



Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id



Smart Aquaculture: Implementasi Sistem Internet of Things untuk Monitoring dan Kontrol Otomatis Budidaya Tambak Udang

Aidil Afriansyah ^{a,1}, Hafiz Budi Firmansyah ^a, Ilham Firman Ashari ^a, Diang Adistya ^b, Munti Sarida ^c, Herri Gusmedi ^d, Resty Annisa ^d

^a Teknik Informatika, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan

^b Ilmu Administrasi Bisnis, Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1, Gedong Meneng, Bandar Lampung

^c Budidaya Perairan, Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1, Gedong Meneng, Bandar Lampung

^d Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1, Gedong Meneng, Bandar Lampung

INFORMASI ARTIKEL

ABSTRAK

Riwayat artikel:

Diterima 11/11/2025

Direvisi 12/12/2025

Kata kunci:

Smart Aquaculture,
Internet of Things,
Monitoring,
Tambak Udang,
Usability,

Budidaya udang merupakan sektor strategis yang berperan penting dalam perekonomian Indonesia, namun masih menghadapi tantangan, seperti pemantauan kualitas air kolam dan pemberian pakan yang masih dilakukan secara manual. Penelitian ini mengimplementasikan sistem Smart Aquaculture berbasis Internet of Things (IoT) untuk monitoring dan kontrol otomatis pada tambak udang (Studi Kasus: CV Sebalang Berkah). Sistem dirancang dengan arsitektur tiga lapisan, menggunakan modul ESP32 sebagai gateway, layanan backend Google Firebase, dan antarmuka pengguna berbasis website yang dikembangkan menggunakan metode Rapid Application Development (RAD). Sistem website memungkinkan visualisasi data real-time, pengaturan threshold otomatis, dan kontrol terhadap aktuator seperti pelontar pakan dan kincir air. Evaluasi kinerja sistem difokuskan pada perbandingan hasil Pengujian Hardware dan Pengujian Software. Hasil verifikasi sensor menunjukkan akurasi tinggi dengan nilai error rata-rata di bawah 2% untuk semua parameter, mengonfirmasi keandalan data. Pengujian fungsionalitas (*Black Box*) mencapai 100% keberhasilan pada semua fitur kontrol otomatis dan monitoring, menegaskan validitas integrasi hardware-software. Selanjutnya, pengujian *Usability* menggunakan *System Usability Scale (SUS)* menghasilkan skor tinggi 85.5, menempatkan sistem dalam kategori 'Acceptable' (Grade A-). Hasil ini menunjukkan bahwa sistem IoT yang dikembangkan terbukti andal, efektif, dan mudah digunakan, memberikan solusi matang dan terintegrasi untuk mengoptimalkan efisiensi dan keberlanjutan budidaya udang modern.

¹ Penulis korespondensi.

E-mail: aidil.afriansyah@if.itera.ac.id

1. Pendahuluan

Budidaya udang adalah salah satu komoditas strategis yang memainkan peran penting sebagai penyumbang devisa dan ketahanan pangan nasional Indonesia. Produksi bergantung pada kondisi lingkungan tambak stabil dan ideal (Kumar et al., 2024; Tzu et al., 2024). Udang dapat mengalami stres, penurunan tingkat pertumbuhan, dan penyakit jika parameter kualitas air seperti suhu, pH, salinitas, dan kekeruhan berada di luar batas aman (Baena-Navarro et al., 2025; Kanwal et al., 2024). Oleh karena itu, untuk mempertahankan kualitas air dalam rentang yang ideal, diperlukan pemantauan yang konsisten dan intervensi yang cepat (Hemal et al., 2024).

