



Implementation of an Internet of Things-Based Smart Aquaponics Using Water Level and BH1750 Light Sensors with Web-Based Environmental Monitoring

Implementasi Internet of Things pada Smart Aquaponics Menggunakan Sensor Level Air dan Sensor BH1750 untuk Monitoring Parameter Lingkungan Berbasis Web Dashboard

Fera Darmayanti¹, S. Samsugi^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer,
Universitas Teknokrat Indonesia, Indonesia

E-Mail: ¹fera_darmayanti@teknokrat.ac.id, ²s.samsugi@teknokrat.ac.id

Received Feb 13th 2026; Revised Mar 03rd 2026; Accepted Mar 20th 2026; Available Online Mar 26th 2026

Corresponding Author: S. Samsugi

Copyright ©2026 by Authors, Published by Institut Riset dan Publikasi Indonesia (IRPI)

Abstract

The aquaponics system is a cultivation method that combines aquaculture and agriculture in a single ecosystem and requires optimal, accurate monitoring of environmental parameters. The problem in this system is the lack of direct monitoring of water volume and light intensity, which affects fish growth and health. Therefore, this study aims to design and implement an Internet of Things-based smart aquaponics system that can monitor water levels and light intensity through a web dashboard. This system uses an HC-SR04 ultrasonic sensor as a water-level gauge and a BH1750 light sensor as a light-intensity detector. Based on the test results, the ultrasonic sensor has an error rate of 0.70%, an MAE of 0.54, and a standard deviation of 0.21, while the BH1750 light sensor has an error rate of 0.35%, an MAE of 0.35 Lux, and a standard deviation of 0.12 Lux. The average measured light is 216.1 lux, which is bright enough for monitoring purposes. Based on the test results, the system accurately, stably, and in real time monitors aquaponic environmental parameters, supporting the management of aquaponic systems, serving as an IoT-based aquaponic environmental monitoring solution, and providing a basis for further system development.

Keywords: Aquaponics, BH1750 Light Sensor, Internet of Things, Monitoring, Ultrasonic Sensor

Abstrak

Sistem aquaponik merupakan metode budidaya yang menggabungkan perikanan dan pertanian dalam satu ekosistem, sehingga memerlukan monitoring parameter lingkungan secara optimal dan akurat. Permasalahan dalam sistem ini adalah kurangnya pemantauan kondisi volume air dan intensitas cahaya secara langsung, yang menimbulkan dampak pada pertumbuhan dan kesehatan ikan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem *smart aquaponics* berbasis *Internet of Things* yang dapat memonitor level air dan intensitas cahaya melalui *dashboard web*. Sistem ini memanfaatkan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pengukur level air dan sensor cahaya BH1750 sebagai pendeteksi intensitas cahaya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik memiliki error rate 0,70%, nilai MAE 0,54, dan standar deviasi 0,21, sedangkan sensor cahaya BH1750 memiliki error rate 0,35%, nilai MAE 0,35 lux, dan standar deviasi 0,12 lux. Rata-rata cahaya yang terukur sebesar 216,1 lux dengan kategori cukup terang untuk keperluan monitoring. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, sistem mampu melakukan monitoring parameter lingkungan aquaponik secara akurat, stabil, dan real-time sehingga dapat mendukung pengelolaan sistem aquaponik serta menjadi solusi monitoring lingkungan aquaponik berbasis IoT dan menjadi dasar pengembangan sistem lebih lanjut.

Kata Kunci: Aquaponics, Internet of Things, Monitoring, Sensor Cahaya BH1750, Sensor Ultrasonik

1. PENDAHULUAN

Aquaponik merupakan media bercocok tanam terpadu yang menggabungkan pemeliharaan ikan dan penanaman sayur dalam satu ekosistem [1] yang memanfaatkan lahan sempit. Sistem ini dimulai dari

kotoran ikan yang diubah menjadi pupuk untuk tanaman, dan tanaman membersihkan air sebelum dikembalikan ke kolam [2], sehingga nutrisi untuk ikan dan tanaman tetap stabil. Namun, dalam pengembangannya masih menggunakan sensor Idr yang memiliki keakuratan serta sensitif terhadap kondisi lingkungan [3]. Sistem ini mendukung penggunaan lahan dan air, sehingga cocok untuk diterapkan di wilayah perkotaan yang terbatas akan lahan [4]. Agar sistem ini berhasil, faktor lingkungan seperti mutu air, tinggi air, dan intensitas cahaya sangatlah penting [5], [6], [7]. Akan tetapi, banyak petani yang masih memakai cara manual dalam pengawasan, yang memakan banyak waktu dan tenaga, serta rawan kesalahan yang dapat memengaruhi keseimbangan sistem [8]. Kondisi tersebut menekankan perlunya pengembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) sebagai solusi yang tepat untuk monitoring sistem *smart aquaponics* [9], [10] secara tepat dan akurat, serta mendukung ketahanan pangan jangka pendek. *Internet of Things* memungkinkan berbagai perangkat dan sensor saling terkoneksi melalui jaringan internet sehingga proses monitoring dapat dilakukan secara *real-time* dari jarak jauh. Penerapan *IoT* dalam sistem *agrikultur dan aquaponics* dapat membuktikan peningkatan ketepatan pemantauan lingkungan serta membantu pengambilan keputusan yang cepat dan akurat [11], [12].

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa inovasi IoT pada *smart Aquaponic* dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan serta ketepatan dalam memonitor faktor lingkungan. [13] memanfaatkan beberapa sensor diantaranya sensor *turbidity* dan sensor *water level*, namun sistem yang dikembangkan belum terintegrasi dengan mekanisme pengisian air otomatis dan masih mengandalkan peringatan manual [14]. Sementara sensor cahaya *Light Dependent Resistor* (LDR) sebagai pondasi dalam perancangan dan pengujian sistem otomasi aquaponik [2], [3] yang mempengaruhi fotosintesis tanaman. Meskipun memiliki keterbatasan akurasi dengan tingkat kesalahan mencapai 10%-30% sebelum kalibrasi [15], sehingga berpotensi tanaman tidak berfotosintesis dengan baik. Penelitian [16] Menggunakan NodeMCU ESP8266 dengan aplikasi Bylnk, sebagai media monitoring lingkungan aquaponics. Namun, sistem tersebut memiliki keterbatasan akurasi sensor dan fleksibilitas sistem. Ketergantungan pada kestabilan koneksi internet, serta fleksibilitas *interface* pengguna yang rendah [17], [18].

