pengukuran sensor

Tingkat kesalahan berat pakan dihitung dengan membandingkan berat pakan aktual terhadap berat pakan target menggunakan Persamaan (3) (Umar *et al.*, 2024).

$$error\ pakan = \left(\frac{|B\ aktual - B\ target|}{B\ target}\right) \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

error Pakan % = persentase kesalahan berat pakan

B aktual = berat pakan yang dikeluarkan oleh sistem secara aktual (gram)

B target = berat pakan yang telah ditetapkan atau direncanakan (gram)

|B aktual – target| = nilai absolut selisih antara berat pakan aktual dan target

Nilai rata-rata dihitung menggunakan Persamaan (4).

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (4)$$

Keterangan:

$\bar{X}$ = nilai rata-rata (*mean*) dari data pengukuran

$\sum X$ = jumlah seluruh data hasil pengukuran

n = jumlah sampel data pengukuran

Rentang kategori kelayakan menurut Shalahuddin *and* Hayuhantika, (2022) ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rentang Kelayakan.

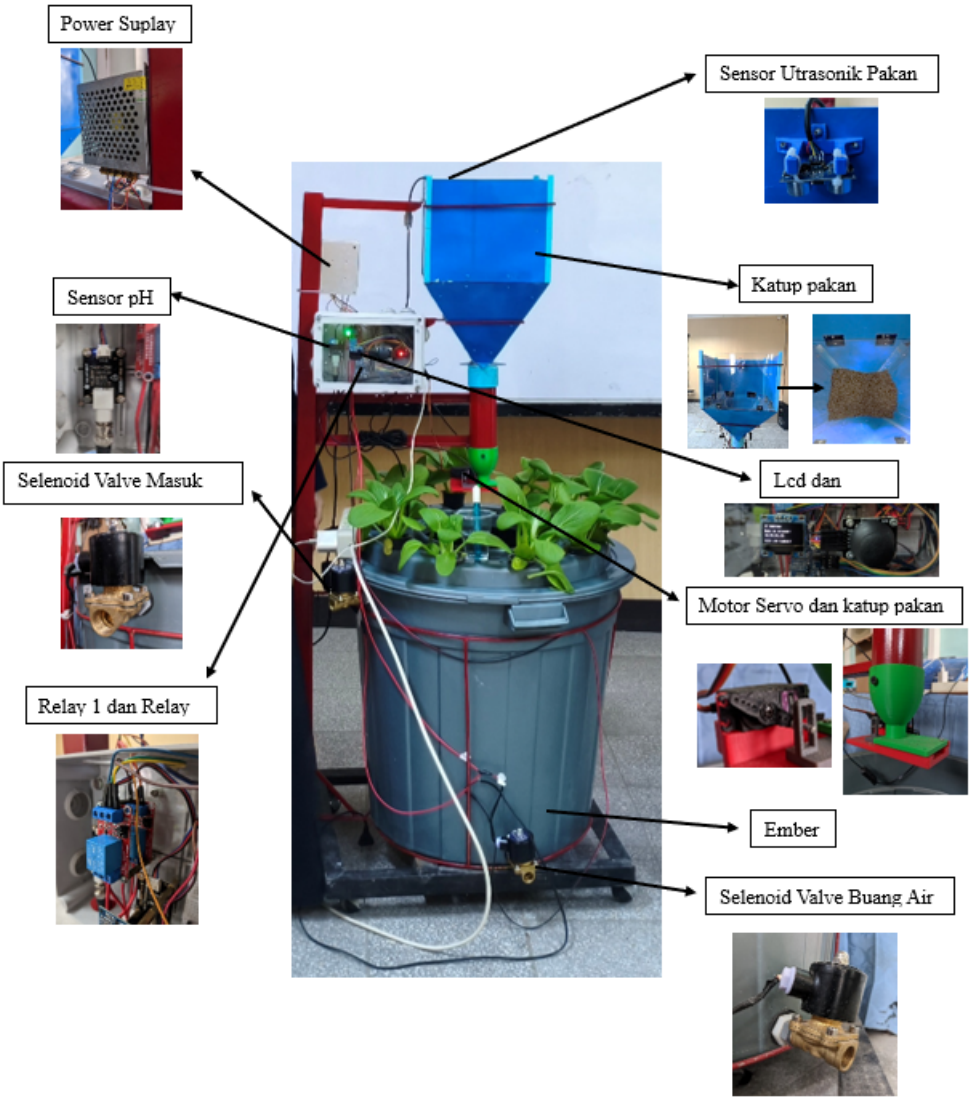
No	Kategori	Persentase
1.	Sangat layak	81%-100%
2.	Layak	61%-80%
3.	Cukup Layak	41%-60%
4.	Kurang Layak	21%-40%
5.	Sangat Kurang Layak	<20%

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menghasilkan rancangan dan implementasi sistem *Smart* akuaponik berbasis *Internet of Things* (IoT) yang difokuskan pada otomatisasi pemberian pakan ikan lele serta monitoring dan pengendalian kualitas air secara *real-time*. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan ESP32 dengan sensor pH, sensor TDS, sensor ultrasonik, motor servo, *relay*, solenoid valve, OLED, *website monitoring*, dan Telegram. Integrasi tersebut memungkinkan sistem melakukan pemantauan kondisi air, pengendalian proses pengisian dan pembuangan air, serta pemberian pakan ikan lele secara otomatis berdasarkan jadwal yang telah ditentukan (Indrawati *et al.*, 2024).

Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan beberapa sensor, yaitu sensor ultrasonik untuk mendeteksi ketinggian air dan ketersediaan pakan, sensor pH untuk mengukur tingkat keasaman air, serta sensor TDS untuk mengukur kadar zat terlarut dalam air. Data yang diperoleh dari masing-masing sensor digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan secara otomatis oleh sistem.

