E-ISSN: 3025-0994
Halaman 5554-5562
Volume 4 Nomor 4 Tahun 2026

Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas dan Ketinggian Air Tambak Udang Berbasis (IoT) Dengan Decision Tree

Wahyu Al Hidayat[1], Mustarum Musaruddin[2] Bambang Pramono[3]

[1,2,3] Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo, Kendari
e-mail: wahyualhidayat11@gmail.com

Abstrak

Pemantauan kualitas air tambak udang di banyak tempat masih dilakukan secara manual sehingga memboroskan waktu dan tenaga serta berisiko terlambat dalam mengambil tindakan koreksi. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem pemantauan kualitas dan ketinggian air tambak udang berbasis Internet of Things yang mampu mengklasifikasikan kondisi air dengan algoritma pohon keputusan C4.5. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 yang membaca sensor suhu DS18B20, sensor pH, sensor padatan terlarut total, dan sensor ultrasonik HC-SR04. Data dikirim ke platform ThingSpeak setiap 30 detik dan notifikasi dikirim melalui Telegram setiap satu menit, sedangkan pompa pengisian, pompa pembuangan, dan servo penutup atap bekerja secara otomatis. Pengembangan mengikuti tahap inception, elaboration, construction, dan transition pada skala prototipe. Sebanyak 90 data pengamatan dibagi menjadi 72 data latih dan 18 data uji dengan metode hold-out, kemudian kondisi air diklasifikasikan ke dalam kelas baik, sedang, dan buruk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketinggian air dan suhu air merupakan atribut penentu utama, pH berperan sebagai atribut pendukung, dan padatan terlarut total tidak membentuk pohon karena seluruh nilainya berada pada kategori normal. Model mencapai akurasi 90,28 persen berdasarkan matriks konfusi pada 72 data, dengan presisi terendah pada kelas buruk sebesar 0,7917. Akurasi sensor padatan terlarut total, pH, ketinggian air, dan suhu air terhadap alat pembanding berturut-turut adalah 98,91; 96,44; 94,66; dan 93,02 persen. Sistem ini dapat membantu petambak memantau kondisi tambak tanpa pemeriksaan manual berulang.

Kata Kunci: Internet Of Things, Tambak Udang, Pohon Keputusan, Thingspeak, ESP32

Abstract

Water quality monitoring in shrimp ponds is still carried out manually in many places, which consumes time and effort and delays corrective action. This study aimed to design and build an Internet of Things-based system for monitoring water quality and water level in a shrimp pond that classifies water conditions using the C4.5 decision tree algorithm. The system used an ESP32 microcontroller connected to a DS18B20 temperature sensor, a pH sensor, a total dissolved solids sensor, and an HC-SR04 ultrasonic sensor. Data were sent to the ThingSpeak platform every 30 seconds and Telegram notifications were delivered every minute, while the filling pump, the drain pump, and the roof servo were operated automatically. The development followed the inception, elaboration, construction, and transition phases at prototype scale. Ninety observations were divided into 72 training records and 18 testing records using the hold-out method, and water conditions were classified as good, fair, or poor. The results show that water level and water temperature are the most decisive attributes, pH acts as a supporting attribute, and total dissolved solids does not enter the tree because all of its values fall in the normal category. The model reaches an accuracy of 90.28 percent on the confusion matrix of 72 records, with the lowest precision of 0.7917 in the poor class. The accuracy of the total dissolved solids, pH, water level, and temperature sensors against reference instruments is 98.91, 96.44, 94.66, and 93.02 percent, respectively.

Keywords: Internet Of Things, Shrimp Pond, Decision Tree, Thingspeak, ESP32

LATAR BELAKANG

Budidaya udang merupakan usaha perikanan yang bernilai ekonomi tinggi karena permintaan pasarnya besar, baik di dalam maupun di luar negeri. Produktivitas dan laju pertumbuhan udang sangat ditentukan oleh faktor lingkungan, antara lain suhu, pH, dan ketinggian air, sehingga kestabilan ekosistem tambak yang sesuai dengan toleransi biologis udang menjadi syarat penting untuk menekan angka kematian dan menjaga mutu panen (Komarudin dkk., 2021). Nilai pH yang tidak sesuai dapat membuat udang stres, menurunkan nafsu makan, memudahkan serangan penyakit, bahkan menyebabkan kematian dalam jumlah besar, sehingga pemantauan pH perlu dilakukan secara rutin (Sulistyo dkk., 2025). Pada praktiknya, pengukuran kualitas dan tinggi muka air tambak umumnya masih dilakukan secara manual sehingga memakan waktu dan menguras tenaga pembudidaya (Pasaribu dkk., 2024).

Teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan sensor membaca kondisi air secara otomatis dan mengirimkan hasilnya ke perangkat digital secara waktu nyata. ThingSpeak merupakan salah satu platform daring yang menyimpan, mengolah, dan menampilkan data sensor sehingga petambak dapat mengakses kondisi tambak kapan saja dan dari mana saja (Hutabarat dkk., 2023; Albar dkk., 2025). Pendekatan ini telah dimanfaatkan dalam berbagai penelitian. Chairi dkk. (2024) mengukur suhu, pH, dan kekeruhan air tambak intensif serta menampilkan peringatan pada dasbor web, Haryanti dkk. (2024) mengirimkan data pH, salinitas, suhu, dan oksigen terlarut ke aplikasi Blynk, Khazil dan Khadafi (2025) memadukan sensor pH dan oksigen terlarut dengan relay dan pompa untuk mengendalikan kualitas air, sedangkan Chuzaini dkk. (2022) menggabungkan sensor suhu, pH, dan *total dissolved solids* (TDS). Sistem serupa juga dikembangkan untuk tambak udang vaname (Rohim dkk., 2025; Saputro dkk., 2025), kolam bioflok (Pamungkas dkk., 2025), budidaya ikan hias dan ikan mas koki (Rohmawaty dan Widodo, 2026; Satriawan, 2023), serta akuaponik (Setiawan dkk., 2024).

Sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada penyajian nilai pengukuran atau pengendalian berbasis ambang batas, sehingga petambak masih harus menafsirkan sendiri apakah kombinasi nilai parameter yang terbaca tergolong aman atau berbahaya. Metode pohon keputusan (*decision tree*) menawarkan penyelesaian karena hasilnya berupa aturan jika-maka yang mudah dipahami (Djaja dan Arviansyah, 2023). Algoritma C4.5 telah digunakan untuk mendukung keputusan budidaya udang vaname (Tobing dkk., 2019), tetapi sependek penelusuran penulis, penerapannya pada data hasil pembacaan sensor yang terhubung dengan pengendali pompa dan penutup atap tambak masih jarang dilaporkan. Di sisi lain, penerapan teknologi di tingkat petambak masih menghadapi kendala berupa keterbatasan jaringan internet di daerah terpencil serta keterbatasan pengetahuan dan biaya (Albar dkk., 2025), dan sistem yang terhubung ke internet perlu mengamankan kredensial dan datanya (Nadya dan Syabrina, 2025; Siregar dkk., 2026).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem pemantauan kualitas dan ketinggian air tambak udang berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 (Arrahma dan Mukhaiyar, 2023) yang terhubung dengan ThingSpeak dan bot Telegram, menerapkan algoritma *Decision Tree* C4.5 untuk mengklasifikasikan kondisi air menjadi baik, sedang, dan buruk, serta mengevaluasi kinerja klasifikasi dan akurasi sensor yang digunakan. Penelitian dilakukan pada skala prototipe dan bukan pada tambak industri.

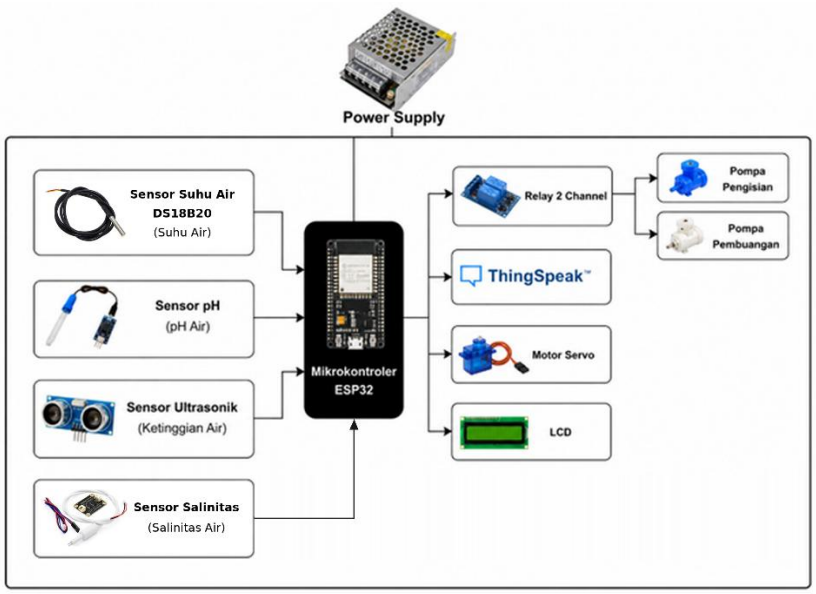
METODE

Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa berupa rancang bangun sistem yang dilaksanakan pada Juni sampai September 2026 di Laboratorium *Computer System and Networking*, Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo. Data dan informasi dikumpulkan melalui studi literatur dan observasi tambak udang. Studi literatur menyediakan landasan teori dan hasil penelitian terdahulu, sedangkan observasi digunakan