Namun, banyak orang masih mengelola tambak tradisional. Ini terlihat di CV Sebalang Berkah, Kelompok Budidaya Tambak Udang di Pringsewu, Lampung. Penjadwalan pemberian pakan dan pemantauan kualitas air masih dilakukan secara manual berdasarkan observasi visual atau jadwal rutin. Metode konvensional memiliki beberapa keterbatasan yang signifikan. Ini memakan waktu dan tenaga dan rentan terhadap kesalahan manusia. Selain itu, itu tidak memungkinkan respons real-time terhadap perubahan yang tiba-tiba, yang pada akhirnya dapat menyebabkan pertumbuhan udang yang buruk (Aynuddin et al., 2023; Jimsan & Mardawati, 2023). Solusi berbasis teknologi diperlukan untuk meningkatkan efektivitas operasional (Mustafa et al., 2021).

Solusi disruptif dari Internet of Things (IoT) mendorong pertanian pintar (Biazi & Marques, 2023; Yadav et al., 2022). Data lingkungan tambak dapat diakses dan dianalisis secara otomatis dan berkelanjutan dengan menambahkan sensor, mikrokontroler (seperti ESP32), dan sistem informasi berbasis cloud (seperti Google Firebase) (Alwansyah & Fahrurrozi, 2024; Selvaganesh et al., 2024). Studi sebelumnya menunjukkan bahwa Internet of Things dapat meningkatkan hasil panen dan efisiensi perikanan (Adi et al., 2024; Daud et al., 2022). Studi ini berfokus pada pengembangan sistem Internet of Things (IoT) yang bertujuan untuk mengumpulkan dan menyajikan data kualitas air secara real-time serta mengotomatisasi kontrol perangkat penting seperti aerator (kincir air) dan pelontar pakan (Mawardi et al., 2024; Prasad & Sumalatha, 2023).

Penelitian ini berfokus pada dua elemen utama dengan penekanan khusus pada pengembangan sistem Internet of Things (IoT) untuk melacak dan mengontrol tambak udang secara otomatis dan mengimplementasikan mereka. Pertama, Metode Rapid Application Development (RAD) digunakan dalam pengembangan software untuk membuat antarmuka

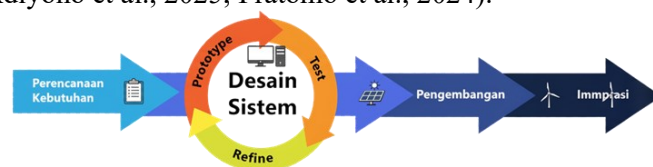
yang fungsional, mudah dipahami, dan teruji kegunaan pengguna. Selanjutnya, melalui pengujian verifikasi hardware (Akurasi Sensor) dan pengujian validasi software (Fungsionalitas dan Integrasi Sistem), mereka memberikan evaluasi kinerja yang menyeluruh. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menunjukkan bahwa sistem IoT secara keseluruhan andal, mulai dari akurasi data masukan hingga eksekusi perintah otomatisasi. Ini akan membantu petambak CV Sebalang Berkah mengoptimalkan operasional mereka dan meningkatkan hasil budidaya udang mereka (Syauqy et al., 2022).

2. Metodologi

Perancangan arsitektur sistem IoT, implementasi hardware dan software, dan prosedur pengujian yang menekankan pada dua komponen—verifikasi hardware dan validasi software—adalah bagian dari metodologi penelitian yang digunakan.

2.1 Metode Pengembangan Sistem

Sistem informasi, atau aplikasi web sebagai antarmuka pengguna, dikembangkan dengan Metode Pengembangan Aplikasi Cepat (RAD). Metode ini dipilih karena memungkinkan pengembangan prototipe yang cepat dan adaptif, yang ideal untuk proyek yang memerlukan umpan balik langsung dari pengguna akhir (petambak CV Sebalang Berkah) untuk memastikan fungsionalitas dan pengalaman pengguna yang optimal (Adiyono et al., 2025; Pratomo et al., 2024).



Gambar 1. Metode RAD

2.2 Arsitektur Smart Aquaculture IoT dibangun dengan tiga lapisan arsitektur:

Persepsi Lapisan (Perangkat Keras): Pengumpulan data dan eksekusi perintah dilakukan oleh lapisan ini. Komponen utamanya adalah sensor kualitas air dan aktuator, termasuk pelontar pakan dan kincir air, yang dihubungkan ke mikrokontroler ESP32 DevKitC V4 melalui jalur jaringan. Dengan koneksi internet yang stabil, data sensor ESP32 dikirim ke server pusat. Lapisan ini menjamin komunikasi data yang cepat dalam waktu nyata.