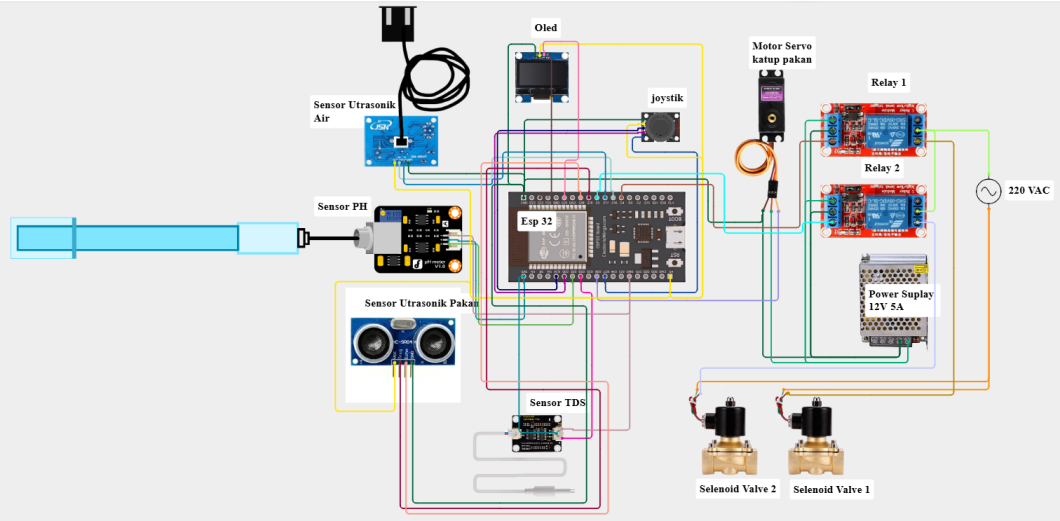
Pada implementasinya, motor servo digunakan sebagai aktuator untuk proses pemberian pakan otomatis, sedangkan modul relay digunakan untuk mengontrol proses pengurasan dan pengisian air berdasarkan kondisi kualitas dan ketinggian air yang terdeteksi (Mulyono, 2019). Sistem dirancang bekerja secara otomatis, *real-time*, dan terhubung ke jaringan internet sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan monitoring maupun pengendalian perangkat.



Gambar 4. Tampilan fisik alat.

Antarmuka sistem terdiri dari layar OLED yang digunakan untuk menampilkan informasi sensor secara langsung pada perangkat, web server berbasis Wi-Fi untuk monitoring dan pengaturan jadwal pakan dari jarak jauh, serta notifikasi Telegram sebagai media pemberitahuan

kondisi sistem secara *real-time*. Sistem bekerja berdasarkan konsep input–proses–output, di mana data dari sensor ultrasonik, sensor pH, dan sensor TDS diproses oleh ESP32 untuk menghasilkan keputusan otomatis dalam pengendalian pemberian pakan, pengurasan air, dan pengisian air sesuai kondisi yang telah ditentukan. Hasil pengolahan data ditampilkan melalui layar OLED dan web server sehingga pengguna dapat melakukan monitoring sistem secara langsung maupun jarak jauh. Selain itu, sistem juga mampu mengirimkan notifikasi melalui Telegram ketika kondisi kualitas air berada pada keadaan tidak normal maupun kembali normal. Detail implementasi sistem ditunjukkan pada Gambar 4 dan gambar rangkaian alat dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian alat.

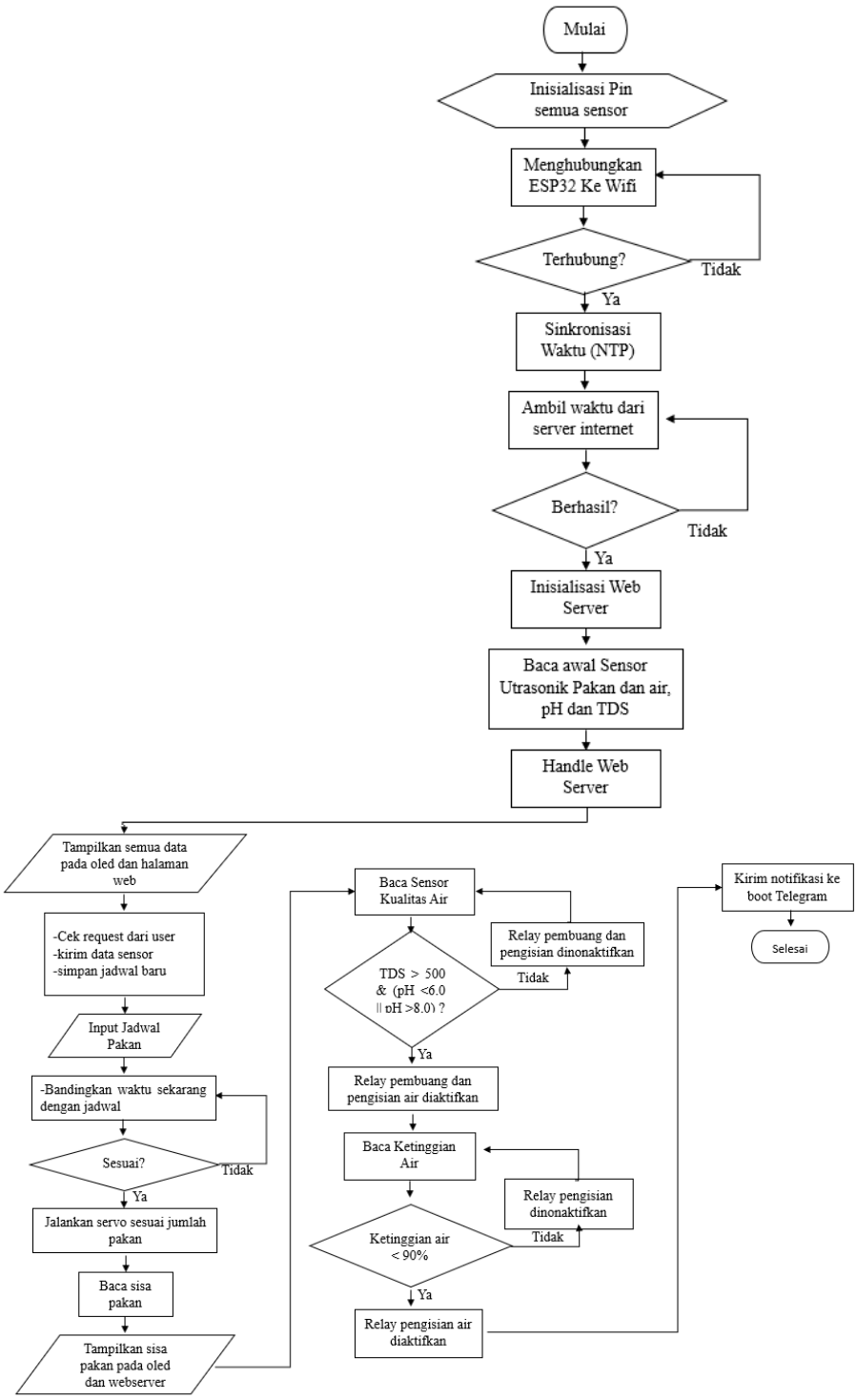
Alur operasional sistem secara keseluruhan divisualisasikan dalam *flowchart* pada Gambar 6. Sistem diawali dengan inisialisasi komponen dan pemuatan jadwal pakan, kemudian ESP32 melakukan koneksi Wi-Fi serta sinkronisasi waktu berbasis NTP. Pada proses utama (*loop*), ESP32 membaca dan mengolah data sensor ultrasonik, pH, dan TDS untuk mengendalikan servo dan *relay* sesuai kondisi sistem. Informasi ditampilkan melalui OLED dan *web server*, sedangkan pengaturan dilakukan menggunakan *joystick* dan *web server*. Sistem juga mengirimkan notifikasi Telegram secara *real-time*.

