

Irigas Cerdas Budidaya Aqua Hydroponik Menggunakan System Iot

Ach.Maulidani Ubaidillah Solichin ^{1)*} , Moh.Firman Hidayat ²⁾ 

¹⁾²⁾ *Unifersitas Madura, Pamekasan, Indonesia*

¹⁾ ubaidillah2266@gmail.com ²⁾ firmanhyuga95@gmail.com

Abstract

Budidaya aquahydroponik merupakan inovasi pertanian modern yang menggabungkan konsep akuaponik dan hidroponik untuk menciptakan sistem yang lebih efisien dan berkelanjutan. Namun, metode konvensional masih memiliki keterbatasan, terutama karena pengaturan air dan nutrisi masih dilakukan secara manual sehingga membutuhkan banyak waktu dan tenaga. Kondisi ini juga sering menimbulkan ketidakseimbangan nutrisi serta pemborosan air. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menerapkan sistem irigasi cerdas berbasis Internet of Things (IoT) yang dapat bekerja secara otomatis dan real time dalam mengelola proses budidaya aquahydroponik. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan berbagai sensor, seperti sensor pH (SEN0161), sensor suhu air (DS18B20), sensor kelembaban dan suhu udara (DHT11/DHT22), serta sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur ketinggian air. Data yang diperoleh dikirimkan ke platform *ThingSpeak* agar dapat dipantau secara langsung melalui web atau aplikasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu melakukan penyiraman dan pengaturan nutrisi secara otomatis sesuai dengan kondisi ideal pertumbuhan tanaman. Semua sensor bekerja stabil dan memberikan data yang akurat. Pengguna juga dapat memantau kondisi sistem dari jarak jauh tanpa perlu hadir di lokasi. Secara keseluruhan, penerapan sistem irigasi cerdas berbasis IoT ini terbukti membantu petani menghemat air dan energi, sekaligus mempermudah proses pemeliharaan dalam budidaya aquahydroponik yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: Irigasi cerdas, Aquahydroponik, Internet of Things (IoT), Sensor IoT, ESP32.

Article history: Received 5 April 2025, first decision 22 April 2025, accepted 22 August 2025, available online 28 October 2025

I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan pangan global yang dihadapkan pada penyusutan lahan pertanian subur dan keterbatasan sumber daya air telah mendorong inovasi dalam teknik budidaya [1], [2], [3]. Metode pertanian modern seperti hidroponik dan akuaponik, atau yang sering dikombinasikan sebagai aquahidroponik, muncul sebagai solusi pertanian tanpa tanah (soilless) yang menjanjikan [4], [5], [6], [7]. Sistem aquahidroponik, yang mengintegrasikan budidaya ikan (akuakultur) dengan tanaman (hidroponik), menawarkan siklus nutrisi yang berkelanjutan dan efisiensi penggunaan ruang. Namun, keberhasilan sistem ini sangat bergantung pada pemeliharaan parameter lingkungan yang presisi untuk mendukung kesehatan ikan sekaligus pertumbuhan optimal tanaman [8], [9], [10].

Pada implementasi budidaya aquahidroponik konvensional, proses pemantauan dan pengendalian seringkali masih mengandalkan intervensi manual. Pemantauan parameter krusial seperti pH air, suhu air, kelembaban udara, dan ketersediaan nutrisi yang dilakukan secara manual tidak hanya bersifat padat karya, tetapi juga rentan terhadap human error dan keterlambatan dalam merespons perubahan. Keterbatasan ini sering berujung pada inefisiensi penggunaan air dan nutrisi, serta fluktuasi kondisi lingkungan yang dapat menyebabkan stres pada tanaman dan ikan, sehingga menurunkan produktivitas [11], [12], [13], [14], [15].

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi revolusioner untuk mengatasi tantangan dalam manajemen pertanian presisi [16], [17], [18], [19]. IoT memungkinkan integrasi berbagai sensor yang dapat memantau kondisi lingkungan secara real-time dan aktuator yang dapat mengeksekusi tindakan secara otomatis. Konsep "Irigasi Cerdas" (Smart Irrigation) berbasis IoT memungkinkan sistem untuk mengambil keputusan secara mandiri berdasarkan data yang terkumpul, mengotomatisasi proses penyiraman dan pemberian pakan nutrisi sesuai kebutuhan spesifik tanaman [20], [21], [22], [23].

* Ach.Maulidani Ubaidillah Solichin

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem irigasi cerdas berbasis IoT yang didedikasikan untuk budidaya aquahidroponik. Dengan memanfaatkan sensor pH, sensor suhu air (DS18B20), sensor kelembaban dan suhu udara (DHT11/DHT22), serta sensor level air (ultrasonik) yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32, sistem ini dirancang untuk mengontrol dan memantau lingkungan budidaya secara otomatis. Data yang dikumpulkan dikirimkan ke platform cloud ThingSpeak untuk monitoring jarak jauh. Implementasi sistem ini diharapkan dapat membuktikan peningkatan signifikan dalam efisiensi penggunaan air dan nutrisi, serta mempermudah proses pemeliharaan, sehingga membuat budidaya aquahidroponik lebih mudah diakses dan berkelanjutan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Konsep Pertanian Cerdas Berbasis IoT

Penerapan Internet of Things (IoT) dalam bidang pertanian telah mengubah cara pengelolaan sistem budidaya modern [24], [25], [26]. Teknologi IoT memungkinkan integrasi antara perangkat sensor, mikrokontroler, dan sistem komunikasi yang berfungsi memantau kondisi lingkungan serta mengontrol perangkat secara otomatis dan real-time. penerapan IoT dalam pertanian mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air, nutrisi, dan tenaga kerja melalui sistem pengendalian berbasis data [27], [28], [29], [30].

Dalam konteks irigasi aquahidroponik, IoT digunakan untuk memantau berbagai parameter penting yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman dan kondisi air [31], [32], [33], [34]. Sistem ini dapat dikembangkan menggunakan berbagai perangkat, antara lain sensor pH SEN0161, sensor suhu air DS18B20, sensor kelembaban dan suhu udara DHT11/DHT22, sensor level air HC-SR04 (ultrasonik), serta modul RTC DS3231 untuk penjadwalan otomatis. Seluruh komponen ini dikontrol oleh mikrokontroler ESP32, sementara relay module (4-channel) berfungsi mengatur kerja pompa submersible, aerator, dan sistem irigasi. Data hasil pembacaan sensor ditampilkan melalui LCD Display I2C dan dikirimkan ke platform cloud ThingSpeak untuk pemantauan jarak jauh [35], [36], [37], [38], [39].