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, masih terdapat beberapa keterbatasan dalam pengembangan sistem aquaponik berbasis *IoT*, terutama pada akurasi sensor dalam pemantauan parameter lingkungan dan juga keterbatasan dalam mengintegrasikan beberapa parameter penting dalam kesatuan sistem monitoring terpadu. Selain itu, penggunaan sensor dengan tingkat akurasi rendah dan ketergantungan pada pihak aplikasi ketiga juga dapat mengurangi keandalan pemantauan serta adaptabilitas pengelolaan data sistem. Oleh karena itu, dibutuhkan tingkat pengembangan sistem monitoring aquaponik yang dapat meningkatkan akurasi pengukuran, memantau parameter lingkungan secara terintegrasi, serta menyediakan sistem monitoring yang lebih akurat dan *real-time*.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini mengembangkan sebuah sistem pemantauan yang didasarkan pada IoT untuk memonitor intensitas cahaya, tingkat air, dan kualitas air. Sistem ini menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pengukur ketinggian air pada kolam, yang diletakkan dalam *black box*, yang diintegrasikan ke dalam satuan liter, dengan batas pengukuran 80 L. Hal ini mencegah perubahan volume air yang dapat memengaruhi oksigen dalam air. Pada parameter intensitas cahaya menggunakan sensor cahaya BH1750 dengan tingkat akurasi 99,86% [19] lebih presisi jika dibandingkan dengan sensor LDR. Sensor cahaya BH1750 memiliki akurasi dan ketepatan tingkat tinggi, sehingga proses fotosintesis akan tetap optimal dan stabil. Kemudian parameter kualitas air sebagai penunjang tambahan sistem menggunakan sensor pH untuk menjaga tingkat keasaman air dan sensor TDS sebagai pengatur integrasi zat terlarut air yang dapat berpengaruh ke tanaman dan kesehatan ikan [19], [20]. Semua data akan diolah oleh mikrokontroler ESP32, yang dikirim secara otomatis ke *cloud* melalui koneksi WiFi. Setelah pengolahan dan penyimpanan data selesai, sistem akan menghidupkan pompa air untuk mengintegrasikan air ke tanaman dan memulai monitoring kondisi lingkungan secara *real-time* melalui antarmuka *web dashboard*.

Pemanfaatan sistem monitoring berbasis sensor kini menjadi solusi yang semakin relevan dalam pengelolaan lingkungan [21]. Namun, sistem monitoring aquaponik yang dapat memantau parameter intensitas cahaya dan level air secara terintegrasi dan menampilkan data secara *real-time* masih perlu pengembangan lebih lanjut guna meningkatkan ketepatan pengelolaan pembudidayaan. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk penyediaan sistem monitoring yang lebih akurat dan terintegrasi berbasis IoT. Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem monitoring kondisi lingkungan yang terfokus pada fotosintesis cahaya dan level air. Kedua hal tersebut merupakan parameter penting yang memengaruhi proses fotosintesis dan suplai nutrisi bagi tanaman. Data yang terus dikumpulkan dan dianalisis memungkinkan evaluasi jangka panjang terhadap kondisi lingkungan, sehingga perencanaan dan pengelolaan sumber daya dapat dilakukan secara lebih efisien, ramah lingkungan, dan bertanggung jawab.

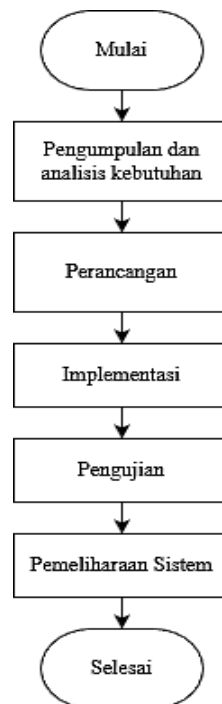
2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode pengembangan sistem dengan model *waterfall* yang terdiri dari lima tahapan utama : pengumpulan analisis kebutuhan, desain sistem, pengujian dan pemeliharaan [8]. Setiap

tahapan dilakukan secara berurutan dan terorganisir, di mana tahapan menjadi acuan bagi tahapan berikutnya. Metode ini digunakan untuk menciptakan sistem aquaponik yang berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dapat beroperasi dengan tepat guna mendukung proses budidaya ikan dan tanaman [8]. Yang terfokus pada pemantauan dan pengelolaan parameter lingkungan secara terintegrasi.

2.1. Tahapan Penelitian

Gambar 1 adalah gambar ilustrasi dari tahapan metodologi yang digunakan.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

2.1.1 Pengumpulan dan Analisis Kebutuhan

Tahapan awal dalam penelitian ini adalah melakukan pengumpulan dan analisis kebutuhan dengan tujuan untuk memperoleh pemahaman menyeluruh mengenai sistem aquaponik yang akan dikembangkan [8]. Pada tahap ini, peneliti melakukan analisis kebutuhan melalui wawancara dengan mitra selaku calon pengguna sistem aquaponik, guna mengetahui kebutuhan, permasalahan, serta harapan terhadap sistem yang akan dibangun. Hasil wawancara ini menjadi dasar dalam perancangan dan pembuatan alat aquaponik agar sesuai dengan kebutuhan pengguna.

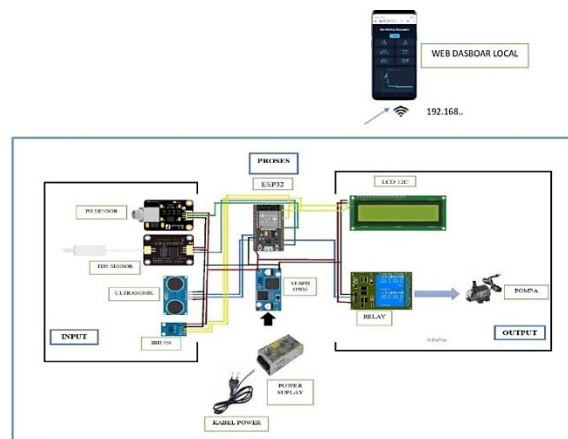
2.1.2 Perancangan

Setelah kebutuhan sistem teridentifikasi, tahapan perancangan dilakukan sebagai landasan untuk pelaksanaan implementasi sistem. Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan gambaran menyeluruh mengenai bentuk, alur kerja, serta hubungan antar komponen dalam sistem [8]. Perancangan sistem terdiri dari tiga poin utama, yaitu:

1. Wiring Diagram

Wiring diagram digunakan untuk menggambarkan hubungan antar komponen elektronik dalam sistem aquaponik, seperti mikrokontroler, sensor, aktuator, dan sumber daya.