Application Layer (Website System): Lapisan ini berfungsi sebagai tempat penyimpanan dan visualisasi data. Data didistribusikan melalui antarmuka web pengguna setelah disimpan di database real-time Google Firebase.

2.3 Implementasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

2.3.1 Perangkat Keras

Implementasi hardware mencakup pemasangan komponen utama, di antaranya:

1. Sensor Kualitas Air: Mencakup Sensor pH, Sensor Suhu (DS18B20), Sensor Salinitas/TDS, dan Sensor Kekeruhan untuk memantau parameter krusial tambak.
2. Mikrokontroler: Menggunakan ESP32 sebagai otak sistem yang bertugas membaca data sensor, memproses logika kontrol, dan mengirimkan data ke cloud.
3. Aktuator: Modul Relay dihubungkan ke pelontar pakan dan kincir air untuk memungkinkan kontrol otomatis dan manual.

2.3.2 Perangkat Lunak

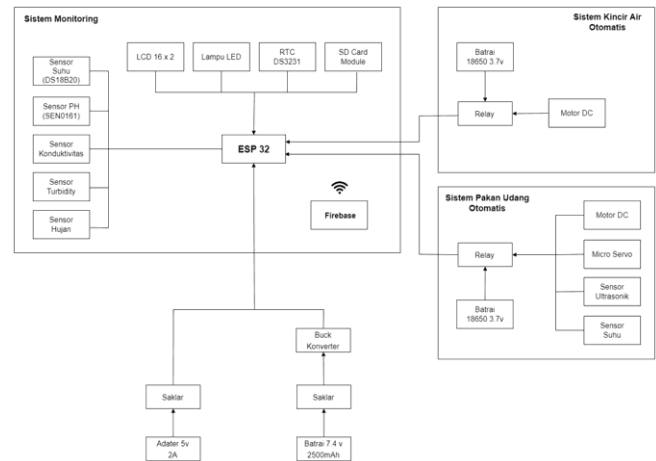
Software utama adalah aplikasi website yang berfungsi sebagai dashboard sistem. Fitur-fitur utamanya mencakup:

1. Monitoring Real-Time: Menampilkan nilai Suhu, pH, Salinitas, dan Kekeruhan secara up-to-date.
2. Kontrol Otomatis: Memungkinkan pengguna menetapkan batas atas dan bawah (threshold) untuk setiap parameter. Logika kontrol pada backend Firebase akan memicu aktuator (misalnya, mengaktifkan kincir air jika kadar oksigen/kekeruhan berada di luar ambang batas).
3. Notifikasi Peringatan: Sistem memberikan notifikasi kepada pengguna jika terjadi anomali atau kondisi kritis di tambak.
4. Data Historis: Menyediakan fitur pelaporan dan grafik interaktif untuk analisis tren jangka panjang.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan mencakup perancangan arsitektur sistem IoT, implementasi hardware dan software, serta prosedur pengujian yang ditekankan pada dua aspek krusial: verifikasi hardware dan validasi software.