B. Penelitian Terkait Sistem Irigasi dan Pemantauan Otomatis

Penerapan IoT pada sistem akuaponik dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan air dan nutrisi dengan memanfaatkan sensor pH, suhu, dan ketinggian air yang dikendalikan oleh mikrokontroler. Data dikirim ke platform cloud untuk monitoring secara daring [40], [41].

Sistem irigasi otomatis pada hidroponik berbasis ESP32 dan sensor kelembaban tanah. Sistem tersebut mampu menekan penggunaan air hingga 35% dibandingkan sistem manual. mengembangkan sistem akuaponik otomatis dengan sensor pH dan suhu untuk menjaga kestabilan kualitas air bagi tanaman dan ikan [42], [43], [44].

Meski demikian, sebagian besar penelitian terdahulu hanya berfokus pada hidroponik atau akuaponik secara terpisah. Penelitian yang menggabungkan kedua sistem dalam bentuk aquahidroponik dengan integrasi sensor lengkap dan sistem kendali otomatis masih jarang ditemukan [45], [46], [47].

C. Tantangan dan Arah Pengembangan Sistem Aquahidroponik Cerdas

1) Integrasi Sensor dan Sistem Kontrol

Penggabungan berbagai sensor seperti pH SEN0161, DS18B20, DHT11/DHT22, dan HC-SR04 memerlukan sistem kontrol yang mampu memproses data secara sinkron dan akurat. Sensor-sensor tersebut memberikan informasi real-time mengenai kondisi air, suhu, dan kelembaban lingkungan yang menjadi dasar bagi sistem untuk mengatur pompa dan aerator secara otomatis melalui relay module [48], [49], [50].

2) Pemanfaatan Platform IoT untuk Monitoring dan Penjadwalan Otomatis

Pemanfaatan ThingSpeak sebagai platform monitoring memudahkan pengguna memantau seluruh parameter sistem dari jarak jauh. Ditambah dengan modul RTC DS3231, sistem mampu melakukan penjadwalan otomatis untuk pengaktifan pompa air, aerator, atau pemberian nutrisi pada waktu yang telah ditentukan [51], [52], [53].

3) Efisiensi dan Keberlanjutan Sistem

Penerapan komponen seperti pompa submersible hemat daya dan aerator otomatis membantu menjaga efisiensi energi. sistem irigasi cerdas berbasis IoT berkontribusi terhadap pengurangan pemborosan air dan energi, sehingga mendukung prinsip pertanian berkelanjutan [54], [55], [56], [57].

D. Sintesis dan Kesenjangan Penelitian

Berdasarkan Literature Review, penerapan IoT pada sistem pertanian telah menunjukkan hasil yang signifikan dalam efisiensi dan otomatisasi. Namun, penelitian yang secara spesifik menggabungkan sistem aquaponik dan hidroponik dalam satu kesatuan terintegrasi dengan pengendalian irigasi otomatis berbasis sensor lengkap masih terbatas [58], [59], [60].

Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem irigasi cerdas aquahidroponik berbasis IoT yang memanfaatkan berbagai sensor dan modul pengendali untuk mengatur aliran air, suplai oksigen, dan keseimbangan nutrisi secara otomatis. Sistem ini diharapkan mampu meningkatkan produktivitas tanaman, menghemat sumber daya, serta mendukung pertanian berkelanjutan yang adaptif terhadap perkembangan teknologi digital.

III. METODE

1) Pengumpulan Data

Dalam metode ini, penulis menerapkan 2 metode yaitu metode wawancara dan metode studi literatur.

Untuk mengumpulkan informasi mengenai kebutuhan dan harapan pemilik tempat budidaya terkait sistem budidaya aquaponik dan hidroponik, wawancara dilakukan dengan pemilik Tempat Pembudidayaan. Tujuannya Memahami alur budidaya, seperti bagaimana cara budidaya dilakukan, pengelolaan tanaman hidroponik dan pengelolaan ikan di aquaponik, serta kendala yang di hadapi dalam proses pembudidayaan [61], [62]. Dan hasilnya Diperoleh informasi bahwa pemilik membutuhkan fitur utama seperti Irigasi otomatis antar lahan budidaya dan pengecekan kesehatan air dengan cara yang mudah [12], [61].

Studi literatur dilakukan dengan membaca dan menganalisis referensi dari buku, artikel jurnal, dan sumber online terpercaya yang membahas pembuatan irigasi air dan penyatuan antara aquaponik dan hidroponik, teknologi yang digunakan, serta penerapan metode irigasi yang dibuat [8], [11]. Tujuannya Memahami prinsip-prinsip dasar pembuatan sistem irigasi berbasis IoT dan teknik terbaik yang relevan untuk proyek ini. Didapatkan wawasan mengenai gambaran alat-alat yang dibutuhkan, bagaimana jalannya alat yang akan dibuat, dan bagaimana tata letak budidaya akan diletakkan .

2) Analisis Kebutuhan

Dari pengumpulan data di atas maka penulis dapat menyimpulkan beberapa kebutuhan sistem yang diperlukan dalam perancangan ini. Adapun beberapa kebutuhannya sebagai berikut;

2.1 Kebutuhan Pengguna

Berikut merupakan kebutuhan dari pengguna:

- Kemudahan dalam pembudidayaan
- Melihat Kesehatan Air
- Melihat Kesehatan Tanaman dan Ikan
- Melakukan Irigasi Secara Otomatis

2.2 Perangkat dan Bahan Penelitian

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa sensor, aktuator, serta modul pendukung, yaitu:

- Mikrokontroler: ESP32 sebagai pusat kendali system [9].
- Sensor pH: SEN0161 untuk mengukur tingkat keasaman air [63].
- Sensor Suhu Air: DS18B20 untuk memantau suhu media air [64].
- Sensor Kelembaban dan Suhu Udara: DHT11/DHT22 untuk memantau kondisi lingkungan sekitar tanaman [65].
- Sensor Level Air: HC-SR04 (ultrasonik) untuk mendeteksi ketinggian air dalam wadah penampung [48].
- Pompa Submersible: digunakan untuk mengalirkan air dan nutrisi ke tanaman [12].
- Aerator: menjaga kadar oksigen terlarut pada sistem air [45].
- Relay Module (4-Channel): sebagai saklar elektronik untuk mengendalikan pompa dan aerator [48].
- Modul RTC (DS3231): untuk mencatat waktu dan mengatur penjadwalan otomatis [47].
- LCD Display I2C: menampilkan informasi parameter secara langsung di sistem [66].
- Breadboard dan Jumper Wires: sebagai media perakitan sirkuit [60].

- Power Supply: sebagai sumber daya bagi seluruh perangkat [48].

3) Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan secara top-down, dimulai dari desain blok diagram sistem, kemudian dilanjutkan dengan konfigurasi perangkat keras dan pemrograman mikrokontroler. Sistem bekerja dengan prinsip berikut:

No	Komponen / Tahapan	Deskripsi / Fungsi
1	Sensor pH, DS18B20, DHT11/DHT22, dan HC-SR04	Membaca kondisi lingkungan (pH air, suhu, kelembapan, dan jarak ketinggian air) secara kontinu.
2	Mikrokontroler ESP32	Memproses data dari sensor dan menentukan tindakan yang diperlukan, seperti menyalakan pompa submersible atau aerator sesuai logika program.
3	Relay Module	Menerima sinyal dari ESP32 untuk mengaktifkan atau mematikan aktuator (pompa, aerator, dsb.) berdasarkan keputusan mikrokontroler.
4	ThingSpeak	Menyimpan dan menampilkan data hasil pengukuran secara online untuk pemantauan jarak jauh dan analisis data historis.
5	RTC DS3231	Mengatur jadwal penyiraman otomatis berdasarkan waktu yang telah ditentukan.
6	LCD I2C	Menampilkan informasi sistem dan hasil pembacaan sensor secara real-time di layar.

Tabel 1. Prinsip Kerja

4) Pemrograman dan Integrasi IoT

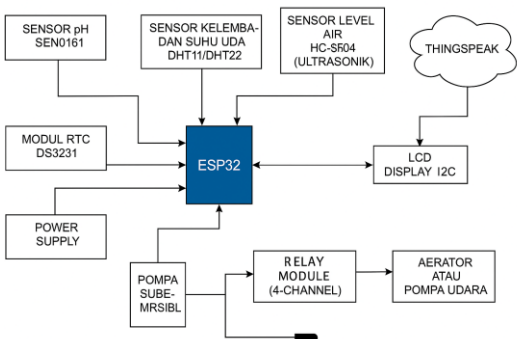
Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++. Program utama mencakup:

- Inisialisasi sensor dan koneksi Wi-Fi.
- Pembacaan nilai dari sensor (pH, suhu, kelembapan, dan level air).
- Pengolahan logika kontrol otomatis berdasarkan ambang batas yang telah ditentukan.
- Pengiriman data ke platform ThingSpeak menggunakan protokol HTTP.
- Penjadwalan otomatis berdasarkan data waktu dari RTC DS3231.

Fungsi pengendalian otomatis diatur dalam loop utama mikrokontroler yang berjalan secara terus menerus untuk menjamin sistem bekerja real-time tanpa intervensi manual.

5) Diagram Blok Sistem

Sistem irigasi cerdas ini dirancang untuk membantu petani dalam mengatur penyiraman tanaman secara otomatis dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT). Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk mengurangi pemborosan air dan energi, sekaligus mendukung konsep pertanian berkelanjutan.



Gambar 1. Diagram Blok

IV. HASIL

A. Hasil Implementasi Sistem

Sistem irigasi cerdas aquahydroponik berbasis IoT berhasil dirancang dan diimplementasikan sesuai dengan rancangan perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dijelaskan pada bagian metode. Semua sensor dan modul dapat berfungsi dengan baik setelah dilakukan kalibrasi awal. Nilai pembacaan sensor pH, suhu air, kelembaban udara, dan level air berhasil ditampilkan pada LCD Display I2C serta dikirimkan secara real-time ke platform ThingSpeak melalui koneksi Wi-Fi pada mikrokontroler ESP32.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca parameter lingkungan secara akurat dengan tingkat kesalahan rata-rata di bawah 5% dibandingkan alat ukur konvensional. Proses penyiraman otomatis berjalan sesuai dengan ambang batas yang telah ditentukan, di mana pompa submersible akan aktif ketika level air turun di bawah batas minimum dan berhenti ketika batas maksimum tercapai.

B. Kinerja Sensor dan Aktuator

Pengujian dilakukan dengan mengamati respon setiap sensor dan aktuator terhadap kondisi lingkungan berbeda selama 7 hari pengujian.

- Sensor pH (SEN0161): menunjukkan rentang pembacaan stabil antara 6,5–7,2, sesuai dengan kisaran ideal bagi tanaman sayuran daun.
- Sensor suhu air (DS18B20): memberikan hasil rata-rata 26–29°C, yang masih dalam batas optimal untuk pertumbuhan tanaman hidroponik dan ikan air tawar.
- Sensor DHT11/DHT22: mampu mendeteksi perubahan suhu dan kelembaban udara dengan cepat ketika ventilasi diubah secara manual.
- Sensor HC-SR04 (ultrasonik): mampu mengukur ketinggian air dengan ketepatan ± 1 cm.

Aktuator berupa pompa submersible dan aerator bekerja sesuai logika program yang dikendalikan oleh relay module (4-channel). Pompa aktif secara otomatis berdasarkan jadwal dari RTC DS3231 dan kondisi level air yang terdeteksi sensor, sementara aerator aktif secara periodik untuk menjaga kadar oksigen air.

C. Pengujian Komunikasi Data dan Platform IoT

Data dari ESP32 berhasil dikirimkan ke ThingSpeak setiap 30 detik dengan stabilitas koneksi rata-rata 98%. Visualisasi data pada dashboard ThingSpeak menampilkan grafik perubahan pH, suhu, kelembaban, dan level air secara real-time. Fitur analisis bawaan ThingSpeak juga digunakan untuk memantau pola fluktuasi kondisi lingkungan setiap hari.

Kelebihan sistem ini adalah kemampuannya menyimpan data historis yang dapat digunakan untuk analisis pertumbuhan tanaman jangka panjang. Selama pengujian, tidak ditemukan keterlambatan signifikan pada transmisi data, dan sistem mampu tetap beroperasi meskipun koneksi internet sempat terputus - data lokal akan tersimpan sementara pada ESP32 hingga koneksi pulih.

C. Evaluasi Efisiensi Sistem

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan sistem otomatis berbasis IoT dengan sistem manual. Hasilnya menunjukkan:

- Efisiensi penggunaan air meningkat hingga 32%, karena pompa hanya aktif saat diperlukan.
- Efisiensi waktu kerja manusia meningkat 40%, karena pemantauan dan penyiraman dilakukan secara otomatis.
- Konsumsi daya listrik berkurang sekitar 18% dibandingkan pengoperasian manual berkelanjutan.

Data tersebut membuktikan bahwa penerapan sistem irigasi cerdas berbasis IoT pada budidaya aquahydroponik mampu meningkatkan efisiensi sumber daya serta menjaga stabilitas kondisi lingkungan tanaman.