3.1.Implementasi Sistem *Smart* Akuaponik

Penelitian ini mampu menghasilkan sistem *Smart* Akuaponik berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terintegrasi untuk mendukung budidaya ikan lele dan tanaman pakcoy secara otomatis. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor pH, sensor *Total Dissolved Solids* (TDS), sensor ultrasonik, motor servo, relay, solenoid valve, OLED, web server, dan Bot Telegram.

Sensor pH dan TDS digunakan untuk memantau kualitas air secara *real-time*, sedangkan sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi ketinggian air dan kapasitas pakan. Data hasil

pembacaan sensor diproses oleh ESP32 untuk menentukan tindakan pengendalian yang diperlukan, seperti pemberian pakan, pengisian air, maupun pergantian air secara otomatis. Informasi sistem ditampilkan melalui OLED dan web server sehingga pengguna dapat melakukan monitoring secara langsung maupun jarak jauh.



Gambar 6. Flowchart Perangkat Lunak.

Implementasi sistem menunjukkan bahwa seluruh komponen dapat bekerja secara terintegrasi sesuai dengan fungsi yang dirancang. Sistem mampu melakukan monitoring kualitas

air, pengendalian level air, serta pemberian pakan secara otomatis berdasarkan parameter yang telah ditentukan.

3.2. Pengujian Sistem Pemberian Pakan

Pengujian sistem pemberian pakan dilakukan untuk mengetahui kemampuan motor servo dalam mengeluarkan pakan sesuai jumlah yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan target pemberian pakan sebesar 1 gram pada setiap percobaan. Hasil pengujian berat pakan yang dikeluarkan ditunjukkan pada Gambar 7 dan hasil pengujian pemberian pakan secara manual ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 7. Sampel Berat Pakan yang Dikeluarkan.

Tabel 2. Hasil Pengujian Pemberian Pakan Secara Manual.

No	Keterangan	Hasil (gram)
1.	Pengujian 1	1,024
2.	Pengujian 2	1,133
3.	Pengujian 3	1,051
4.	Pengujian 4	0,805
5.	Pengujian 5	0,972
6.	Pengujian 6	1,091
7.	Pengujian 7	1,237
8.	Pengujian 8	1,019
9.	Pengujian 9	1,029
10.	Pengujian 10	0,883
Jumlah		**10,244**
Rata-rata		**1.024**

Selain pengujian berat pakan, dilakukan pula pengujian pemberian pakan berdasarkan jadwal yang telah ditentukan pada sistem. Seluruh pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan pemberian pakan sesuai waktu yang telah ditetapkan. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa integrasi modul waktu dan motor servo pada ESP32 berjalan dengan baik sehingga proses pemberian pakan dapat dilakukan secara otomatis tanpa intervensi pengguna. Sampel ukuran pakan ditunjukkan pada Gambar 8. Karakteristik ukuran pakan disajikan pada Tabel 3, sedangkan hasil pengujian pemberian pakan berdasarkan jadwal disajikan pada Tabel 4.



Gambar 8. Sampel Ukuran Pakan.

Tabel 3. Karakteristik Ukuran Sampel Pakan.

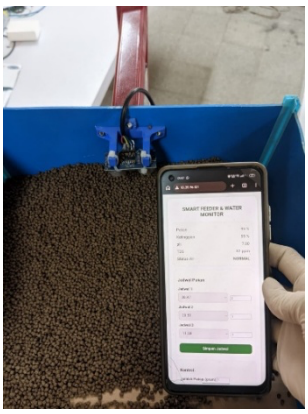
No.	Keterangan	Diameter Pakan (mm)
1.	Sampel 1	2,90
2.	Sampel 2	2,61
3.	Sampel 3	2,53
4.	Sampel 4	2,86
5.	Sampel 5	2,76
6.	Sampel 6	1,54
7.	Sampel 7	3,24
8.	Sampel 8	1,57
9.	Sampel 9	2,85
10.	Sampel 10	2,85
	Rata-rata	2,50

Tabel 4. Hasil Pengujian Pemberian Pakan Berdasarkan Jadwal.

No	Waktu	Status
1.	07.00	Sesuai Jadwal
2.	07.15	Sesuai Jadwal
3.	07.30	Sesuai Jadwal
4.	12.00	Sesuai Jadwal
5.	12.30	Sesuai Jadwal
6.	12.45	Sesuai Jadwal
7.	20.00	Sesuai Jadwal
8.	20.30	Sesuai Jadwal
9.	20.45	Sesuai Jadwal
10.	21.00	Sesuai Jadwal

3.3. Pengujian Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi kapasitas pakan dan ketinggian air pada sistem akuaponik. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap pengukuran aktual pada beberapa kondisi yang berbeda. Proses pengujian pembacaan sensor ultrasonik pakan ditunjukkan pada Gambar 9 dan Tabel 5.

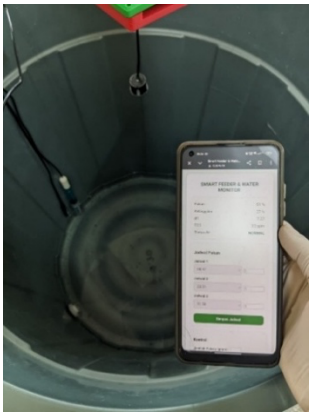


Gambar 9. Pengujian Pembacaan Sensor Ultrasonik Pakan.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik Pakan.