2.1 Arsitektur Sistem IoT



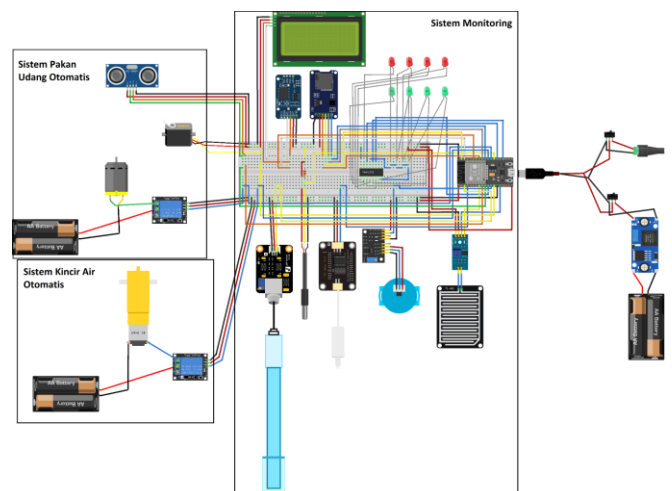
Gambar 2. Alur sistem IoT

Sistem Smart Aquaculture dirancang berdasarkan arsitektur tiga lapisan (Layered Architecture):

1. Perception Layer (Perangkat Keras): Lapisan ini bertanggung jawab untuk pengumpulan data dan eksekusi perintah. Komponen utamanya meliputi sensor-sensor kualitas air dan aktuator (pelontar pakan dan kincir air) yang dihubungkan ke mikrokontroler ESP32 DevKitC V4.
2. Network Layer: Data sensor dari ESP32 dikirim ke server pusat menggunakan koneksi internet yang stabil. Lapisan ini memastikan komunikasi data real-time yang cepat.
3. Application Layer (Sistem Website): Lapisan ini merupakan pusat penyimpanan dan presentasi data. Data disimpan di database real-time Google Firebase, yang kemudian divisualisasikan melalui antarmuka website bagi pengguna.

2.2 Implementasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

2.2.1 Perangkat Keras



Gambar 3. Rancangan hardware

Implementasi hardware mencakup pemasangan komponen utama, di antaranya:

Sensor Kualitas Air: Mencakup Sensor pH, Sensor Suhu (DS18B20), Sensor Salinitas/TDS, dan Sensor Kekeruhan untuk memantau parameter krusial tambak.

Mikrokontroler: Menggunakan ESP32 sebagai otak sistem yang bertugas membaca data sensor, memproses logika kontrol, dan mengirimkan data ke cloud.

Aktuator: Modul Relay dihubungkan ke pelontar pakan dan kincir air untuk memungkinkan kontrol otomatis dan manual.

2.2.2 Perangkat Lunak

Software utama adalah aplikasi website yang berfungsi sebagai dashboard sistem. Fitur-fitur utamanya mencakup:

Monitoring Real-Time: Menampilkan nilai Suhu, pH, Salinitas, dan Kekeruhan secara up-to-date.

Kontrol Otomatis: Memungkinkan pengguna menetapkan batas atas dan bawah (threshold) untuk setiap parameter. Logika kontrol pada backend Firebase akan memicu aktuator (misalnya, mengaktifkan kincir air jika kadar oksigen/kekeruhan berada di luar ambang batas).

Notifikasi Peringatan: Sistem memberikan notifikasi kepada pengguna jika terjadi anomali atau kondisi kritis di tambak.

Data Historis: Menyediakan fitur pelaporan dan grafik interaktif untuk analisis tren jangka panjang.

2.3 Prosedur Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk menjamin keandalan sistem dari sisi data masukan hingga fungsionalitas antarmuka.

2.3.1 Pengujian Verifikasi Hardware (Akurasi Sensor)

Fase ini bertujuan memvalidasi akurasi sensor yang digunakan terhadap alat ukur standar yang telah terkalibrasi.

Pengujian Sensor pH: Dilakukan menggunakan larutan buffer standar (misalnya pH 6.85 dan pH 9.14) untuk menentukan error kalibrasi.

Pengujian Sensor Suhu dan Salinitas: Dilakukan pada berbagai titik sampel air dengan perbandingan menggunakan termometer digital standar dan refraktometer.

2.3.2 Pengujian Validasi Software (Fungsionalitas dan Integrasi Sistem)



Gambar 4. Halaman Sensor

Fase ini menekankan pengujian sistem website dan logika kontrol otomatis.