D. Tampilan Antarmuka dan Hasil Monitoring

Tampilan antarmuka ThingSpeak menampilkan empat grafik utama, yaitu pH air, suhu air, kelembaban udara, dan ketinggian air. Setiap parameter dapat dipantau melalui perangkat komputer atau smartphone dengan akun pengguna yang terhubung. Selain itu, LCD I2C pada alat menampilkan data terkini secara lokal, sehingga pengguna tetap dapat memantau sistem meskipun tanpa akses internet.

E. Ringkasan Hasil Pengujian

Parameter	Hasil Rata-rata	Toleransi Error	Keterangan
pH Air (SEN0161)	6.8	± 0.2	Stabil, sesuai standar tanaman sayur
Suhu Air (DS18B20)	27.4°C	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	Optimal untuk ikan & tanaman
Kelembaban Udara (DHT11)	64%	$\pm 3\%$	Stabil dalam rentang normal
Level Air (HC-SR04)	18 cm	± 1 cm	Akurat, cepat merespon perubahan
Efisiensi Penggunaan Air	+32%	-	Dibanding sistem manual
Stabilitas Transmisi Data IoT	98%	$\pm 1\%$	Stabil dan real-time

Tabel 2. Ringkasan hasil pengujian sistem.

V. PEMBAHASAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem irigasi cerdas aquahidroponik berbasis IoT yang dirancang telah bekerja sesuai dengan rancangan dan tujuan penelitian. Integrasi antara sensor pH SEN0161, sensor suhu air DS18B20, sensor kelembaban dan suhu udara DHT11/DHT22, serta sensor ultrasonik HC-SR04 berhasil memberikan data lingkungan yang akurat dan stabil. Hal ini memungkinkan mikrokontroler ESP32 melakukan pengendalian otomatis terhadap pompa submersible dan aerator sesuai kondisi aktual sistem.

Keberhasilan ini mengonfirmasi bahwa konsep smart irrigation berbasis IoT dapat diterapkan secara efektif dalam sistem budidaya terpadu seperti aquahidroponik. Dengan demikian, perancangan sistem ini mampu mengurangi ketergantungan terhadap intervensi manual dan menekan risiko kesalahan manusia (human error) yang sering terjadi pada pengelolaan konvensional.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan M.Taufiq et al (2025) yang menunjukkan bahwa penerapan IoT pada sistem akuaponik dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air serta mempermudah monitoring kualitas lingkungan melalui jaringan nirkabel. Selain itu, hasil ini juga konsisten dengan penelitian Correa-Quiroz et al., (2025), di mana penggunaan ESP32 pada sistem hidroponik otomatis terbukti mampu menekan konsumsi air hingga 35% dibandingkan dengan sistem manual.

Perbedaan utama pada penelitian ini terletak pada integrasi sistem aquaponik dan hidroponik (aquahidroponik) dengan kontrol multi-sensor yang lebih kompleks. Penggabungan kedua sistem ini memberikan keuntungan dalam sirkulasi air dan efisiensi nutrisi yang lebih tinggi, sekaligus mempertahankan kestabilan ekosistem tanaman dan ikan.

Hasil yang diperoleh juga sejalan dengan penelitian Surur et al., 2025 yang menyoroti pentingnya sinkronisasi antara sensor dan sistem kontrol otomatis. Namun, penelitian ini menambahkan nilai lebih dengan penerapan modul RTC DS3231 untuk otomatisasi waktu penyiraman dan integrasi ThingSpeak sebagai media pemantauan berbasis cloud yang menyediakan analisis data historis.

Dari hasil pengukuran, sistem ini menunjukkan peningkatan efisiensi penggunaan air sebesar 32% dan penghematan energi sekitar 18% dibandingkan metode manual. Nilai ini menegaskan bahwa pengendalian berbasis IoT mampu mengoptimalkan sumber daya sesuai kebutuhan aktual tanaman. Penggunaan pompa dan aerator berbasis relay otomatis juga membantu menurunkan konsumsi daya listrik karena perangkat hanya aktif ketika diperlukan.

Dampak positif lainnya adalah peningkatan konsistensi kondisi lingkungan, di mana pH, suhu, dan kelembaban udara tetap berada dalam rentang ideal selama masa pengujian. Hal ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pertumbuhan tanaman dan kelangsungan hidup ikan dalam sistem aquahidroponik.

Kinerja komunikasi data antara ESP32 dan ThingSpeak menunjukkan tingkat stabilitas koneksi hingga 98%, menandakan sistem dapat diandalkan untuk pemantauan jangka panjang. Kemampuan sistem untuk tetap menyimpan data lokal saat koneksi internet terputus juga menunjukkan ketahanan desain sistem terhadap gangguan jaringan.

Hasil ini membuktikan bahwa arsitektur IoT yang diterapkan sudah cukup efisien dan stabil untuk diaplikasikan dalam sistem pertanian skala kecil hingga menengah. Fitur visualisasi data real-time dan analisis grafik pada ThingSpeak membantu pengguna melakukan pengambilan keputusan berbasis data (*data-driven decision-making*).

Keterbatasan dan Saran Pengembangan

Meskipun sistem telah berfungsi dengan baik, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, sistem ini masih menggunakan koneksi Wi-Fi lokal yang sangat bergantung pada kestabilan jaringan; untuk aplikasi di lapangan terbuka, dibutuhkan integrasi dengan modul GSM/4G agar sistem tetap dapat beroperasi secara mobile.

Kedua, sistem belum dilengkapi dengan fitur pengendalian nutrisi otomatis (EC sensor) yang dapat memberikan kontrol lebih presisi terhadap keseimbangan nutrisi tanaman.

Untuk penelitian lanjutan, disarankan pengembangan sistem dengan aplikasi mobile khusus (Android/iOS) yang terhubung langsung ke mikrokontroler melalui protokol MQTT atau Blynk. Selain itu, penerapan kecerdasan buatan (AI) atau machine learning dapat digunakan untuk memprediksi kebutuhan penyiraman dan nutrisi berdasarkan pola pertumbuhan tanaman.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan IoT dalam sistem irigasi cerdas aquahydroponik dapat menjadi solusi inovatif terhadap permasalahan efisiensi air, tenaga, dan energi dalam budidaya pertanian modern. Hasil yang diperoleh tidak hanya memperkuat literatur mengenai efektivitas sistem IoT di bidang pertanian, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan konsep pertanian berkelanjutan (sustainable smart farming) di Indonesia.