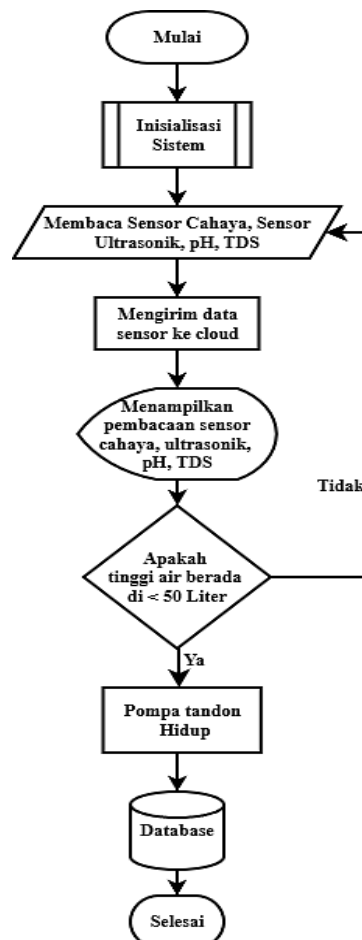
Berdasarkan Gambar 2, peneliti merancang desain wiring sebagai acuan dalam proses perakitan perangkat keras. Sistem ini dirancang dengan ESP32 sebagai pusat kendali utama yang menghubungkan seluruh komponen input dan output. Komponen input meliputi, sensor pH dan sensor TDS yang berfungsi untuk memantau kualitas air, sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air pada tandon, serta sensor cahaya BH1750 untuk mendeteksi intensitas pencahayaan. Seluruh sensor memperoleh suplai daya dari modul *step-down* yang menurunkan tegangan dari power supply agar sesuai dengan kebutuhan. Data hasil pembacaan sensor kemudian diproses oleh ESP32 dan ditampilkan melalui LCD I2C sebagai media monitoring lokal. Pada komponen output, ESP32 mengendalikan pompa air melalui modul relay, sehingga pompa dapat menyala atau mati secara otomatis sesuai dengan kondisi yang terdeteksi. Seluruh rangkaian memperoleh sumber daya dari power supply yang terhubung melalui kabel power, sehingga sistem dapat bekerja secara stabil dan terintegrasi.



Gambar 2. Wiring Diagram

2. Flowchart Sistem

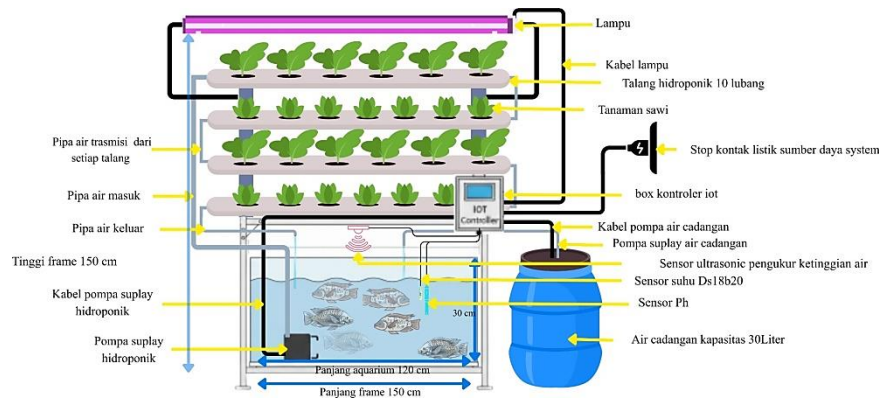
Alur kerja sistem dimulai dari proses inialisasi sistem sebagai tahap awal untuk menyiapkan seluruh komponen agar siap beroperasi. Kemudian, sistem membaca data sensor cahaya, sensor ultrasonik, sensor pH, dan sensor TDS untuk memantau kondisi lingkungan dan kualitas air pada sistem aquaponik. Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirimkan ke cloud dan disimpan ke dalam database sebagai bahan pemantauan dan analisis. Selanjutnya, nilai intensitas cahaya yang didapat dari sensor cahaya ditampilkan pada layar LCD I2C, serta diperiksa apakah tinggi air berada di bawah 50 liter untuk menyalakan pompa tandon. Setelah semua proses kontrol dijalankan sesuai kondisi yang terdeteksi, sistem menyelesaikan siklus kerja dan siap mengulangi proses pemantauan secara berkelanjutan. Peneliti membuat diagram alur kerja sistem dalam bentuk flowchart yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Sistem

3. Desain 2D Sistem

Desain 2D digunakan untuk menggambarkan bentuk fisik dan tata letak komponen pada sistem aquaponik. Seperti terlihat pada Gambar 4. Desain 2D Sistem



Gambar 4. Desain 2D Sistem

Berdasarkan Gambar 4, peneliti merancang sistem aquaponics yang menggabungkan akuarium ikan dan instalasi hidroponik bertingkat dalam satu sistem yang saling terhubung dan dikontrol menggunakan *IoT*. Air dari akuarium dipompa ke talang hidroponik untuk menyuplai nutrisi bagi tanaman sawi, kemudian dialirkan kembali ke akuarium melalui pipa sirkulasi. Sistem ini dilengkapi dengan lampu sebagai sumber cahaya tanaman, serta sensor pH, sensor suhu DS18B20, sensor cahaya BH1750 dan sensor ultrasonik untuk memantau ketinggian air. Seluruh komponen dikendalikan oleh box kontroler *IoT* yang terhubung dengan sumber listrik dan pompa cadangan dari tandon air 30 liter agar sistem dapat bekerja secara otomatis.

2.1.3 Implementasi

Implementasi merupakan wujud dari rancangan sistem yang telah disusun sebelumnya lihat Gambar 5. Di tahap ini, meliputi perakitan semua komponen hardware dan pengembangan software dengan menerjemahkan alur kerja sistem menjadi sebuah program [8]. Sistem ini dirancang menggunakan 4 pipa tanam sepanjang 100 cm sebagai media tanam. Pipa tersebut disusun bertingkat, dengan 2 pipa di atas dan 2 pipa di bawah. Untuk mendukung pertumbuhan tanaman, sistem ini menggunakan lampu sebagai sumber cahaya untuk tanaman guna membantu proses fotosintesis. Selain itu, terdapat akuarium berukuran 120 cm x 30 cm x 30 cm yang berfungsi sebagai kolam ikan serta wadah air dengan daya tampung 80L air, yang dialirkan ke pipa tanam dengan pompa. Sementara itu, tandon air berperan sebagai cadangan dan memompa air ke kolam ikan untuk memastikan volume air dalam sistem tetap seimbang.