No.	Keterangan	Persentase pakan (%)	Jarak (cm)	Jarak Terbaca	*error*
1.	Kondisi Pengujian-1	32%	18,6	19	0,4
2.	Kondisi Pengujian-2	40%	17	17	0
3.	Kondisi Pengujian-3	42%	16,6	17	0,4
4.	Kondisi Pengujian-4	62%	12,6	13	0,4
5.	Kondisi Pengujian-5	74%	10,2	10	0,2
6.	Kondisi Pengujian-6	84%	8,2	8	0,2
7.	Kondisi Pengujian-7	89%	7,2	7	0,2
8.	Kondisi Pengujian-8	88%	7,4	7	0,4
9.	Kondisi Pengujian-9	93%	6	6	0
10.	Kondisi Pengujian-10	95%	6	6	0
	Total	699	109,8	110	2,2
	Rata-rata	69,9	10,98	11	0,22

Hasil pengujian sensor ultrasonik pakan menunjukkan rata-rata *error* sebesar 2,00% dengan tingkat akurasi mencapai 98,00%. Sensor mampu mendeteksi perubahan volume pakan dengan baik sehingga dapat digunakan untuk memberikan informasi ketersediaan pakan secara *real-time* (Shalahuddin & Hayuhantika, 2022). Pengujian Pembacaan Sensor Ultrasonik Air dan Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik Air dapat dilihat pada Gambar 10 dan Tabel 6.



Gambar 10. Pengujian Pembacaan Sensor Ultrasonik Air.

Pada pengujian sensor ultrasonik air diperoleh rata-rata *error* sebesar 0,78% dengan tingkat akurasi mencapai 99,22%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sensor mampu membaca perubahan ketinggian air secara stabil dan konsisten. Tingkat akurasi yang tinggi menunjukkan bahwa sensor

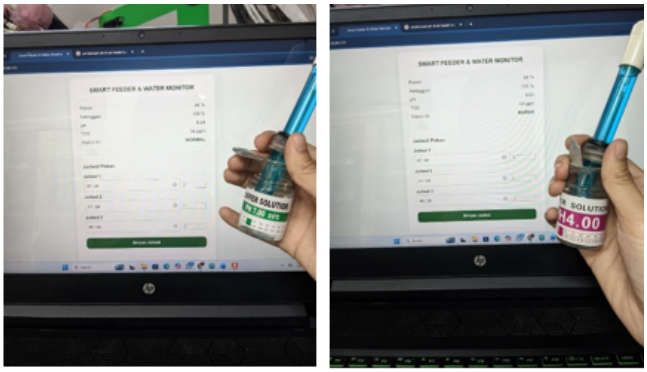
ultrasonik layak digunakan sebagai parameter utama dalam sistem monitoring dan kontrol ketinggian air pada *Smart* akuaponik (Shalahuddin & Hayuhantika, 2022).

Tabel 6. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik Air.

No	Keterangan	Persentase Air (%)	Jarak Asli (cm)	Jarak Terbaca	*Error*
1	Kondisi 1	99	20,4	20	0,4
2	Kondisi 2	75	30	30	0
3	Kondisi 3	89	24,4	24	0,4
4	Kondisi 4	62	35,2	35	0,2
5	Kondisi 5	37	45,2	45	0,2
6	Kondisi 6	33	46,8	47	0,2
7	Kondisi 7	34	46,4	46	0,4
8	Kondisi 8	90	24	24	0
9	Kondisi 9	66	33,6	34	0,4
10	Kondisi 10	86	25,6	26	0,4
	Total	671	331,6	331	2,6
	Rata-rata	67,1	33,16	33,1	0,26

3.4. Kalibrasi dan Validasi Sensor pH

Kalibrasi sensor pH dilakukan menggunakan larutan buffer standar pH 7,00 dan pH 4,00. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali untuk masing-masing larutan guna mengetahui tingkat akurasi dan kestabilan sensor. Hasil pengujian kalibrasi sensor pH ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Pengujian hasil kalibrasi sensor pH.

Berdasarkan proses pengujian kalibrasi sensor pH yang telah dilakukan pada larutan buffer standar pH 7,00 dan pH 4,00, diperoleh data hasil pembacaan sensor pada setiap percobaan. Data hasil kalibrasi sensor pH beserta nilai selisih pembacaan terhadap nilai referensi ditunjukkan pada Tabel 7.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata pembacaan sensor pada larutan buffer pH 7,00 sebesar 7,03 dengan tingkat *error* sebesar 0,43% dan akurasi sebesar 99,57%. Sementara itu, pada larutan buffer pH 4,00 diperoleh rata-rata pembacaan sebesar 4,01 dengan tingkat *error* sebesar 0,25% dan akurasi sebesar 99,75%. Hasil tersebut tidak jauh berbeda dari hasil penelitian Nurhidayah *et al.* (2024) yang memperoleh akurasi sebesar 99,93%. Meskipun terdapat sedikit perbedaan nilai akurasi, sensor pH pada penelitian ini masih mampu memberikan pembacaan yang

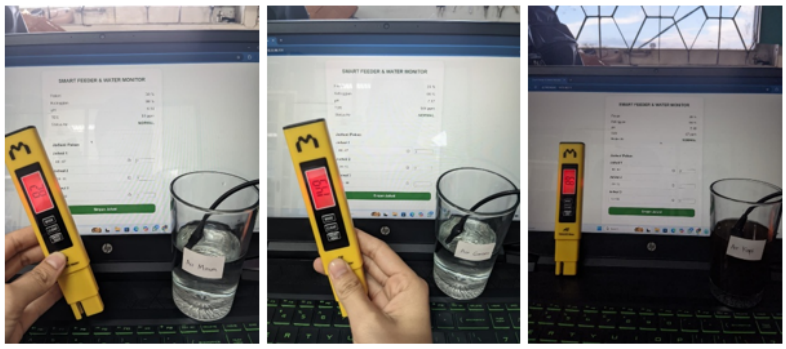
stabil sehingga layak digunakan untuk monitoring kualitas air secara *real-time* pada sistem akuaponik berbasis *Internet of Things* (IoT).

Tabel 7. Hasil Kalibrasi Sensor pH.