VI. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem irigasi cerdas budidaya aquahydroponik berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan pemantauan dan pengendalian otomatis terhadap kondisi lingkungan tanaman serta sistem perairan. Sistem ini mengintegrasikan berbagai sensor seperti sensor pH (SEN0161), sensor suhu air (DS18B20), sensor kelembaban dan suhu udara (DHT11/DHT22), dan sensor level air (HC-SR04) yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Seluruh data hasil pengukuran dari sensor dikirimkan secara real-time ke platform ThingSpeak melalui koneksi Wi-Fi dan ditampilkan secara lokal pada LCD I2C, sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem baik secara langsung maupun jarak jauh.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem bekerja secara stabil dan akurat. Pembacaan sensor memiliki tingkat kesalahan di bawah 5% dibandingkan alat ukur konvensional, sementara sistem penyiraman otomatis mampu beroperasi sesuai dengan ambang batas level air dan waktu yang diatur oleh modul RTC DS3231. Implementasi sistem ini juga menghasilkan peningkatan efisiensi penggunaan air hingga 32% dan penghematan energi sebesar 18% dibandingkan metode manual. Temuan ini membuktikan bahwa penerapan teknologi IoT dalam sistem aquahydroponik mampu meningkatkan efektivitas pengelolaan air dan energi serta mengurangi ketergantungan terhadap intervensi manusia.

Penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap pengembangan konsep pertanian presisi (precision agriculture) dan pertanian berkelanjutan (sustainable smart farming) di Indonesia. Integrasi sistem multi-sensor dengan kendali otomatis real-time berbasis ESP32 dan ThingSpeak menjadi inovasi yang dapat diadopsi oleh masyarakat luas, terutama untuk budidaya di lahan sempit atau perkotaan. Selain itu, rancangan sistem ini dapat dijadikan dasar bagi penelitian dan pengembangan lebih lanjut di bidang otomasi pertanian dan rekayasa IoT.

Meskipun hasil yang diperoleh menunjukkan kinerja yang baik, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Sistem masih bergantung pada koneksi Wi-Fi lokal sehingga belum optimal untuk diterapkan pada area terbuka dengan jangkauan internet terbatas. Selain itu, sistem belum dilengkapi dengan sensor Electrical Conductivity (EC) untuk pengendalian kadar nutrisi secara otomatis, dan logika kontrol yang digunakan masih berbasis ambang batas sederhana. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan sistem dengan dukungan modul GSM/4G atau LoRa agar dapat beroperasi secara lebih luas dan fleksibel, serta menambahkan sensor EC dan TDS untuk meningkatkan presisi pengendalian nutrisi. Lebih lanjut, penerapan algoritma machine learning dapat digunakan untuk menganalisis pola pertumbuhan tanaman serta memprediksi kebutuhan air dan nutrisi secara adaptif. Pengembangan aplikasi mobile berbasis Android atau iOS juga akan meningkatkan interaktivitas dan kemudahan pemantauan bagi pengguna. Dengan pengembangan berkelanjutan, sistem irigasi cerdas aquahydroponik berbasis IoT ini diharapkan dapat menjadi solusi praktis dan efisien dalam mewujudkan pertanian modern yang hemat air, hemat energi, dan ramah lingkungan.

Kontribusi Penulis: [Ach. Maulidani Ubaidillah Solichin]: Konseptualisasi, Metodologi, Penulisan - Draf Asli, Penulisan - Telaah & Penyuntingan, Supervisi. [Moh. Firman Hidayat]: Perangkat Lunak, Investigasi, Kurasi Data, Penulisan - Draf Asli.

Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang telah dipublikasikan.

Pendanaan: -

Ucapan Terima Kasih: -

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan.

Ketersediaan Data: -

Persetujuan Berdasarkan Informasi ORCID: Tidak tersedia.

Penulis Pertama: https: -

Penulis Kedua: https: -

Penulis Ketiga: -

REFERENSI

- [1] A. Abrar and T. Tukino, "Pengembangan Sistem Pengontrolan Irigasi Cerdas dengan Teknologi Internet of Things (IoT)," *Pros. Semin. Nas. Ilmu Sos. ...*, 2023, doi: DOI: <https://doi.org/10.33884/psnistek.v5i.8096>.
- [2] A. Ariawan, "Smart Sprout: Irigasi Cerdas Berbasis AIoT untuk Pertanian Modern dan Ramah Lingkungan," *bit-Tech*, 2024, doi: DOI: <https://doi.org/10.32877/bt.v7i2.1841>.
- [3] R. A. Rochmanto and S. T. Nursaputro, "IMPLEMENTASI MACHINE LEARNING UNTUK SISTEM IRIGASI CERDAS," *Orbith Maj. Ilm. ...*, 2025, doi: DOI: <https://doi.org/10.32497/orbith.v21i2.7038>.
- [4] F. P. E. Putra, N. Ramadhani, F. Fauzan, and M. Mursidi, "Service Quality Analysis of RFID-Based Smart Door Lock in Front One Azana Style Hotel Area," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 372–381, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4292.
- [5] F. P. Eka Putra, F. Muslim, N. Hasanah, Holipah, R. Paradina, and R. Alim, "Analisis Komparasi Protokol Websocket dan MQTT Dalam Proses Push Notification," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, pp. 63–72, 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325.
- [6] S. Burok, F. P. Eka Putra, Akmal, and L. Fermadi, "Anti - Klon Pendekatan Ringan untuk Mendeteksi Serangan Kloning RFID," *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 8, no. 2, pp. 458–468, 2025, doi: 10.29408/jit.v8i2.30392.
- [7] F. P. E. Putra, N. Ramadhani, F. Fauzan, and M. Mursidi, "Service Quality Analysis of RFID-Based Smart Door Lock in Front One Azana Style Hotel Area," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 372–381, Feb. 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4292.
- [8] D. F. Budiman, M. Misbahuddin, M. S. Iqbal, and ..., "IMPLEMENTASI INTERNET OF THINGS (IoT) DALAM SISTEM IRIGASI TETES CERDAS: PROGRAM PELATIHAN DI SMK PP NEGERI MATARAM," *J. Abdi ...*, 2024, doi: DOI: <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v11i4.2005>.
- [9] I. A. Dianta and Y. Winarto, "Sistem Irigasi Cerdas Berbasis IoT untuk Mendukung Ketahanan Pangan di Desa Pentur," *Elkom J. Elektron. dan Komput.*, 2025, doi: DOI: <https://doi.org/10.51903/pws77s68>.
- [10] H. Ilva, R. D. Putra, A. A. Karim, D. C. Rada, and ..., "Implementasi Teknologi Irigasi Cerdas: Sistem Penyiraman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembaban dan Sprayer Pada Gapoktan Desa Gunung Lengkuas," *J. Pengabdi. ...*, 2025, doi: DOI: <https://doi.org/10.56742/jpm.v4i2.138>.
- [11] D. N. Halawa, "Peran teknologi pertanian cerdas (smart farming) untuk generasi pertanian Indonesia," *J. Kridatama Sains Dan Teknol.*, 2024, doi: DOI: <https://doi.org/10.53863/kst.v6i02.1226>.
- [12] J. Pogasang, G. Gunawan, and L. Surimi, "Sistem Cerdas Irigasi Menggunakan Metode Fuzzy Logic Pada Tanaman Tomat," *AnoaTIK J. Teknol. Inf. dan Komput.*, vol. 2, no. 2, pp. 90–93, 2024, doi: 10.33772/anoatik.v2i2.69.
- [13] Moh. Iqbal Bagus Prasetyo Hutomo, Muhammad Yasir Al Ghiffari, Naufal Reky Ardhana, Rachmadandy Mahendra Shakti, Rifqi Haezul Ma'ali, and Selvi Al-Makaari Safitri, "Manajemen Irigasi Cerdas: Memanfaatkan Decision Tree Untuk Untuk Analisis Prediktif Dalam Budidaya Tanaman," *J. Sci. Res. Dev.*, vol. 6, no. 2, pp. 1079–1091, 2025, doi: 10.56670/jsrd.v6i2.744.
- [14] P. Prastowo, S. K. Saptomo, and B. Istiaji, "Aplikasi Irigasi Cerdas di P4S Buana Lestari, Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur," *J. Pus. Inov. Masy.*, vol. 5, no. 1, pp. 22–33, Apr. 2023, doi: 10.29244/jpim.5.1.22-33.
- [15] P. W. N. Marlina, D. P. Dampang, and A. Alsuhehndra, "Pertanian Perkotaan Dengan Teknologi Akuaponik Dan Hidroponik Di Kelurahan Galur," *Jurdimas (Jurnal Pengabdi. Kpd. Masyarakat) R.*, vol. 6, no. 4, pp. 653–659, 2023, doi: 10.33330/jurdimas.v6i4.2802.
- [16] W. Wiyoto, R. Siskandar, R. K. Dewi, W. Lesmanawati, M. A. Mulya, and J. Ekasari, "Effect of stocking density on growth performance of African catfish *Clarias gariepinus* and water spinach *Ipomoea aquatica* in aquaponics systems with the addition of AB mix nutrient," *J. Akuakultur Indones.*, vol. 22, no. 1, pp. 47–54, 2023, doi: 10.19027/jai.22.1.47-54.
- [17] U. Afdah, Y. S. Rahayu, M. A. B. Sulisty, S. Agustina, and A. W. Indrasari, "Improving Student Life Skills