Gambar 5. Implementasi Fisik Alat

2.1.4 Pengujian

Fokus utama pengujian dalam penelitian ini adalah pengambilan data dari sensor cahaya dan sensor ultrasonik untuk memantau intensitas cahaya dan ketinggian air pada sistem aquaponics [8]. Selain itu juga, pengujian fungsional dilakukan untuk pemantauan dan pengendalian otomatis terhadap parameter yang telah diatur. Data ketinggian air dari sensor ultrasonik digunakan untuk menghitung volume air menggunakan rumus volume balok [22] pada Persamaan (1) dengan satuan cm^3 , kemudian hasilnya dikonversi ke liter dengan membagi 1000.

$$V = p \times l \times t \quad (1)$$

Dengan:

V = Volume air (cm³)

P = Panjang Akuarium (cm) L = Lebar Akuarium (cm) T = Tinggi air (cm)

Untuk menghitung kinerja dari masing-masing sensor yang digunakan dalam sistem aquaponik, dilakukan pengujian berdasarkan akurasi pengukuran terhadap nilai acuan. Evaluasi kinerja sensor menggunakan beberapa parameter, yaitu *Error Rate (%)*, Standar Deviasi (σ), dan *Mean Absolute Error (MAE)* [23]. Parameter tersebut digunakan untuk mengetahui seberapa akurat dan konsisten hasil dari pengukuran sensor dibandingkan dengan nilai referensi, yang dihitung berdasarkan persamaan 1-3.

$$Error\ rate\ (\%) = \frac{\sum \left(\left| \frac{X_i - R_i}{R_i} \right| \right)}{n} \times 100\% \quad (1)$$

Error Rate digunakan untuk menghitung persentase kesalahan antara nilai yang diukur oleh sensor (X_i), dan nilai acuan (R_i). Semakin kecil nilai *Error Rate*, maka semakin akurat sensor tersebut.

Standar Deviasi:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Standar Deviasi digunakan untuk mengetahui sejauh mana hasil pengukuran menyebar dari nilai rata-rata ($\bar{x}$). Semakin kecil nilai σ , maka semakin konsisten hasil dari pengukuran sensor yang digunakan.

Mean Absolute Error (MAE):

$$MAE = \frac{\sum |X_i - R_i|}{n} \quad (3)$$

MAE digunakan untuk menghitung rata-rata kesalahan absolut antara hasil pengukuran sensor dan nilai acuan. Semakin kecil nilai *MAE*, semakin akurat sensor dalam pengukuran.

2.1.5 Pemeliharaan Sistem

Tahapan pemeliharaan bertujuan untuk memastikan sistem aquaponics dapat beroperasi sesuai dengan rancangan awal dalam penggunaan jangka panjang. Kegiatan pemeliharaan meliputi pemeriksaan rutin terhadap kinerja pompa, sensor, pipa, dan kontroler *IoT* agar seluruh komponen tetap berfungsi dengan baik serta terhindar dari kerusakan akibat pemakaian terus-menerus. Namun, pembahasan mengenai tahapan pemeliharaan tidak menjadi fokus utama dalam penelitian ini, sehingga tidak dijelaskan secara detail dan berada di luar lingkup penelitian yang disajikan [8].

2.2. Literature Review

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sistem aquaponik menjadi solusi yang tepat untuk budidaya terpadu ikan dan tanaman, terkhusus untuk lahan yang sempit. Menurut Nasruddin dkk. menegaskan bahwa penerapan aquaponik dapat meningkatkan pemanfaatan lahan dengan tepat serta mendorong kemandirian masyarakat dalam memproduksi sistem pangan skala rumah tangga. Limbah metabolisme dari ikan dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi bagi tanaman, sementara tanaman memiliki peran sebagai biofilter yang menjaga kualitas air sebelum kembali ke kolam ikan. Sistem ini juga berpotensi dikembangkan di lingkungan perkotaan dengan keterbatasan ruang dan sumber daya [1]. Seiring dengan perkembangan teknologi, *Internet of Things (IoT)* dalam sektor pertanian memperluas kemampuan sistem aquaponik, dengan aspek utama pada monitoring dan kontrol otomatis. Pemanfaatan *IoT* dalam sistem aquaponik menjadi pondasi penting karena teknologi ini memungkinkan pengumpulan, pemrosesan, serta pengiriman data sensor secara *real-time* dengan koneksi internet [21], [24]. Menurut Al Hakim dkk. *IoT* memungkinkan akuisisi data secara *real-time*, meningkatkan akurasi pembacaan sensor, dan memudahkan pengelolaan *smart agriculture*. Dengan konteks budidaya berbasis air, *framework IoT* sebagai pemantauan lingkungan akuatik untuk mengirimkan data parameter lingkungan secara kontinu sehingga kondisi ekosistem pembudidayaan mampu dipantau lebih stabil dan terukur [10].

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem aquaponik berbasis *IoT* dengan menggunakan berbagai sensor lingkungan untuk monitoring dan kontrol kondisi sistem. Penelitian yang dilakukan oleh Aziezah dkk. menggunakan sensor turbidity dan water level guna memantau kualitas air pada sistem aquaponik. Sistem ini dapat menunjukkan pengolahan data secara *real-time*, namun penelitian tersebut masih terbatas pada fungsi pemantauan saja, tanpa adanya mekanisme pengendalian otomatis yang mampu menyesuaikan kondisi lingkungan secara langsung [13]. Dengan keterbatasan tersebut, peneliti

mengembangkan sistem aquaponik yang tidak hanya mampu memantau parameter air, tetapi juga dapat mengontrol kondisi lingkungan secara otomatis dengan menyesuaikan kebutuhan ikan dan tanaman. Penelitian oleh Rahayuningtyas dkk. dan Wiradani dkk. memanfaatkan sensor cahaya LDR untuk monitoring intensitas cahaya pada sistem aquaponik. Sensor LDR mampu mendeteksi perubahan cahaya, guna mendukung fotosintesis tanaman [2], [3]. Namun, penelitian tersebut menunjukkan bahwa sebelum melakukan tahap kalibrasi, tingkat kesalahan pada pembacaan sensor relatif sangat tinggi yang dapat memengaruhi akurasi data monitoring dan keputusan pada pengaturan cahaya. Untuk mengatasi keterbatasan ini, peneliti menggunakan sensor cahaya BH1750, yang memiliki tingkat akurasi lebih tinggi dalam pengukuran intensitas cahaya.

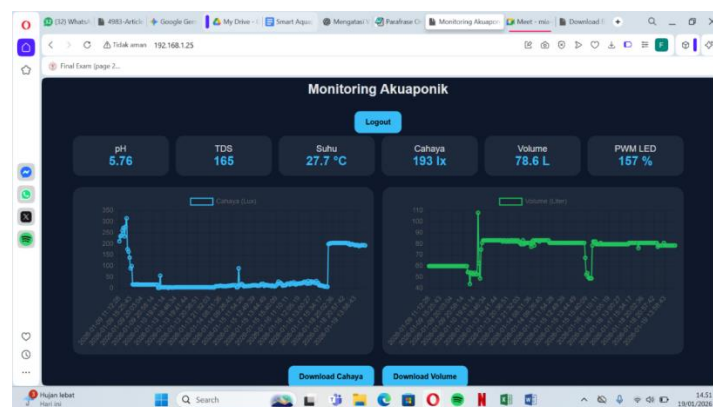
Selain itu, Bhayangkara dkk. mengembangkan sistem monitoring aquaponik berbasis mikrokontroler NodeMCU ESP8266 yang dapat terhubung dengan berbagai sensor. Pada sistem ini memungkinkan pengguna memantau parameter lingkungan aquaponik secara *real-time* melalui perangkat mobile [16]. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan berupa penyesuaian dalam pengelolaan data yang terbatas dan kestabilan koneksi internet. Oleh karena itu, peneliti mengadaptasi konsep monitoring jarak jauh, namun menambahkan sensor ultrasonik SR-HC04 sebagai pengatur ketinggian air secara noninvasif, sehingga pompa dan aliran air dapat dikendalikan secara otomatis berdasarkan kondisi nyata. Selain itu, data juga dapat dikelola secara lokal, sehingga sistem tetap berfungsi meskipun koneksi internet terganggu dan monitoring otomatis tetap berjalan.