untuk mengetahui pola penjagaan kualitas air, jarak antartitik pengamatan, dan pengaruh cuaca terhadap pH air sebagai dasar perancangan sistem. Pengujian dilakukan pada prototipe tambak berupa wadah styrofoam yang diletakkan di ruang semiterbuka.

Pengembangan sistem mengikuti empat tahap, yaitu *inception*, *elaboration*, *construction*, dan *transition*. Tahap *inception* mengidentifikasi masalah, kebutuhan pengguna, dan parameter yang dipantau. Tahap *elaboration* menyusun rancangan arsitektur, alur kerja, dan pemodelan perangkat lunak menggunakan *use case diagram*, *activity diagram*, dan *class diagram*. Tahap *construction* merakit perangkat keras, memprogram mikrokontroler, dan menerapkan algoritma C4.5. Tahap *transition* mengevaluasi hasil melalui pengamatan data pemantauan, penilaian kinerja klasifikasi, dan pengujian sensor.

Arsitektur sistem ditunjukkan pada Gambar 1. Sumber tegangan AC 220 V diubah menjadi DC 12 V oleh catu daya dan diturunkan oleh modul *stepdown* untuk memenuhi kebutuhan daya ESP32 dan sensor. ESP32 membaca sensor suhu air DS18B20, sensor pH, sensor TDS, dan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk ketinggian air. Ketinggian air dihitung dari selisih jarak sensor ke dasar wadah dan jarak pantulan yang terukur, dengan kecepatan suara 0,0343 cm per mikrodetik. Keluaran sistem berupa LCD 16x2 antarmuka I2C, relay dua kanal yang mengendalikan pompa pengisian dan pompa pembuangan, serta motor servo penggerak penutup atap tambak.



Gambar 1. Arsitektur sistem monitoring kualitas dan ketinggian air tambak udang

Program ditulis menggunakan Arduino IDE. Data sensor dikirim ke ThingSpeak melalui protokol MQTT setiap 30 detik ke saluran dengan empat *field*, sedangkan notifikasi kondisi air dikirim melalui bot Telegram setiap satu menit. Nilai pH dan TDS masing-masing dibaca sepuluh kali kemudian dirata-rata untuk meredam fluktuasi, dan pengaturan waktu memakai fungsi *millis()* agar pembacaan sensor tidak terhenti saat menunggu pengiriman. Logika kendali ditetapkan sebagai berikut: pompa pengisian aktif ketika tinggi air kurang dari 14 cm, pompa pembuangan aktif ketika tinggi air lebih dari 24 cm, kedua pompa aktif bersamaan untuk mengganti air ketika tinggi air 14 sampai 24 cm dan pH lebih dari 8,0, dan atap ditutup ketika suhu air melebihi 30 °C.

Data penelitian berjumlah 90 pengamatan yang direkam langsung oleh sistem, setiap baris mewakili satu kali pengukuran suhu air, pH, ketinggian air, dan TDS. Data dibagi dengan metode *hold-out* dengan rasio 80:20 menjadi 72 data latih dan 18 data uji. Atribut numerik didiskretisasi menjadi kategori rendah, normal, dan tinggi berdasarkan batas ideal setiap parameter (Tabel 1), dan label kelas baik, sedang, atau buruk ditetapkan berdasarkan batas tersebut.