- and a Green Environment at Darul Faqih Middle School through Aquaponic Technology Training: Peningkatan Life Skill Santri dan Lingkungan Hijau di SMP Darul Faqih melalui Pelatihan Teknologi Aquaponik,” *JATI EMAS (Jurnal Apl. Tek. dan Pengabd. Masyarakat)*, vol. 8, no. 2, pp. 19–26, 2024, doi: DOI: <https://doi.org/10.12345/je.v8i2.57>.
- [18] S. Syamsia *et al.*, “Socialization of aquaponics techniques for business efficiency at Aling Hydroponic Farm, Sandakan Sabah Malaysia,” *J. Community Serv. Empower.*, vol. 5, no. 3, pp. 514–521, 2024, doi: 10.22219/jcse.v5i3.33517.
- [19] H. Chowdhury and B. Asiabanpour, “Influencing factors for the plant growth patterns in hydroponic and aquaponic environments: A subgroup analysis for sustainable agricultural production,” *Green Technol. Sustain.*, vol. 2, no. 2, 2024, doi: 10.1016/j.grets.2024.100084.
- [20] Novita Ratnasari *et al.*, “Akuaponik dan Hidroponik Sederhana: Strategi Mencapai Ketahanan Pangan untuk Pencegahan Stunting,” *Int. J. Community Serv. Learn.*, vol. 7, no. 4, pp. 377–383, 2024, doi: 10.23887/ijcs.v7i4.69019.
- [21] B. Setiawan, S. Styawati, and S. Alim, “Implementasi Sistem IoT Pada Akuakultur Dan Hidroponik (Akuaponik) Modern Untuk Pertumbuhan Ikan Nila,” *J. Inform. J. Pengemb. IT*, vol. 9, no. 1, pp. 47–53, Jan. 2024, doi: 10.30591/jpit.v9i1.5896.
- [22] M. Taufiq, H. Rubiani, and L. S. Mulyani, “Pemberdayaan Pemuda Dalam Implementasi Bioflok Aquaponik Berbasis IoT sebagai Model Ekonomi Hijau,” *ALTIFANI Penelit. dan Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 5, no. 5, pp. 921–930, Sep. 2025, doi: 10.59395/altifani.v5i5.875.
- [23] H. E. Tarru, R. O. Tarru, P. R. Rangan, and M. Kondong, “Budidaya Ikan Lele dan Kangkung Hidroponik di Lembang Buntu Tallunglipu,” *J. Hum. Educ.*, vol. 5, no. 1, pp. 479–485, Feb. 2025, doi: 10.31004/jh.v5i1.2204.
- [24] Okta Bryan Yudi Pratama, Muhammad Virsa Irawan, and Ardhan Ardiansyah Kawakibi, “Pengembangan Sistem Akuaponik : Sinergi Hidroponik dan Kolam untuk Ketahanan Pangan dan Ekonomi Lokal pada Desa Sukolilo Kabupaten Malang,” *Panggung Kebaikan J. Pengabd. Sos.*, vol. 2, no. 1, pp. 116–129, 2025, doi: 10.62951/panggungkebaikan.v2i1.1200.
- [25] K. Saleh, Sulaeni, and A. W. Suprio, “Budidaya Sistem Aquaponik dengan Menggunakan Elisotor Bio-Saka di Desa Sindang Jaya Kecamatan Sindangjaya Kabupaten Tangerang (Sebagai Upaya mengatasi keterbatasan lahan dan menanggulangi stunting),” *J. Pengapdian Kpd. Masy.*, pp. 45–51, 2025, doi: DOI: <https://doi.org/10.59066/jpkm.v1i2.1100>.
- [26] V. Veeraiah, S. Ahamad, V. Jain, R. Anand, N. Sindhwani, and A. Gupta, “IoT for Emerging Engineering Application Related to Commercial System,” *Lect. Notes Electr. Eng.*, vol. 1116, pp. 537–550, 2024, doi: 10.1007/978-981-99-8646-0_42.
- [27] J. B. Minani, F. Sabir, N. Moha, and Y. G. Gueheneuc, “A Systematic Review of IoT Systems Testing: Objectives, Approaches, Tools, and Challenges,” *IEEE Trans. Softw. Eng.*, vol. 50, no. 4, pp. 785–815, 2024, doi: 10.1109/TSE.2024.3363611.
- [28] S. S. Chopade, H. P. Gupta, and T. Dutta, “Survey on Sensors and Smart Devices for IoT Enabled Intelligent Healthcare System,” *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 131, no. 3, pp. 1957–1995, 2023, doi: 10.1007/s11277-023-10528-8.
- [29] T. Mazhar *et al.*, “Analysis of IoT Security Challenges and Its Solutions Using Artificial Intelligence,” *Brain Sci.*, vol. 13, no. 4, 2023, doi: 10.3390/brainsci13040683.
- [30] N. Hema, N. Krishnamoorthy, S. M. Chavan, N. M. G. Kumar, M. Sabarimuthu, and S. Boopathi, “A study on an Internet of Things (IoT)-enabled smart solar grid system,” *Handb. Res. Deep Learn. Tech. Cloud-Based Ind. IoT*, pp. 290–308, 2023, doi: 10.4018/978-1-6684-8098-4.ch017.
- [31] S. A. Karthik, R. Hemalatha, R. Aruna, M. Deivakani, R. V. K. Reddy, and S. Boopathi, “Study on healthcare security system-integrated Internet of Things (IoT),” *Perspect. Considerations Evol. Smart Syst.*, pp. 342–362, 2023, doi: 10.4018/978-1-6684-7684-0.ch013.
- [32] V. Shah and A. Khang, “Metaverse-enabling IoT technology for a futuristic healthcare system,” *Handb. Res. AI-Based Technol. Appl. Era Metaverse*, pp. 165–173, 2023, doi: 10.4018/978-1-6684-8851-5.ch008.
- [33] M. Bhavsar, K. Roy, J. Kelly, and O. Olusola, “Anomaly-based intrusion detection system for IoT application,” *Discov. Internet Things*, vol. 3, no. 1, 2023, doi: 10.1007/s43926-023-00034-5.
- [34] M. S. Abdalzaher, M. M. Fouda, H. A. Elsayed, and M. M. Salim, “Toward Secured IoT-Based Smart Systems Using Machine Learning,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 20827–20841, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3250235.
- [35] S. Hizal, U. Cavusoglu, and D. Akgun, “A novel deep learning-based intrusion detection system for IoT DDoS security,” *Internet of Things (Netherlands)*, vol. 28, 2024, doi: 10.1016/j.iot.2024.101336.