Berdasarkan beberapa kajian tersebut, pengembangan sistem aquaponik berbasis IoT memiliki fokus pada monitoring dengan beberapa keterbatasan. Penelitian ini berupaya mengatasi keterbatasan tersebut dengan mengembangkan sistem aquaponik yang lebih presisi dan pengendalian otomatis. Oleh karena itu, penelitian ini mengarah pada optimalisasi monitoring menggunakan sensor cahaya BH1750 dan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur tingkat air, untuk menghasilkan sistem yang lebih akurat, responsif, dan andal guna mendukung pertanian modern. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi baru dalam pengembangan sistem *smart aquaponics* berbasis IoT yang lebih terintegrasi dibandingkan dengan sistem sebelumnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Sistem

Pada tahap ini merupakan proses pengujian sistem. Tahapan ini dilakukan dengan pengujian sensor ultrasonik sebagai pengukur ketinggian air dan sensor cahaya BH1750 sebagai monitor cahaya ruangan. Antarmuka sistem monitoring dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Web Antarmuka sistem Monitoring

Pengujian sistem dilakukan dengan memperoleh data pembacaan sensor ultrasonik untuk pengukuran volume air dalam satuan liter serta sensor cahaya BH1750 untuk pengukuran intensitas cahaya dalam satuan lux. Untuk memastikan akurasi pengukuran, hasil pembacaan sensor ultrasonik dibandingkan dengan pengukuran manual dengan alat ukur dimensi (penggaris) dalam satuan sentimeter, sedangkan data sensor BH1750 dibandingkan dengan alat ukur intensitas cahaya, yaitu lux meter, dengan satuan lux. Pengambilan data dilakukan secara berkala selama proses pengujian berlangsung. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem Sensor Ultrasonik

No.	Tanggal	Waktu (WIB)	Volume Air (L)	Uji Manual (L)	Selisih Pengukurann(%)	Status Pompa
1	13/01/2026	08.02	48,9	48,6	0,3%	Hidup

No.	Tanggal	Waktu (WIB)	Volume Air (L.)	Uji Manual (L)	Selisih Pengukurann(%)	Status Pompa
2	13/01/2026	19.37	80,9	80,2	0,7%	Mati
3	14/01/2026	08.06	80,9	80,2	0,7%	Mati
4	14/01/2026	19.00	80,9	80,2	0,7%	Mati
5	15/01/2026	08.04	80,9	80,6	0,3%	Mati
6	15/01/2026	19.05	79,7	78,8	0,9%	Mati
7	16/01/2026	08.15	79,7	79,2	0,5%	Mati
8	16/01/2026	19.30	78,6	78,1	0,5%	Mati
9	17/01/2026	08.10	78,6	78,1	0,5%	Mati
10	17/01/2026	19.42	78,4	78,1	0,3%	Mati

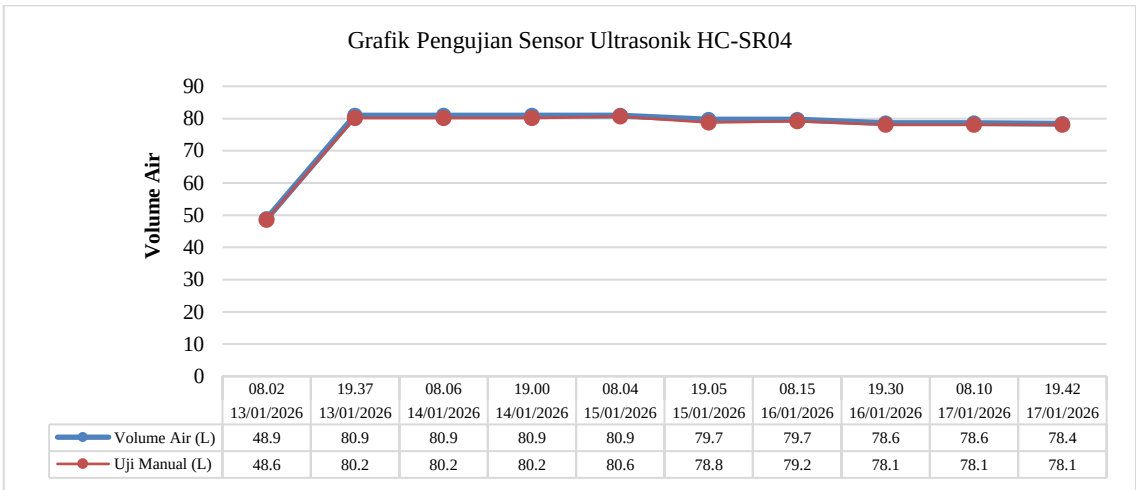
Tabel 2. Hasil Pengujian Sistem Sensor Cahaya BH1750

No.	Tanggal	Waktu (WIB)	Intensitas Cahaya (Lux)	Uji Manual (Lux)	Selisih Pengukuran (%)
1	13/01/2026	11.00	213	212,5	0,5%
2	13/01/2026	19.00	217	216,6	0,4%
3	14/01/2026	11.05	215	214,8	0,2%
4	14/01/2026	19.30	217	216,7	0,3%
5	15/01/2026	11.00	212	211,7	0,3%
6	15/01/2026	19.00	218	217,5	0,5%
7	16/01/2026	11.40	216	215,6	0,4%
8	16/01/2026	19.40	219	218,8	0,2%
9	17/01/2026	11.05	215	214,5	0,5%
10	17/01/2026	19.50	219	218,8	0,2%
Rata-Rata Nilai Sensor Cahaya			216,1		

Pada persamaan (1-3), X_i menyatakan hasil pembacaan sensor ultrasonik dan sensor cahaya BH1750, sedangkan R_i merupakan acuan yang digunakan sebagai pembanding. Variabel n menunjukkan jumlah data yang dikumpulkan, sementara $|X_i - R_i|$ adalah selisih absolut antara hasil pengukuran sensor dan nilai acuannya. Nilai $\bar{x}$ mempresentasikan rata-rata hasil pengukuran, dan σ menunjukkan standar deviasi yang menggambarkan tingkat sebaran data terhadap nilai rata-rata.