No	pH Sensor (Buffer 7.00)	Selisih	pH Sensor (Buffer 4.00)	Selisih
1.	7,05	+0,05	4,05	+0,05
2.	7,06	+0,06	4,01	+0,01
3.	7,01	+0,01	4,00	0,00
4.	7,06	+0,06	3,98	-0,02
5.	6,94	-0,06	4,00	0,00
6.	7,03	+0,03	3,99	-0,01
7.	7,02	+0,02	4,00	0,00
8.	7,07	+0,07	4,02	+0,02
9.	7,03	+0,03	4,01	+0,01
10.	7,03	+0,03	4,06	+0,06
Rata-Rata	**7,03**	**+0,03**	**4,01**	**+0,01**

3.5. Kalibrasi dan Validasi Sensor TDS

Pengujian sensor TDS dilakukan menggunakan tiga jenis sampel air yang berbeda, yaitu air minum, air garam, dan air kopi. Hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan alat ukur referensi untuk mengetahui tingkat akurasi pengukuran. Proses pengujian kalibrasi sensor TDS ditunjukkan pada Gambar 12 dan Tabel 8.



Gambar 12. Pengujian hasil kalibrasi sensor TDS.

Tabel 8. Hasil Pengujian Sensor TDS.

No	Air Minum (TDS Meter 82= PPM)	Air Garam (TDS Meter 149 PPM)	Air Kopi (TDS Meter 89 PPM)
1.	81	141	85
2.	81	140	85
3.	77	147	86
4.	80	145	87
5.	80	144	88
6.	79	144	88
7.	79	153	87
8.	82	152	87
9.	82	148	84
10	80	152	86
Rata-rata	**80,1**	**146,6**	**86,3**

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor TDS memiliki tingkat akurasi sebesar 97,68% pada sampel air minum, 98,39% pada sampel air garam, dan 96,97% pada sampel air kopi. Nilai *error* yang diperoleh masing-masing sebesar 2,32%, 1,61%, dan 3,03%. Hasil tersebut dibandingkan dengan penelitian Ihtisyamuddin *et al.* (2023) yang memperoleh tingkat akurasi di atas 99%. Meskipun akurasi pada penelitian sebelumnya lebih tinggi, sensor TDS pada penelitian ini masih mampu memberikan pembacaan yang cukup baik dan stabil sehingga layak digunakan untuk monitoring kualitas air secara *real-time* pada sistem *Smart* akuaponik berbasis *Internet of Things* (IoT).

3.6. Pengujian Kontrol Otomatis Solenoid Valve

Pengujian kontrol otomatis dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengendalikan proses pergantian dan pengisian air berdasarkan parameter kualitas air dan ketinggian air yang terdeteksi. Hasil pengujian kontrol solenoid valve terhadap pH dan TDS ditunjukkan pada Tabel 9 dan terhadap ketinggian air pada Tabel 10.

Tabel 9. Pengujian Kontrol Solenoid Valve.

Pengujian	pH Air	TDS (PPM)	Status
1.	7,13	33	Tidak terjadi pergantian air
2.	8,21	90	Tidak terjadi pergantian air
3.	6,86	460	Tidak terjadi pergantian air
4.	6,78	137	Tidak terjadi pergantian air
5.	6,76	427	Tidak terjadi pergantian air
6.	6,71	516	Terjadi Pergantian Air
7.	6,76	519	Terjadi Pergantian Air
8.	6,82	764	Terjadi Pergantian Air
9.	7,09	983	Terjadi Pergantian Air
10.	7,06	677	Terjadi Pergantian Air

Berdasarkan hasil pengujian, sistem tidak melakukan pergantian air ketika nilai pH dan TDS masih berada dalam batas normal. Sebaliknya, ketika nilai TDS melebihi batas 500 ppm, sistem secara otomatis mengaktifkan solenoid valve untuk melakukan proses pergantian air. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem kontrol kualitas air telah bekerja sesuai logika yang dirancang.

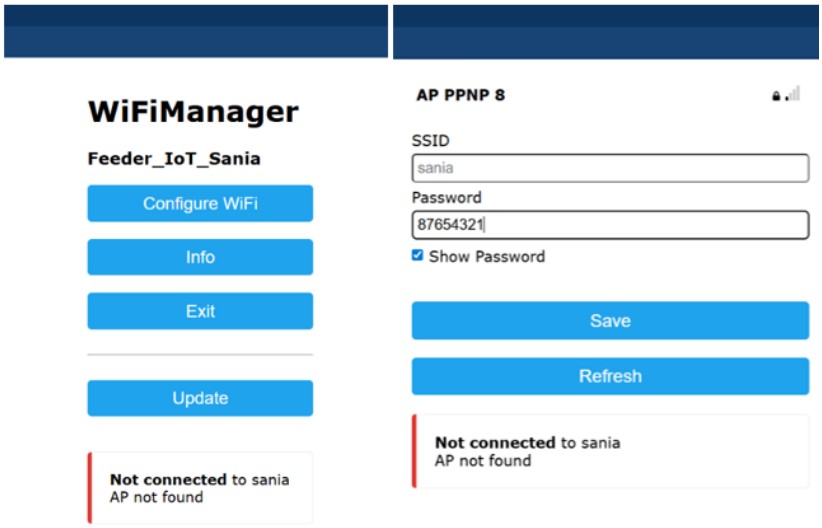
Tabel 10. Hasil Pembacaan Sensor Ultrasonik.

Pengujian	Ultrasonik Air	Status
1.	99	Tidak terjadi Pengisian Air
2.	91	Tidak terjadi Pengisian Air
3.	92	Tidak terjadi Pengisian Air
4.	95	Tidak terjadi Pengisian Air
5.	90	Tidak terjadi Pengisian Air
6.	87	Terjadi Pengisian Air
7.	80	Terjadi Pengisian Air
8.	60	Terjadi Pengisian Air
9.	30	Terjadi Pengisian Air
10.	57	Terjadi Pengisian Air