Black Box Testing: Digunakan untuk memvalidasi setiap fungsionalitas pada software (seperti monitoring, kontrol otomatis, dan notifikasi) dengan menggunakan teknik Equivalence Partitioning dan Boundary Value Analysis untuk memastikan kesesuaian sistem dengan spesifikasi. Pengujian ini secara khusus memverifikasi integrasi end-to-end (data sensor masuk - software memproses - software mengeluarkan perintah kontrol).

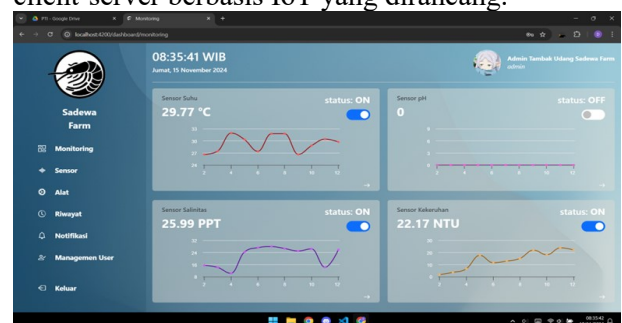
Usability Testing: Dilakukan menggunakan System Usability Scale (SUS) untuk mengukur tingkat kemudahan penggunaan dan kepuasan pengguna (petambak) terhadap antarmuka website yang telah dikembangkan.

3. Hasil dan pembahasan

Hasil dan pembahasan penelitian ini disajikan dalam tiga sub-bagian utama, dimulai dari hasil implementasi sistem secara keseluruhan, diikuti dengan hasil pengujian verifikasi data (hardware), dan diakhiri dengan hasil pengujian validasi fungsionalitas dan integrasi sistem (software).

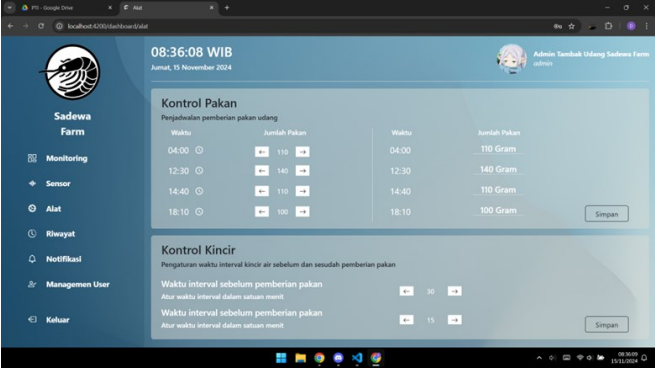
3.1. Hasil Implementasi Sistem

Sistem Smart Aquaculture telah berhasil diimplementasikan di Kelompok Budidaya Tambak Udang CV Sebalang Berkah sesuai dengan arsitektur client-server berbasis IoT yang dirancang.



Gambar 5. Halaman Dashboard

Implementasi Hardware: Unit mikrokontroler ESP32 berhasil diintegrasikan dengan empat sensor kualitas air (pH, Suhu, Salinitas, dan Kekeruhan) dan aktuator (Relay Module untuk kincir air dan komponen servo/motor untuk pelontar pakan). Perangkat ini dipasang pada tambak untuk operasional 24 jam.



Gambar 6. Halaman Kontrol Pakan dan Kincir

Implementasi Software: Aplikasi mobile/website berhasil dikembangkan menggunakan Google Firebase sebagai database real-time dan backend. Aplikasi ini berfungsi sebagai dashboard utama yang memiliki fitur kunci, yaitu Pemantauan Kualitas Air Secara Real-Time, Kontrol Otomatis (berdasarkan threshold), Notifikasi Peringatan, dan Penyimpanan Data Historis.

3.2. Hasil Pengujian Verifikasi Data (Akurasi Sensor)



Gambar 7. Pengujian Hardware

Pengujian ini adalah pengujian Verifikasi Hardware, yang bertujuan memastikan keandalan data masukan sebelum diproses oleh sistem software. Prosedur pengujian sensor dilakukan dengan membandingkan nilai yang dihasilkan oleh sensor IoT dengan nilai yang dibaca oleh alat ukur standar laboratorium pada berbagai sampel uji (larutan buffer, larutan garam terukur, dan air pada suhu berbeda).