3.2. Grafik Pengujian Sensor

Setelah prngujian dilakukan, grafik dibuat untuk menunjukkan perubahan data sensor dari waktu ke waktu. Ini mempermudah analisis variasi nilai yang di catat oleh sistem.

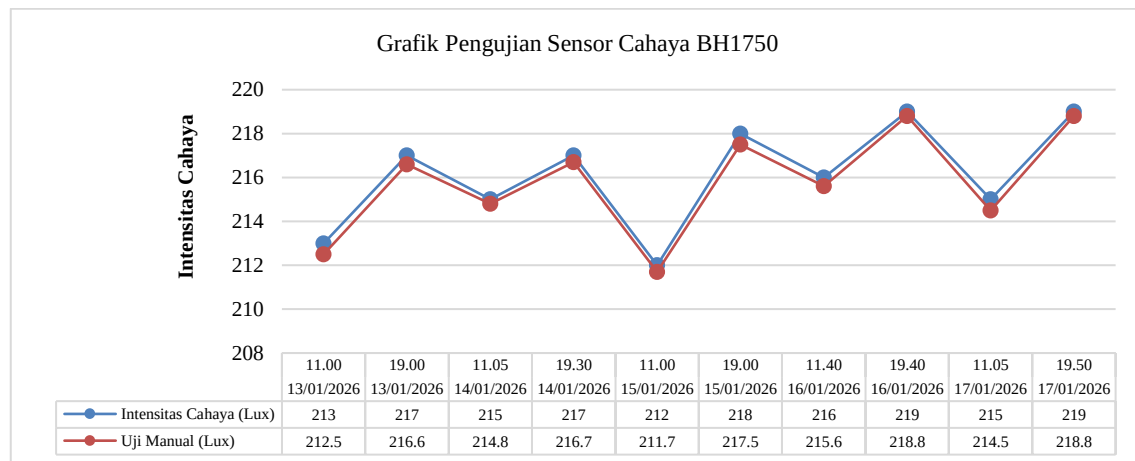


Gambar 7. Grafik Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

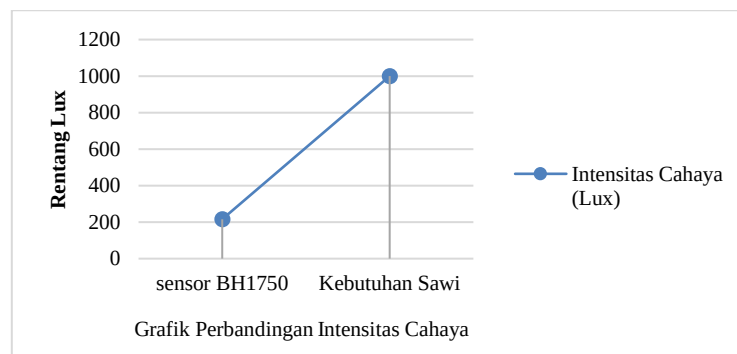
Berdasarkan grafik pengujian pada Gambar 7, sensor ultrasonik dalam sistem memberikan data pengukuran yang konsisten. Perhitungan memperlihatkan bahwa error-nya hanya 0,70%, dengan MAE tercatat 0,54 dan standar deviasi 0,21. Grafik tersebut juga mengindikasikan bahwa data yang dibaca sensor ultrasonik hampir sama dengan pengukuran manual. Ini membuktikan sistem tersebut mampu mengukur volume air secara akurat.

Gambar 8 merupakan hasil setelah dilakukan analisis penghitungan tingkat persentase pada sensor cahaya BH1750 menunjukkan tingkat kesalahan sangat rendah. Tingkat kesalahan rata-rata persentase yang

hanya 0,35% mengindikasikan selisih yang tidak signifikan antara data sensor dan pengukuran manual menggunakan lux meter, yang membuktikan tingkat akurasi yang baik. Selain itu, perhitungan *Mean Absolute Error* (MAE) mencapai 0,35 lux yang menandakan bahwa selisih absolut rata-rata antara pembacaan sensor dan pengukuran manual relatif kecil. Nilai standar deviasi sebesar 0,12 lux pun menunjukkan bahwa variasi persentase dari pengukuran sensor masih dalam batas wajar dan data sensor cenderung stabil. Selain itu, berdasarkan hasil pengujian, angka rata-rata cahaya yang terdeteksi oleh sensor BH1750 adalah 216,1 Lux. Angka ini menandakan bahwa tingkat cahaya termasuk dalam kategori cukup terang. Sehingga, sensor cahaya BH1750 berfungsi dengan baik dalam mempresentasikan kondisi intensitas cahaya secara akurat dan konsisten, guna memantau intensitas cahaya pada sistem aquaponik berbasis *Internet of Things* secara berkelanjutan.



Gambar 8. Grafik Pengujian Sensor Cahaya BH1750



Gambar 9. Grafik Perbandingan Intensitas Cahaya

Berdasarkan grafik perbandingan intensitas cahaya pada Gambar 9 antara kebutuhan tanaman sawi dan hasil pembacaan sensor cahaya BH1750, terlihat adanya perbedaan yang cukup signifikan. Grafik menunjukkan bahwa nilai rata-rata intensitas cahaya yang terukur oleh sensor BH1750 adalah 216,1 Lux berada dibawah kebutuhan minimum tanaman sawi, dimana tanaman sawi atau pakcoy membutuhkan sekitar 1000 Lux [25]. Namun, pada umum nya pertumbuhan sawi yang masih berusia 1-3 minggu membutuhkan sekitar 200-400 Lux [25]. Berdasarkan hal tersebut, kelemahan dari sistem pencahayaan yang digunakan adalah bahwa lampu yang terpasang saat ini hanya mampu memenuhi kebutuhan intensitas cahaya pada fase awal pertumbuhan tanaman sawi, yaitu pada usia 1–3 minggu. Pada fase pertumbuhan selanjutnya, yaitu mulai minggu keempat hingga masa panen, kebutuhan intensitas cahaya tanaman meningkat sampai dengan 1000 Lux, sehingga diperlukan penambahan pencahayaan buatan untuk mendukung proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman sawi secara optimal.

3.3. Diskusi Hasil Pengujian Sensor

Berdasarkan hasil pengujian yang telah peneliti lakukan, sistem monitoring aquaponik yang dikembangkan mampu membaca parameter lingkungan dengan tingkat keakuratan yang baik. Sensor ultrasonik HC-SR04 menunjukkan performa yang stabil dalam pengukuran tingkat air dengan nilai *error* relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa sensor tersebut mampu digunakan secara tepat guna memantau perubahan volume air pada sistem aquaponik, sehingga mampu membantu menjaga kestabilan ekosistem budidaya. Sementara pada parameter intensitas cahaya, sensor BH1750 juga menunjukkan tingkat akurasi

yang tinggi dengan nilai *error* yang rendah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor BH1750 lebih presisi dibandingkan dengan sensor LDR yang digunakan dalam beberapa penelitian sebelumnya yang memiliki tingkat *error* lebih tinggi pada saat proses kalibrasi. Oleh karena itu, dengan tingkat akurasi yang baik, sensor BH1750 mampu memberikan data intensitas cahaya yang stabil dan *real-time* sehingga dapat mendukung proses monitoring fotosintesis tanaman pada aquaponik.