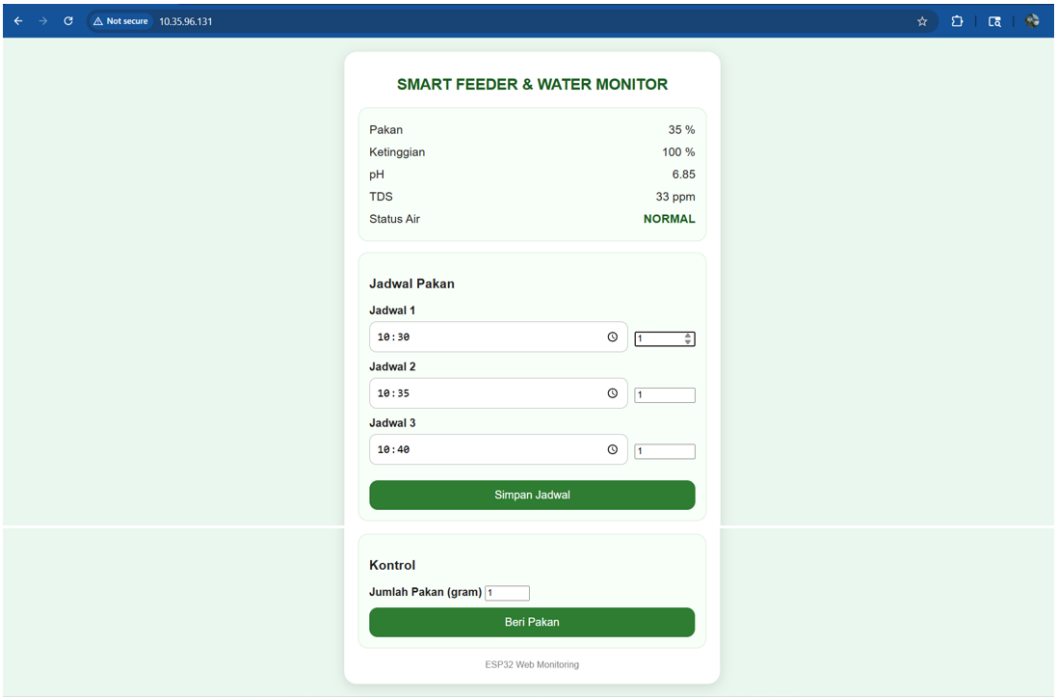
Pengujian kontrol ketinggian air juga menunjukkan bahwa sistem mampu mengaktifkan solenoid valve secara otomatis ketika ketinggian air berada di bawah 90%. Ketika level air telah mencapai batas yang ditentukan, proses pengisian air akan dihentikan secara otomatis. Mekanisme ini memungkinkan sistem menjaga ketersediaan air secara mandiri tanpa memerlukan pengawasan terus-menerus.

3.7. Implementasi Monitoring Berbasis IoT

Implementasi teknologi IoT pada penelitian ini dilakukan melalui integrasi Wi-Fi Manager, web server, dan Bot Telegram. Wi-Fi Manager digunakan untuk mempermudah proses konfigurasi jaringan sehingga pengguna tidak perlu melakukan pemrograman ulang ketika terjadi perubahan jaringan Wi-Fi. Pengujian koneksi jaringan melalui web server dapat dilihat pada Gambar 13.



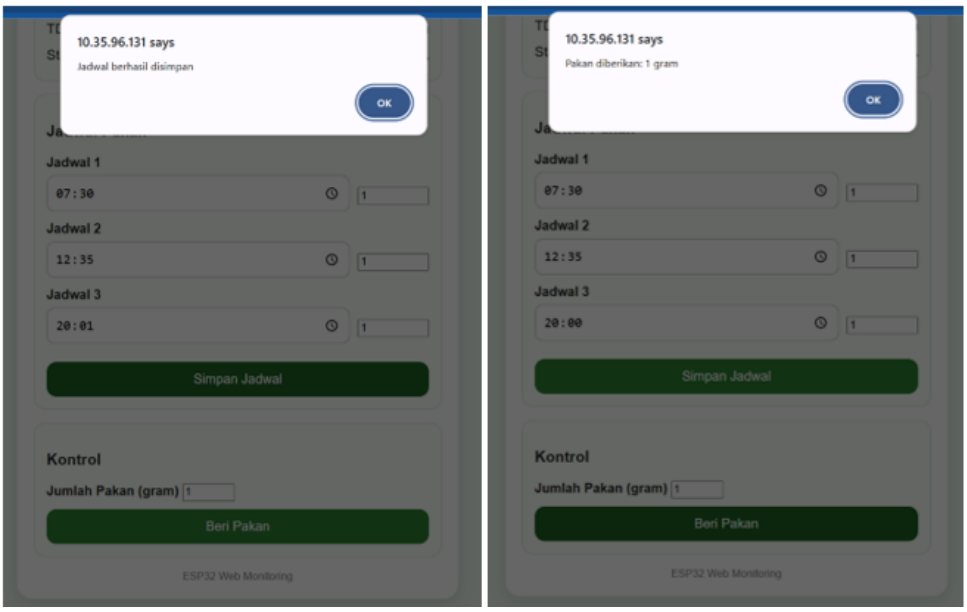
Gambar 13. Pengujian koneksi jaringan melalui web server.



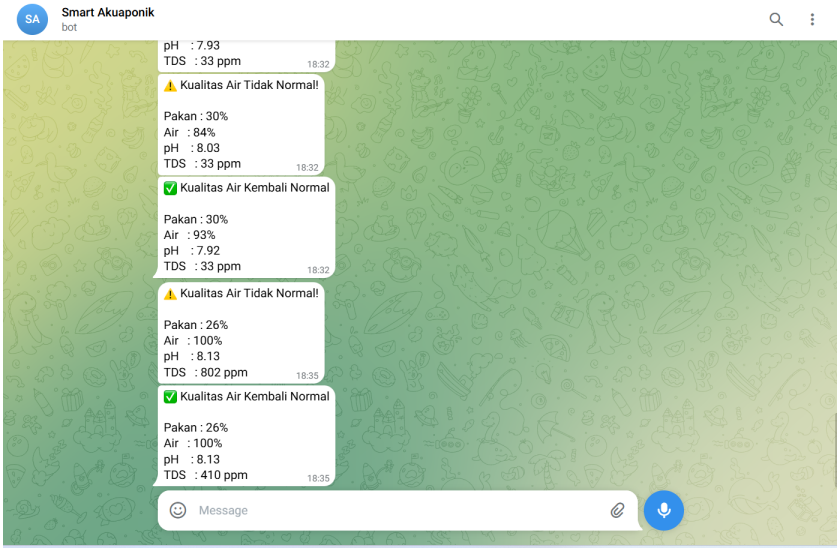
Gambar 14. Tampilan mobile web server.

Web server mampu menampilkan informasi monitoring berupa nilai pH, TDS, ketinggian air, dan kapasitas pakan secara *real-time*. Selain itu, pengguna dapat melakukan pengaturan jadwal pakan serta pemberian pakan secara manual melalui antarmuka web yang dapat diakses menggunakan smartphone maupun komputer. Tampilan *mobile* web server dapat dilihat pada Gambar 14.