Tabel 1. Kriteria diskretisasi atribut

Atribut	Rendah	Normal	Tinggi
Suhu air (°C)	< 25	25–30	> 30
pH air	< 7 (asam)	7–8	> 8 (basa)
Ketinggian air (cm)	< 14	14–24	> 24
TDS (ppm)	< 500	500–2.000	> 2.000

Pohon keputusan dibangun dengan algoritma C4.5 pada data latih. Atribut dipilih berdasarkan rasio perolehan informasi (*gain ratio*) yang dihitung dari entropi, *information gain*, dan *split information* (Quinlan, 1993), dengan *S* adalah himpunan kasus, *A* adalah atribut, p_i adalah proporsi kelas ke-*i*, dan $|S_i|$ adalah jumlah kasus pada partisi ke-*i*.

$$\text{Entropy}(S) = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

$$\text{Gain}(S, A) = \text{Entropy}(S) - \sum_{i=1}^{n} \frac{|S_i|}{|S|} \text{Entropy}(S_i) \quad (2)$$

$$\text{SplitInfo}(S, A) = -\sum_{i=1}^{n} \frac{|S_i|}{|S|} \log_2 \frac{|S_i|}{|S|} \quad (3)$$

$$\text{GainRatio}(S, A) = \frac{\text{Gain}(S,A)}{\text{SplitInfo}(S,A)} \quad (4)$$

Kinerja klasifikasi dievaluasi dengan matriks konfusi, kemudian dihitung akurasi, presisi, *recall*, dan *F1-score* dengan *TP*, *FP*, dan *FN* berturut-turut adalah jumlah prediksi benar, positif palsu, dan negatif palsu pada kelas ke-*i*, *k* adalah jumlah kelas, dan *N* adalah jumlah data.

$$\text{Akurasi} = \frac{\sum_{i=1}^{k} TP_i}{N} \quad (5)$$

$$\text{Presisi}_i = \frac{TP_i}{TP_i + FP_i} \quad (6)$$

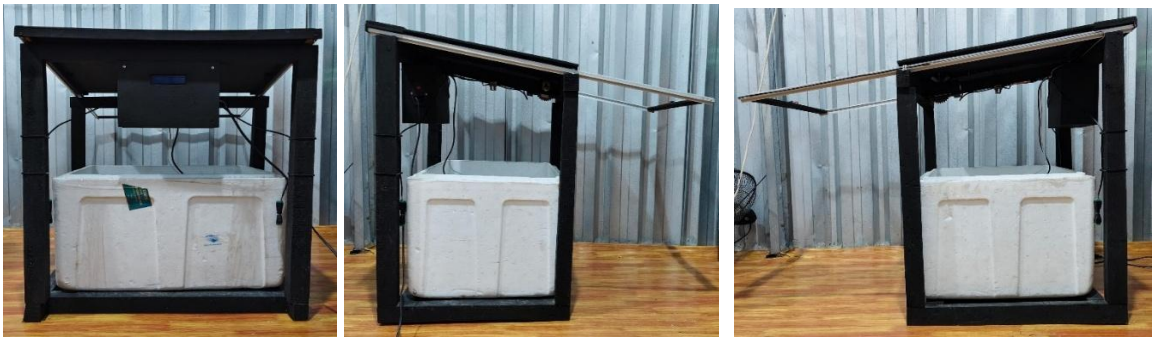
$$\text{Recall}_i = \frac{TP_i}{TP_i + FN_i} \quad (7)$$

$$\text{F1}_\text{i} = 2 \times \frac{presisi + recall}{presisi + recall} \quad (8)$$

Akurasi sensor diuji dengan membandingkan pembacaan sensor terhadap alat ukur pembanding sebanyak sepuluh kali untuk setiap sensor, yaitu TDS meter untuk sensor TDS, pH meter untuk sensor pH, penggaris untuk sensor ketinggian air, dan termometer untuk sensor suhu air. Persentase kesalahan dihitung dengan Persamaan (9) dan akurasi sensor ditetapkan sebagai 100% dikurangi rata-rata kesalahan.