Jika dibandingkan dengan beberapa penelitian sebelumnya, hasil pengujian pada penelitian ini menunjukkan peningkatan pada aspek akurasi sensor dan integrasi sistem monitoring. Penelitian yang memanfaatkan sensor LDR sebagai pendeteksi intensitas cahaya memiliki tingkat *error* relatif lebih tinggi, yaitu dengan rentang 10%-30%. Sedangkan penelitian ini dengan penggunaan sensor cahaya BH1750 menunjukkan nilai *error rate* hanya sebesar 0,35%. Selain itu juga, penggunaan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pemantau level air juga menunjukkan performa yang stabil dan akurat dengan nilai *error rate* sebesar 0,70%, sehingga mampu memberikan pengukuran volume air yang cukup akurat. Integrasi dari kedua sensor tersebut dengan mikrokontroler ESP32 dan sistem monitoring berbasis *web dashboard* memungkinkan proses pemantauan sistem aquaponik dilakukan secara *real-time* dan lebih presisi dibandingkan dengan beberapa penelitian sebelumnya yang masih mengandalkan sistem monitoring secara manual atau aplikasi pihak ketiga. Maka dari itu, sistem yang dikembangkan peneliti mampu meningkatkan akurasi pengukuran secara tepat guna mendukung monitoring pada sistem *smart aquaponics* berbasis IoT.

Namun, sistem ini masih memiliki keterbatasan dalam pengembangan yang terletak pada kemampuan sistem pencahayaan yang masih terbatas. Berdasarkan hasil pengujian, intensitas cahaya yang dihasilkan oleh sistem berada dalam kisaran yang sesuai untuk fase awal, yaitu 200–400 lux pada usia 1–3 minggu. Namun, pada fase pertumbuhan berikutnya, yaitu masa panen minggu ke-4, dibutuhkan intensitas cahaya sekitar 1000 lux. Oleh karena itu, pada tahap pengembangan selanjutnya diperlukan peningkatan sistem pencahayaan, dengan solusi penambahan jumlah lampu atau penggunaan lampu dengan intensitas lebih tinggi, sehingga sistem aquaponik mampu menyuplai cahaya secara stabil dan sesuai kebutuhan tanaman pada setiap fase pertumbuhan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang berfokus pada pentingnya monitoring parameter lingkungan secara *real-time* dalam sistem aquaponik, serta hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem *smart aquaponics* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dikembangkan berhasil sebagai sistem monitoring. Sensor ultrasonik HC-SR04 menunjukkan kinerja yang tepat dan konsisten dalam pengukuran volume air, dengan tingkat *error rate* 0,70%, nilai MAE 0,54, dan standar deviasi 0,21. Sistem ini dapat mempertahankan kestabilan volume air dan mendukung kebutuhan nutrisi bagi tanaman serta ikan. Di sisi lain, sensor cahaya BH1750 juga menunjukkan kinerja yang sangat baik dengan tingkat *error rate* 0,35%, nilai MAE 0,35 Lux, serta standar deviasi 0,12 Lux. Rata-rata intensitas cahaya yang tercatat adalah 216,1 lux, dengan kategori cukup terang untuk pemantauan.

Dari pengujian yang telah dilakukan, penggunaan sensor ultrasonik HC-SR04 yang dikonversi ke satuan liter guna memantau volume air dan sensor cahaya BH1750 untuk mendeteksi intensitas cahaya dalam satu sistem monitoring aquaponik berbasis IoT yang terkoneksi melalui *web dashboard* teruji dengan akurat dan baik sebagai solusi dalam monitoring kondisi lingkungan aquaponik secara *real-time*. Namun, sistem yang dikembangkan masih memiliki keterbatasan pada sistem pencahayaan yang belum maksimal untuk mendukung fase pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya mampu mengembangkan sistem dengan penambahan fitur pencahayaan otomatis serta integrasi sensor lingkungan lainnya, seperti suhu air atau kadar oksigen terlarut, guna mendukung tingkat kestabilan ekosistem aquaponik dengan lebih optimal.

REFERENSI

- [1] M. A. S. Muhamad Nasruddin, Reyfani Ilham Fauzy, "Counseling And Training On The Use Of Aquaponic In," *J. Pengabd. Kpd. Masy. Vol.4 No.2. 2024* 308-312, vol. 4, no. 2, pp. 308–312, 2024, doi: https://jurnal.fkip.samawa-university.ac.id/KARYA_JPM/article/view/772.
- [2] P. A. P. Wiradani, L. Jasa, and P. Rahardjo, "Analisis Perbandingan Produktivitas Material Budidaya Aquaponics Berbasis IoT (Internet of Things) dengan Budidaya Aquaponics Konvensional," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 21, no. 2, p. 263, 2022, doi: 10.24843/mite.2022.v21i02.p14.
- [3] A. Rahayuningtyas, D. Sagita, N. D. Susanti, and J. Barat, "Sistem deteksi dan pemantauan kualitas air pada aquaponics berbasis android the detection and monitoring system of water quality in the aquaponic based on android," vol. 15, no. 1, pp. 75–89, 2021.
- [4] C. D. Wibowo *et al.*, "Jurnal abdi insani universitas mataram," *J. Abdi Insa. Univ. Mataram*, vol. 8, no. April, pp. 134–142, 2021, doi: 10.29303/abdiinsani.v8i1.381.
- [5] S. Ayu and M. A. S. Yudono, "Sistem Kendali Kualitas Aquaponics Tanaman Selada: Sebuah Tinjauan Literatur Sistematis," in *Prosiding Seminar Teknik Elektro dan Informatika (STEADI), Universitas Nusa Putra*, 2024.