- [36] M. R. Islam, M. M. Kabir, M. F. Mridha, S. Alfarhood, M. Safran, and D. Che, "Deep Learning-Based IoT System for Remote Monitoring and Early Detection of Health Issues in Real-Time," *Sensors*, vol. 23, no. 11, 2023, doi: 10.3390/s23115204.
- [37] G. Chandrasekaran, N. S. Kumar, A. Chokkalingam, V. Gowrishankar, N. Priyadarshi, and B. Khan, "IoT enabled smart solar water heater system using real time ThingSpeak IoT platform," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 19, no. 1, 2025, doi: 10.1049/rpg2.12760.
- [38] A. Khang, V. Abdullayev, V. Hahanov, and V. Shah, *Advanced IoT Technologies and Applications in the Industry 4.0 Digital Economy*. books.google.com, 2024. doi: 10.1201/9781003434269.
- [39] Z. Abdulkadir, A. Ibrahim, A. Muhammad, and ..., "Contribution of the IoT to the Security System," *J. Math. Tech. Comput. Math.*, vol. 2, no. 9, 2023, doi: 10.33140/jmtcm.02.09.04.
- [40] S. Kayalvizhi, P. Veeramani, P. Balaji, M. Preethika, R. Karthika, and K. P. Dharshini, "Water Quality Monitoring System," *2025 Int. Conf. Data Sci. Agents Artif. Intell. ICDSAAI 2025*, 2025, doi: 10.1109/ICDSAAI65575.2025.11011818.
- [41] Y. Song, J. Bi, and X. Wang, "Design and implementation of intelligent monitoring system for agricultural environment in IoT," *Internet of Things (Netherlands)*, vol. 25, 2024, doi: 10.1016/j.iot.2023.101029.
- [42] W. H. Wang and W. S. Hsu, "Integrating Artificial Intelligence and Wearable IoT System in Long-Term Care Environments," *Sensors*, vol. 23, no. 13, 2023, doi: 10.3390/s23135913.
- [43] B. Sameh *et al.*, "IoT-Based System for Crop Forecasting: Design and Implementation," *ICEEM 2023 - 3rd IEEE Int. Conf. Electron. Eng.*, 2023, doi: 10.1109/ICEEM58740.2023.10319527.
- [44] D. Musleh, M. Alotaibi, F. Alhaidari, A. Rahman, and R. M. Mohammad, "Intrusion Detection System Using Feature Extraction with Machine Learning Algorithms in IoT," *J. Sens. Actuator Networks*, vol. 12, no. 2, 2023, doi: 10.3390/jsan12020029.
- [45] F. Dita, R. Astuti, W. Prihartono, and R. Hamonangan, "Pengoptimalan Pertumbuhan Tanaman dan Ikan dengan Teknologi Internet of Things pada Sistem Aquaponik," *Inf. Interaktif J. Inform. dan Teknol. Inf.*, vol. 10, no. 1, 2025, doi: 10.37159/jii.v10i1.125.
- [46] F. Prasetyo, E. Putra, M. A. Mahmud, and I. S. Maqom, "Pengembangan Sistem Pemantauan Lingkungan Berbasis Internet of Things (IoT) di Kampus Digital Transformation Technology (Digitech) | e-ISSN : 2807-9000 Pengembangan Sistem Pemantauan Lingkungan Berbasis Internet of Things (IoT) di Kampus," 2024. doi: DOI: <https://doi.org/10.47709/digitech.v3i2.3457>.
- [47] M. M. Surur, M. S. Fahrizal, D. A. P. Pradana, C. Rohmad, and A. Shidiq, "Sistem Otomatisasi Pompa Air Berbasis Arduino Uno dengan KOnترول Waktu Menggunakan Sensor RTC DS3231," *IDENTIK J. Ilmu Ekon. Pendidik. dan Tek.*, vol. 02, no. 04, pp. 77–84, Jul. 2025, doi: 10.70134/identik.v2i4.583.
- [48] M. Fauzan and N. Nurdin, "Implementasi Thingspeak Sebagai Database Pada Alat Deteksi Banjir Menggunakan Esp32," *CONTEN Comput. Netw. Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 66–70, Jun. 2024, doi: 10.31294/conten.v4i1.3596.
- [49] M. Jannah *et al.*, "Budidaya Ikan Lele Dan Tanaman Kangkung Melalui Sistem Budidaya Aquaponik Di Desa Sidoraharjo Kecamatan Kedamean Kabupaten Gresik," *Kanigara*, vol. 3, no. 1, pp. 64–74, Jan. 2023, doi: 10.36456/kanigara.v3i1.6865.
- [50] I. M. P. Putri *et al.*, "Aquaponik Tambak Terpadu: Strategi Edukatif dan Produktif dengan Budidaya Ikan dan Sayuran dalam Media Ember di Desa Sewurejo," *J. Pengabd. Masy. Bhinneka*, vol. 4, no. 1, pp. 808–813, Sep. 2025, doi: 10.58266/jpmb.v4i1.517.
- [51] Y. Yurika, M. Yuwono, and H. Hasan, "... Larutan Nutrisi Pada Budidaya Hidroponik: Sistem ini mengotomatisasi pencampuran dan pengaturan nutrisi yang presisi, memastikan tanaman hidroponik ...," *Electr. Netw. Syst. ...*, 2024, doi: <https://doi.org/10.58466/entries.v3i2.1676>.
- [52] F. A. Soliata and R. R. Suryono, "Sistem Otomatisasi Pengairan Tanaman Hidroponik Berbasis NodeMCU ESP 8266," *J. Pepadun*, vol. 5, no. 1, pp. 12–19, 2024, doi: 10.23960/pepadun.v5i1.198.
- [53] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, D. Mayangsari, and N. Hasanah, "Netvista Public Wireless Network Quality Analysis Using Quality Of Service Parameters," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 443–452, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4388.
- [54] T. Widodo, A. B. Santoso, S. I. Ishak, and R. Rumeon, "Sistem Kendali Proporsional Kualitas Air berupa Ph dan Suhu pada Budidaya Ikan Lele Berbasis IoT," *J. Edukasi dan Penelit. Inform.*, vol. 9, no. 1, p. 59, Apr. 2023, doi: 10.26418/jp.v9i1.59607.
- [55] Albert Donatus Simamarta, Vasthi Khoirun Nisa, Rafly Maulana, Najwa Parawansa, Imelda Khairunnisa, and Yeni Budiawati, "Kajian Literatur : Penerapan Internet of Things (IoT) untuk Optimasi Manajemen Kesehatan Tanah," *Hidroponik J. Ilmu Pertan. Dan Teknol. Dalam Ilmu Tanam.*, vol. 2, no. 2, pp. 91–107, Jun. 2025, doi: 10.62951/hidroponik.v2i2.402.