Tabel 1 menyajikan ringkasan hasil pengujian akurasi sensor:

Parameter	Sensor Uji	Alat Ukur Standar	Rata-Rata Selisih (Error)	Kesimpulan
Suhu (°C)	DS18B20	Termometer Standar	0.81%	Akurasi Tinggi
pH	Sensor pH	Larutan Buffer (pH 6.85 & 9.14)	1.05%	Akurasi Tinggi
Salinitas (PPT)	Sensor Salinitas	Refraktometer	1.40%	Cukup Akurat
Kekeruhan (NTU)	Turbidity Sensor	Turbidimeter Standar	1.88%	Memadai

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sensor yang digunakan memiliki nilai error rata-rata di bawah batas toleransi 2% untuk aplikasi aquaculture cerdas. Akurasi tinggi ini sangat krusial, karena data yang akurat menjadi fondasi bagi sistem software untuk mengeksekusi perintah kontrol otomatis dan memberikan informasi yang benar kepada petambak.

3.3. Hasil Pengujian Validasi Sistem (Fungsionalitas dan Usability)

Fase ini merupakan pengujian Validasi Software dan integrasi sistem secara end-to-end. Pengujian dibagi menjadi Black Box Testing (fungsionalitas) dan Usability Testing. Diuji pada kolam eksperimen kolam tambak dengan ukuran 2 x 1 m.

3.3.1. Pengujian Fungsionalitas (Black Box Testing)

Black Box Testing dilakukan untuk memvalidasi setiap use case utama sistem mobile/website, termasuk mekanisme kontrol otomatis dan notifikasi.. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk memastikan bahwa perangkat lunak bekerja sesuai dengan harapan pengguna (A. Almufarrid & R. K. Niswatin, 2023).

Tabel 2. Ringkasan Hasil Black Box Testing

Fitur yang Diuji	Skenario Uji	Hasil Uji	Persentase Keberhasilan
Monitoring Real-time	Memastikan data sensor ditampilkan di <i>dashboard</i> dalam < 5 detik.	Berhasil	100%
Kontrol Otomatis Kincir Air	Memastikan <i>aerator</i> menyala otomatis saat pH < <i>threshold</i> yang diatur di <i>software</i> .	Berhasil	100%
Kontrol Otomatis Pakan	Memastikan pelontar pakan aktif tepat sesuai jadwal yang diatur di <i>software</i> .	Berhasil	100%
Penerimaan Notifikasi	Memastikan notifikasi terkirim saat suhu air melebihi ambang batas.	Berhasil	100%

Hasil Black Box Testing menunjukkan tingkat keberhasilan fungsionalitas 100%. Angka ini memvalidasi bahwa integrasi antara hardware (pengirim data) dan software (prosesor logika dan eksekutor perintah) berjalan sempurna, memungkinkan kontrol yang andal dan tepat waktu.

3.3.2. Pengujian Usability (System Usability Scale - SUS)

Untuk menilai tingkat penerimaan dan kemudahan penggunaan aplikasi mobile/website oleh petambak CV Sebalang Berkah, digunakan metode System Usability Scale (SUS). Aspek-aspek penting dalam *usability*, seperti kemudahan penggunaan, kejelasan, dan konsistensi antarmuka (Nasrulloh Isnain, et al., 2021).

Nilai SUS Rata-Rata: 85.5

Kategori Kualitas: *Excellent*

Grade Skala: A

Nilai SUS 85.5 berada jauh di atas rata-rata penerimaan (Acceptability Threshold ~ 70). Melibatkan sebanyak 30 responden pengelola tambak. Ini menunjukkan bahwa antarmuka sistem yang dikembangkan dengan Metode RAD berhasil menghasilkan user experience yang sangat baik, sehingga petambak yang sebelumnya menggunakan metode konvensional dapat dengan mudah mengadopsi dan mengoperasikan sistem smart aquaculture ini [2].