- [6] M. I. Nasution, L. H. Lubis, W. Utama, and A. Ritonga, "Jurnal Phi Implementasi Mikrokontroler Berbasis IoT Untuk Optimalisasi Kinerja Sistem Aquaponics," *J. Phi; J. Pendidik. Fis. dan Fis. Ter. Vol 9 (1), 2023; ISSN2549-7162 Hal. 7-14*, vol. 9, no. 1, pp. 7–14, 2023, doi: <https://doi.org/10.22373/p-jpft.v9i1.16292>.
- [7] B. Setiawan *et al.*, "Implementasi Sistem IoT Pada Akuakultur dan Hydroponik (Aquaponics) Modern Untuk Pertumbuhan Ikan Nila," *J. Inform. J. Pengemb. IT (JPIT)*, Vol.9, No.1, Januari 2024, vol. 9, no. 1, pp. 47–53, 2024, doi: <https://doi.org/10.20591/jpit.v9i1.5896>.
- [8] I. Irawan and J. C. Chandra, "Sistem Pemantauan Dan Kendali Aquaponic Menggunakan Arduino Berbasis Web," *KRESNA J. Ris. dan Pengabd. Masy.*, vol. 3, no. 1, pp. 77–85, 2023, doi: [10.36080/kresna.v3i1.62](https://doi.org/10.36080/kresna.v3i1.62).
- [9] S. Rangkuti, U. Miftadi, and U. Faletahan, "Rancang Bangun Smart Aquaponics Skala Kecil Berbasis Internet Of Things Small-Scale Smart Aquaponics Design Based On," vol. 10, no. 2, pp. 147–158, 2023, doi: <https://doi.org/10.25124/jett.v10i2.6729>.
- [10] R. Ridlo, A. Hakim, A. Pangestu, H. A. Hidayah, and S. Faizah, "Pemanfaatan Teknologi Iot Untuk Pertanian Berkelanjutan (IoT Technology For Sustainable Agriculture)," in *Seminar Nasional Teknologi Pertanian Berkelanjutan, Fakultas Pertanian dan Peternakan, UNIKA Santu Paulus Ruteng*, 2022, pp. 1–9.
- [11] M. Saef, T. Abdullah, and L. Mazalan, "Smart Automation Aquaponics Monitoring System," *Int. J. Informatics Vis.*, vol. 6, no. May, pp. 256–263, 2022, doi: <https://doi.org/10.30630/joiv.6.1-2.925>.
- [12] M. Fadil, A. Munir, M. T. Sapsal, A. Info, and W. Level, "On-Off Water Level Control and IoT Monitoring for Aquaponics Systems," vol. 02, no. 2, pp. 90–99, 2023, doi: [10.70124/salaga.v1i2.1355](https://doi.org/10.70124/salaga.v1i2.1355).
- [13] N. Aziezah, W. Sholihah, I. Novianty, and M. Romadhona, "JTIM : Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia Sipekernik : Sistem Pemantau Kekeruhan Air dan Pengairan pada Aquaponics Menggunakan Sensor Turbidity , LDR dan," *JTIM J. Teknol. Inf. dan Multimed.*, vol. 4, no. 4, pp. 261–271, 2023, doi: <https://doi.org/10.35746/jtim.v4i4.324>.
- [14] A. Prayoga, A. Hamid, A. Aziz, A. Rifai, A. Fiqhi, and D. T. Laksono, "Pelatihan budidaya menggunakan sistem aquaponics berbasis water level sensor di banyuajuh bangkalan," *Vol 7 No 1 J. Among Pengabd. Masy.*, vol. 7, pp. 19–25, 2025, doi: [10.51804/ajpm.v7i1.16953](https://doi.org/10.51804/ajpm.v7i1.16953).
- [15] A. Sahara, Heriansyah, and F. Br. Gultom, "Studi Kesalahan Pada Sensor Ldr Sebagai Alat Ukur," *Lab. J. J. Lab. Sains Terap.*, vol. 1, no. 2, pp. 8–15, 2024, doi: [10.33369/jlst.1.2.8-15](https://doi.org/10.33369/jlst.1.2.8-15).
- [16] Danih and Sugiyatno, "Sistem Monitoring Berbasis Internet of Thing (IoT) Untuk Pengendalian Kualitas Air dan Pakan Ikan pada Budidaya sistem Aquaponics," *JSRCS J. Students' Res. Comput. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 89–98, 2021, doi: [10.31599/jsrscs.v2i1.665](https://doi.org/10.31599/jsrscs.v2i1.665).
- [17] A. S. Zulfikar, A. Margiantono, and I. Erlinasi, "Laporan Tugas Akhir Sistem Aquaponik Cerdas Berbasis IoT (Internet of Things)," 2023. [Online]. Available: <https://eksripsi.usm.ac.id/detail-C41A-777.html>
- [18] K. Jonathan, "Rancang Bangun Dashboard IoT Untuk Monitoring Kolam Aquaponik Berbasis Android," 2023. [Online]. Available: <https://repository.dinamika.ac.id/id/eprint/7327/>
- [19] R. T. Yofanda, E. N. Budisusila, and J. P. Hapsari, "Sistem Pengendalian Parameter Ruangan Otomatis Berbasis Internet of Things dengan Sensor BH1750," *J. Tek. Elektromedik Indones. Vol 06 No. 2, April 2025*, no. 024, 2025, doi: [10.18196/mt.v6i2.26124](https://doi.org/10.18196/mt.v6i2.26124).
- [20] E. K. Pramartaningtyas, S. Ma'shumah, and M. I. Fuad, "Analisis Performa Sistem Kendali Ph Dan Tds Terlarut Berbasis," *J. Resist. Vol.5 No 1- April 2022*, vol. 5, no. 1, pp. 1–9, 2022, doi: <https://doi.org/10.31598>.
- [21] F. Dirayati, R. A. Sari, and R. F. Purnomo, "Perancangan dan Implementasi Sistem Smart Agriculture Berbasis Internet of Things untuk Meningkatkan Produktivitas Pertanian JURNAL MEDIA INFORMATIKA [JUMIN]," *J. Media Inform. [JUMIN] Vol. 6 No. 2 Ed. Januati-April 2025*, Page 863-872, vol. 6, no. 2, pp. 863–872, 2025, doi: [10.55338/jumin.v6i2.4982](https://doi.org/10.55338/jumin.v6i2.4982).
- [22] O. V. . Ramadhana, N. Hidayah, W. Aprilia, and E. Zuliana, *Pendidikan matematika realistik*, vol. 10. 2024. doi: <https://doi.org/10.36989/didaktik.v10i04.4910>.
- [23] T. O. Hodson, "Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not," no. 2, pp. 5481–5487, 2022, doi: <https://doi.org/10.5194/gmd-15-5481-2022>.
- [24] Y. Al Fath, R. A. Pahlevi, A. M. Abdillah, M. Hafidhuddin, and M. Diantoro, "Sistem Monitoring Real-time pada Pertanian Urban Mandiri Energi Terintegrasi Internet of Things (IoT)," *J. Fis. Unand*, vol. 14, no. 1, pp. 52–60, 2025, doi: <https://doi.org/10.25077/jfu.14.1.52-60.2025>.
- [25] M. A. R. Setiawan, I. M. A. S. W. Made, and Ida Bagus Putu Gunadnya, "Effect of Light Emitting Diode (LED) Red Blue on the Production of Pakcoy (Brassica rapa L.," *J. BETA (Biosistem dan Tek. Pertanian)*, Vol 11, Nomor 1, April 2023, vol. 11, pp. 3–7, 2023, doi: <https://doi.org/10.24843/jbeta.2023.v11.i01.p07>.