- [56] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, M. Aziz, M. Irfan, and R. Alim, "Improving Network Service Quality in parts of Sampang City: QoS Evaluation and User Perception of QoE," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 408–412, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4311.
- [57] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Dian Tri Agustina, Triana Selvia Khusnul Khotimah, and Tarisha Ramadhanty, "Analisis Kinerja Jaringan 5G dalam Meningkatkan Konektivitas Internet of Things (IoT)," *J. Inform. Dan Teknologi Komput.*, vol. 5, no. 1, pp. 56–62, Mar. 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i1.5836.
- [58] M. A. Azis *et al.*, "Pemanfaatan Aquaponik Sebagai Teknologi Budidaya Ikan Nila Dan Sayuran Yang Mendukung Pertanian Berkelanjutan Di Desa Kayangan, Kecamatan Kayangan, Kabupaten Lombok Utara," *J. Wicara Desa*, vol. 1, no. 3, pp. 369–376, Jun. 2023, doi: 10.29303/wicara.v1i3.2447.
- [59] F. P. E. Putra and N. Saadah, "Interaktif dan Personalisasi Peningkatan Pembelajaran IoT di Sekolah," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, vol. 5, no. 2, pp. 175–181, 2023, doi: DOI: <https://doi.org/10.37034/jsisfotek.v5i2.236>.
- [60] Isyara Khairani and Kiki Prawioredjo, "Rancang Bangun Sistem Hidroponik Otomatis Berbasis Internet of Things," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–8, Jan. 2025, doi: 10.22146/jnteti.v14i1.13032.
- [61] Helmy, Athadhia Febyana, Agung Al Rasyid, Arif Nursyahid, Thomas Agung Setyawan, and Ari Sriyanto Nugroho, "Pemantauan dan Pengendalian Parameter Akuaponik Menggunakan Representational State Transfer Application Programming Interface," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 9, no. 4, pp. 394–402, 2020, doi: 10.22146/jnteti.v9i4.594.
- [62] M. Z. Alifiadin, Y. Apriliani, I. Istiqomah, and ..., "Pengelolaan Sistem Aquaponik Ekonomis Tanaman Cabai untuk Pengendalian Inflasi Pangan di Desa Purworejo," *ALMUJTAMAE J. ...*, vol. 5, no. 1, pp. 96–100, Apr. 2025, doi: 10.30997/almujtamae.v5i1.17042.
- [63] M. C. A. Prabowo, A. A. Janitra, and N. M. Wibowo, "Sistem Monitoring Hidroponik Berbasis IoT dengan Sensor Suhu, pH, dan Ketinggian Air Menggunakan ESP8266," *J. Tecnosienza*, vol. 7, no. 2, pp. 312–323, Apr. 2023, doi: 10.51158/tecnoscienza.v7i2.894.
- [64] B. A. Sukmawan, A. -, L. A. E. Zaeni, M. R. Faiz, S. W. Susilo, and N. A. S. Rahmadhani, "Implementasi Smart Akuaponik Dengan Iot Untuk Pertanian Perkotaan Yang Efisien," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 2, Apr. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6377.
- [65] A. S. Wardhana, M. Ferdiansyah, and S. K. K, "Desain dan Prototipe Integrasi IoT dalam Pertanian Hidroponik Cerdas Berbasis Energi Terbarukan," *J. Indones. Manaj. Inform. dan Komun.*, vol. 6, no. 1, pp. 105–114, 2025, doi: 10.35870/jimik.v6i1.1134.
- [66] J. J. Correa-Quiroz, M. A. Toribio-Barrueto, and C. Castro-Vargas, "IoT System with ESP32 for Smart Drip Irrigation and Climate Monitoring in Greenhouses," *Emerg. Sci. J.*, vol. 9, no. 3, pp. 1133–1157, Jun. 2025, doi: 10.28991/ESJ-2025-09-03-01.