4. Kesimpulan

Implementasi sistem Smart Aquaculture berbasis Internet of Things (IoT) untuk monitoring dan kontrol otomatis budidaya tambak udang di CV Sebalang Berkah telah berhasil divalidasi dan terbukti andal dalam operasionalnya. Keberhasilan sistem ini didukung oleh validasi dua aspek pengujian krusial: Pengujian Verifikasi Hardware menunjukkan akurasi tinggi pada sensor kualitas air (Suhu, pH, Salinitas, Kekeruhan) dengan error rata-rata di bawah 2%, memberikan fondasi data yang kuat. Selanjutnya, Pengujian Validasi Software menegaskan fungsionalitas sistem yang sempurna, dicapai dengan 100% keberhasilan pada Black Box Testing untuk fitur kontrol otomatis (pelontar pakan dan kincir air), serta penerimaan pengguna yang tinggi dengan skor Usability (SUS) 85.5. Dengan integrasi yang efektif antara hardware yang akurat dan software yang fungsional, sistem ini memberikan solusi yang matang untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi risiko kegagalan panen, mendukung transformasi budidaya udang menuju praktik smart farming.

Ucapan terima kasih

Tim Peneliti mengucapkan Terima Kasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi, Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, atas dukungan pendanaan melalui skema Hilirisasi Riset-Pengujian Model dan Prototipe TA 2025 dengan Nomor kontrak 2246e/IT9.2.1/PM.01.03/2025. sehingga kegiatan riset prototipe ini dapat berjalan dengan lancar dan tim dapat mewujudkan inovasi pengembangan prototipe ini.

Daftar Pustaka

- Adi, P. D. P., Wirawan, A., Susilo, S. A. B., Zulkarnain, R., Lusastuti, A. M., Mahabror, D., Prastiyono, Y., Ardi, I., Novita, H., Waryanto, Pratama, I. M., Adji, R. P. H., & Suyoto, S. (2024). Smart aquaculture vaname shrimp lorawan based. <https://doi.org/10.1109/icitri62858.2024.10699135>
- Alwansyah, & Fahrurrozi, A. (2024). Implementasi internet of thing (iot) sistem monitoring kualitas air shrimp farming vaname pada aplikasi berbasis android. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa (Edisi Elektronik)*, 29(1), 71-85. <https://doi.org/10.35760/tr.2024.v29i1.11227>
- Aynuddin, Triyatmo, B., & Rakhmanda, A. (2023). Towards a customizable and cost-effective monitoring system for vannamei shrimp cultivation. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1289/1/012024>