Berdasarkan hasil implementasi, halaman web mampu menampilkan beberapa parameter monitoring, yaitu persentase pakan, ketinggian air, nilai pH, nilai TDS, serta status kualitas air. Selain fitur monitoring, halaman web juga dilengkapi dengan fitur pengaturan jadwal pakan sebanyak tiga kali dalam sehari dan fitur kontrol pemberian pakan manual berdasarkan jumlah gram yang *diinput* pengguna. Pengujian web server dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Pengujian web server.



Gambar 16. Pengujian Telegram.

Integrasi Bot Telegram juga mampu memberikan notifikasi otomatis ketika kondisi kualitas air berada di luar batas normal maupun ketika kondisi air kembali normal. Informasi yang dikirim meliputi nilai pH, TDS, ketinggian air, dan kapasitas pakan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis IoT yang dikembangkan mampu mendukung proses pemantauan dan pengendalian sistem secara jarak jauh dengan baik. Hasil pengujian notifikasi Telegram ditunjukkan pada Gambar 16.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem *Smart* Akuaponik berbasis *Internet of Things* (IoT) mampu menjalankan seluruh fungsi monitoring dan kontrol secara otomatis. Tingkat akurasi sensor yang tinggi serta implementasi web server dan Telegram menunjukkan bahwa sistem layak digunakan sebagai solusi otomasi budidaya ikan lele dan tanaman pakcoy pada sistem akuaponik.

Pada penelitian ini, sistem *smart* akuaponik berbasis *Internet of Things* (IoT) mampu mengintegrasikan monitoring pH, TDS, ketinggian air, kapasitas pakan, pemberian pakan otomatis berbasis jadwal, kontrol solenoid valve untuk pengisian dan pergantian air, web server, serta notifikasi Telegram dalam satu sistem yang terintegrasi. Sistem juga menggunakan ESP32 dan Wi-Fi Manager sehingga mampu mendukung monitoring dan pengendalian secara *real-time* dengan konfigurasi jaringan yang lebih fleksibel dan mudah digunakan.

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya oleh Alfia *et al.* (2021), penelitian ini tidak hanya berfokus pada monitoring kualitas air, tetapi juga menambahkan fitur otomasi pemberian pakan dan kontrol air otomatis. Penelitian Indrawati *et al.* (2024), Setiawan *et al.* (2024), dan Wahyudi (2025) lebih berfokus pada sistem pemberian pakan otomatis dan monitoring kualitas air, sedangkan pada penelitian ini seluruh fitur monitoring dan kontrol diintegrasikan langsung dalam sistem *smart* akuaponik yang mendukung budidaya ikan lele dan tanaman pakcoy secara bersamaan.

Selain itu, dibandingkan penelitian Umar *et al.* (2024), Nurhidayah *et al.* (2024), Ihtisyamuddin *et al.* (2023), dan Dhananjaya (2024), penelitian ini memiliki integrasi sistem monitoring, otomasi pakan, kontrol kualitas air, monitoring kapasitas pakan, serta kontrol ketinggian air yang lebih lengkap dalam satu *prototype*. Penelitian ini juga lebih efisien dalam penggunaan lahan karena menerapkan konsep akuaponik terpadu antara budidaya ikan lele dan tanaman pakcoy.

Sementara itu, penelitian Purnaningsih *et al.* (2020) masih memiliki keterbatasan pada pengelolaan kualitas air dan pemberian pakan yang dilakukan secara manual. Penelitian Rachana *and* Jinu (2025) memang telah menerapkan otomasi kualitas air, namun penelitian ini memiliki tambahan fitur monitoring kapasitas pakan, kontrol pengisian air otomatis, web server lokal, dan

notifikasi Telegram secara *real-tim*e. Dengan demikian, penelitian yang dikembangkan memiliki fitur monitoring dan otomasi yang lebih lengkap, terintegrasi, serta lebih adaptif untuk mendukung budidaya ikan lele dan tanaman pakcoy berbasis *Internet of Things* (IoT).

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem *Smart* Akuaponik berbasis *Internet of Things* (IoT) yang difokuskan pada budidaya ikan lele secara *real-time*. Sistem yang dikembangkan mampu menjalankan fungsi pemberian pakan secara otomatis, monitoring kualitas air, serta pengendalian pergantian dan pengisian air berdasarkan parameter yang telah ditentukan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor pH, sensor TDS, sensor ultrasonik, serta mekanisme pemberian pakan memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam mendukung kinerja sistem. Selain itu, integrasi web server, Bot Telegram, dan Wi-Fi Manager memungkinkan proses monitoring dan pengendalian dilakukan secara jarak jauh melalui jaringan internet.

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, sistem yang dikembangkan memperoleh tingkat keberhasilan pada kategori sangat layak sesuai rentang kelayakan yang digunakan. Dengan demikian, sistem *Smart* Akuaponik berbasis IoT ini berpotensi menjadi solusi untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan budidaya ikan lele dan tanaman pakcoy melalui penerapan teknologi otomasi dan monitoring berbasis internet.

Singkatan yang Digunakan

IoT	*Internet of Things*
TDS	*Total Dissolved Solids*
OLED	*Organic Light Emitting Diode*
PWM	*Pulse Width Modulation*
NTP	*Network Time Protocol*
Wi-Fi	*Wireless Fidelity*
ADC	*Analog to Digital Converter*
I2C	*Inter-Integrated Circuit*
SSID	*Service Set Identifier*

Pernyataan Ketersediaan Data

Data akan tersedia berdasarkan permintaan.

Kontribusi Para Penulis

Sania Maylani: konseptualisasi, pengumpulan data, implementasi sistem, penulisan draf awal. **Hendra**: metodologi, supervisi, validasi, *review* dan *editing*. **Agus Nurkhomarudin**: metodologi, validasi, *review* dan *editing.*

Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis menyatakan bahwa mereka tidak memiliki kepentingan finansial yang bersaing atau hubungan pribadi yang dapat mempengaruhi penelitian dalam naskah ini.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kepala Laboratorium Instrumen dan Kelistrikan (ISK) Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh atas bantuan, arahan, dukungan, serta fasilitas yang telah diberikan selama proses penelitian, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

Adu, J. P., Nenohai, J. M. H., & Rimo, R. H. E. (2022). Pengembangan Media Pembelajaran Matematika Berbasis Android Menggunakan Smart Apps Creator pada Materi Pola Bilangan. *Jurnal Matematika Dan Pendidikan Matematika*, *3*(1), 75–87. https://doi.org/10.35508/fractal.v3i1.7076

Alam, R. L., & Nasuha, A. (2020). Sistem Pengendali pH Air dan Pemantauan Lingkungan Tanaman Hidroponik menggunakan Fuzzy Logic berbasis IoT. *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, *5*(1), 11–20. https://doi.org/10.21831/elinvo.v5i1.34587

Alfia, R., Widodo, A., Nurhayati., & Kholis, N. (2021). Sistem Monitoring Kualitas Air pada Sistem Akuaponik Berbasis IoT. *Jurnal Teknik Elektro, 10*(3). https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/view/42748

Chuzaini, F., & Dzulkifli, D. (2022). IoT Monitoring Kualitas Air Dengan Menggunakan Sensor Suhu, Ph, Dan Total Dissolved Solids (TDS). *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI), 11*(3). https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/inovasi-fisika-indonesia/article/view/48240

Dhananjaya, D. A. (2024). Smart Budikdamber Sistem Budidaya Ikan Terintegrasi Berbasis IoT Blynk Dengan Pemantauan dan Pengendalian Real-Time. *The Indonesian Journal of Computer Science*, *13*(5). https://doi.org/10.33022/ijcs.v13i5.4344

Anto, D. R., Sukoco, D. & Munadhif, I. (2024). Implementasi Kontrol Motor Pada Prototype Filtrasi Alami Menggunakan Sensor Flow Dan Ultrasonic. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, *11*(3), 658–667. https://doi.org/10.33795/elkolind.v11i3.6159

Ihtisyamuddin, L., Mashoedah, M. & Zakaria, M. (2023). Pengembangan Sistem Monitoring Kualitas Air Dan Pemberi Pakan Otomatis Pada Kolam Budidaya Ikan Lele Berbasis Internet Of Thingsdi Mbs (Muhammadiyah Boarding School) Yogyakarta. *Journal of Electronics and Education (JEED), 1*(2). https://journal.uny.ac.id/publications/jeed/article/view/112

Indrawati, E. M., Suprianto, B., & Kartika, U. T. (2024). Pemberi Pakan Ikan Otomatis berbasis IoT dengan FLC Berdasarkan Kualitas Air (Suhu, PH, Kekeruhan). *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, *13*(3), 383–394. https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v13i3.85982

Mulyono, M. A. (2019). Simulasi Alat Penjaring Ikan Otomatis Dengan Penggerak Motor Servo Continuous, Sensor Jarak Hc-Sr04 Dan Tombol, Menggunakan Arduino Mega. *Jurnal Ilmiah Ekonomi dan Bisnis, 12*(1). https://journal.stekom.ac.id/index.php/Bisnis/article/view/82

Nurhidayah, T., Ulfah, M., & Jamal, N. (2024). Sistem Monitoring Kualitas Air Dan Pakan Otomatis Budidaya Ikan Lele Berbasis Internet Of Things. *Jurnal Fokus Elektroda*, *9*(2), 91–98. https://doi.org/10.33772/jfe.v9i2.174

Purnaningsih, N., Ihsan, T., Tryantono, B., Almer, R., & Masruri, G. A. (2020). Diseminasi Budidaya Ikan Dalam Ember Sebagai Solusi Kegiatan Budidaya di Lahan Sempit. *Jurnal Pusat Inovasi Masyarat Desember,* 2.

https://www.academia.edu/88949821/Diseminasi_Budidaya_Ikan_Dalam_Ember_Sebagai_Solusi_Kegiatan_Budidaya_di_Lahan_Sempit

Putra, S., Novita, R., Jamaluddin, & Khomarudin. (2026). Perancangan Mobile Apps Monitoring Dan Penyiraman Tanaman Terong Pada Mandiri Farm Simalanggang. *Jurnal Technologica*, *5*(1). https://journals.gesociety.org/index.php/technologica/article/view/389

Setiawan, A., Hendriana, A., Ramdan, R., Siknun, A. Z., Rayhan, R., Latifah, N. S..., & Aganindra, R. K. (2024). Alat Pemberian Pakan Ikan Otomatis Dan Monitoring Kualitas Air Berbasis Iot. *Jurnal Informatika Dan Komputer*, *8*(1), 215. https://doi.org/10.26798/jiko.v8i1.1261

Shalahuddin, M. H., & Hayuhantika, D. (2022). Pengembangan E-LKPD Berbasis Kontekstual dengan Media Liveworksheets Pada Materi Lingkaran Di Kelas VIII. *Jurnal Tadris Matematika*, *5*(1), 71–86. https://doi.org/10.21274/jtm.2022.5.1.71-86

Shobihah, H. N., Yustiati, A., & Andriani, Y. (2022). Produktivitas Budidaya Ikan dalam Berbagai Konstruksi Sistem Akuaponik (Review). *Jurnal Akuatika Indonesia*, *7*(1). https://doi.org/10.24198/jaki.v7i1.39441

Umar, U., Farouq, A. A., Widyantara, H., & Putra, A. R. K. (2024). Rancang Bangun Sistem Kontrol Dan Monitoring Ph, Suhu Air Dan Tds Pada Sistem Akuaponik Berbasis Internet Of Things (IoT). *Jurnal Teknologi Terapan)*, *10*(1). https://www.researchgate.net/publication/392726012_RANCANG_BANGUN_SISTEM_KONTROL_DAN_MONITORING_PH_SUHU_AIR_DAN_TDS_PADA_SISTEM_AKUAPONIK_BERBASIS_INTERNET_OF_THINGS_IOT

Rachana, V. V, & Jinu, A. (2025). IoT-Enabled Automated Aquaponics System for Optimized Water Quality Monitoring and Control. *International Journal of Environment and Climate Change*, *15*(10), 200–222. https://doi.org/10.9734/ijecc/2025/v15i105055

Wahyudi, D. T. (2025). Rancang Bangun Pemberian Pakan Ikan Otomasi Dan Pemantauan Kualitas Air Pada Akuarium Berbasis Internet of Things (IoT). Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan, *13*(3S1). https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3S1.7547

Wulandari, S. A., Sucipto, A., Rosyady, A. F., Ardana, M. D. R., Cahyono, O. D. P., & Khomarudin, A. N. (2024). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Untuk Mendeteksi Keadaan Tidak Normal atau Penyakit Pada Tambak Ikan Mujaer Menggunakan Fuzzy Logic Mamdani Berbasis Mobile. *Technologica*, *3*(1), 42–54. https://doi.org/10.55043/technologica.v3i1.153