- Baena-Navarro, R., Carriazo-Regino, Y., Torres-Hoyos, F., & López, J. W. P. (2025). Intelligent prediction and continuous monitoring of water quality in aquaculture: Integration of machine learning and internet of things for sustainable management. *Water*, 17(1), 82-82. <https://doi.org/10.3390/w17010082>
- Biazi, V., & Marques, C. (2023). Industry 4.0-based smart systems in aquaculture: A comprehensive review. *Aquacultural Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2023.102360>
- Daud, M. S. N. H., Patchmuthu, R. K., & Wan, A. T. (2022). Automated iot based smart aquaculture shrimp farming in brunei. <https://doi.org/10.1145/3524304.3524322>
- Hemal, M. M., Rahman, A., Nurjahan, Islam, F., Ahmed, S., Kaiser, M. S., & Ahmed, M. E. (2024). An integrated smart pond water quality monitoring and fish farming recommendation aquabot system. *Sensors*, 24(11), 3682-3682. <https://doi.org/10.3390/s24113682>
- Jimsan, J., & Mardawati, M. (2023). Jaringan fog untuk pemantauan real time kualitas air tambak udang. *Jurnal Teknologi Sistem Informasi dan Sistem Komputer* TGD. <https://doi.org/10.53513/jsk.v6i2.8315>
- Kanwal, S., Abdullah, M., Kumar, S., Arshad, S. H., Shahroz, M., Zhang, D., & Kumar, D. (2024). An optimal internet of things-driven intelligent decision-making system for real-time fishpond water quality monitoring and species survival. *Sensors*, 24(23), 7842-7842. <https://doi.org/10.3390/s24237842>
- Kumar, S., Saxsena, V., & Wattal, S. (2024). The role of iot in transforming the shrimp industry in andhra pradesh. <https://doi.org/10.53555/kuey.v30i5.6018>
- Mawardi, M., Sihombing, P. M., & Yudisha, N. (2024). An internet of things-based pump and aerator control system. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v34.i2.pp848-860>
- Mustafa, S., Shaleh, S. R. M., Shapawi, R., Estim, A., Fui, C. F., Ibrahim, A. A. A., Tuzan, A. D., Seng, L. L., Ann, C. C., Jimat, A., & Japar, B. (2021). Application of fourth industrial revolution technologies to marine aquaculture for future food: Imperatives, challenges and prospects. <https://doi.org/10.36956/SMS.V3I1.378>
- Prasad, K. S., & Sumalatha, A. (2023). An integrated wireless aquaculture monitoring and feed management system. <https://doi.org/10.1109/ICCMC56507.2023.10084236>
- Selvaganesh, M., Jeevagan, A., Kishore, B., & Prithiviraj, S. (2024). Iot based real-time prototype design for smart aquaculture ecosystem monitoring using esp32. <https://doi.org/10.1109/icoici62503.2024.10696610>
- Setiawan, B. R. (2023). Penerapan quality function deployment (qfd) pada desain smart aquaculture untuk sektor tambak udang vaname berbasis iot. *Journal of Information System Research (JOSH)*, 4(2), 522-531. <https://doi.org/10.47065/josh.v4i2.2806>
- Syauqy, D., Hanggara, B. T., Purnomo, W., Putra, W. H. N., & Prasetya, N. W. (2022). Automated continuous iot-based monitoring system for vaname shrimp cultivation management. *Computer Engineering and Applications*, 11(2), 89-100. <https://doi.org/10.18495/comengapp.v11i2.402>
- Tzu, N. L., Farha, W. A. R. W. E., Musa, N., Rifqi, M. M., Hidayati, S., Pratiwi, H., Aris, N. A. M., Musa, N., Rasid, R., Aziz, M. F. H. A., Musa, N., & Lani, M. N. (2024). Sensing technologies and automation: Revolutionizing aquaculture towards sustainability and resilience. <https://doi.org/10.37934/sijaff.1.1.1018b>
- Yadav, A., Noori, M. T., Biswas, A., & Min, B. (2022). A concise review on the recent developments in the internet of things (iot)-based smart aquaculture practices. *Reviews in fisheries science & aquaculture*, 31(1), 103-118. <https://doi.org/10.1080/23308249.2022.2090228>
- Adiyono, B. D. P., Najaf, A. R. E., & Permatasari, R. (2025). Information system development for web-based creative services e-commerce using rapid application development method. *bit-Tech*, 8(1), 501-512. <https://doi.org/10.32877/bt.v8i1.2615>
- Pratomo, A., Risa, M., & Irawan, A. (2024). Enhancing intellectual property information system quality with rad and fmcdm. *KnE Social*

Sciences.

<https://doi.org/10.18502/kss.v9i19.16471>

<https://proceeding.unpkediri.ac.id/index.php/stain/article/view/2855>

A. Almufarrid dan R. K. Niswatin, “Testing Blackbox Untuk Kelayakan Sistem Pemilihan Siswa Unggulan,” *Stain. (Seminar Nas. Teknol. Sains)*, vol. 2, no. 1, hal. 59–66, 2023.

Nasrulloh Isnain, H. Sulaiman, dan R. Rahmatika, “Pengujian Usability Pada Aplikasi Auto Reply For Messenger Menggunakan SUS,” *Explorer (Hayward)*., vol. 1, no. 2, hal. 71–80, 2021, doi: 10.47065/explorer.v1i2.97