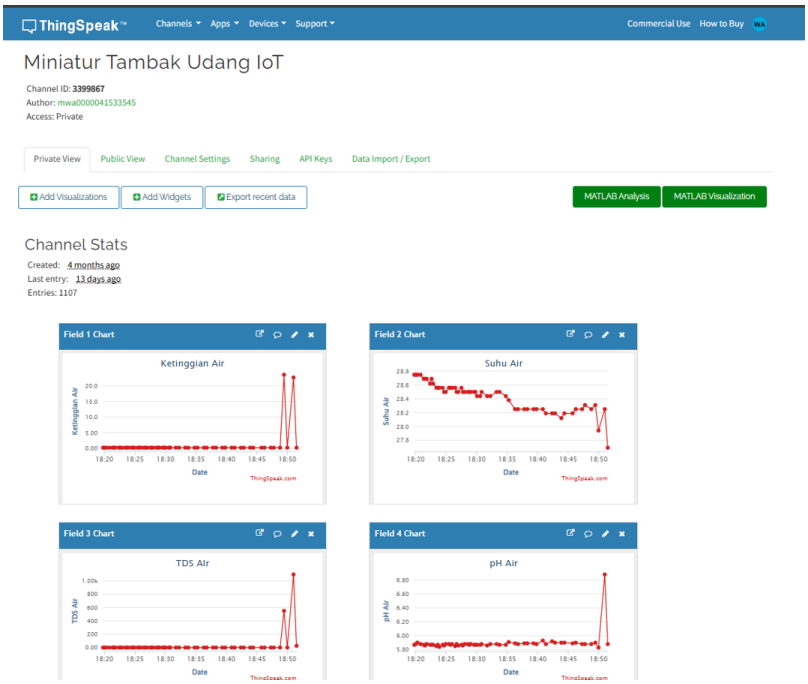
HASIL DAN PEMBAHASAN

Perangkat keras berhasil dirakit dalam bentuk prototipe tambak (Gambar 2). Rangkaian ESP32, relay, modul sensor, dan LCD ditempatkan dalam kotak kontrol berwarna hitam yang digantung di bawah atap sehingga layar mudah dibaca dari depan, sedangkan wadah styrofoam sebagai pengganti kolam diletakkan di bawahnya dengan jarak yang cukup agar komponen elektronik tidak bersentuhan dengan air. Atap penutup digerakkan motor servo melalui batang penggerak sehingga dapat membuka dan menutup otomatis. LCD menampilkan dua halaman secara bergantian: halaman pertama memuat tinggi air, suhu, TDS, dan pH, sedangkan halaman kedua memuat status pompa masuk, atap, pompa keluar, dan kondisi air.



Gambar 2. Prototipe sistem monitoring tampak depan dengan atap tertutup (kiri) dan atap terbuka (kanan)

Data sensor terkirim ke saluran ThingSpeak dan grafiknya diperbarui otomatis pada dasbor (Gambar 3), sehingga kondisi tambak dapat dipantau dari mana saja tanpa membangun server atau aplikasi web tersendiri. Hal ini sejalan dengan pemanfaatan ThingSpeak pada penelitian terdahulu (Hutabarat dkk., 2023). Pada seluruh 90 pengamatan, status aktuator konsisten dengan logika kendali: pompa pengisian aktif ketika tinggi air kurang dari 14 cm, pompa pembuangan aktif ketika tinggi air lebih dari 24 cm, kedua pompa aktif bersamaan ketika tinggi air 14 sampai 24 cm dan pH lebih dari 8,0, dan atap tertutup pada 55 pengamatan dengan suhu air di atas 30 °C serta terbuka pada 35 pengamatan lainnya.



Gambar 3. Tampilan dasbor ThingSpeak untuk suhu air, pH, ketinggian air, dan TDS

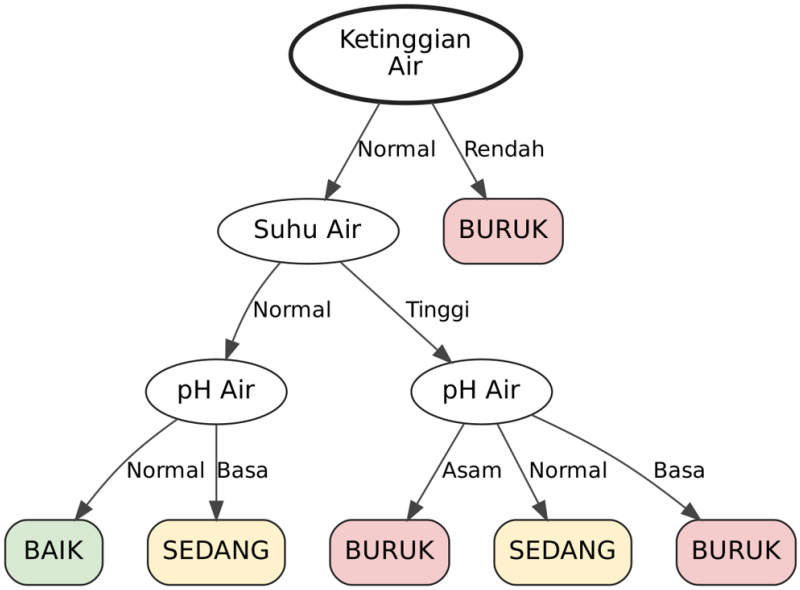
Suhu air pada 90 pengamatan berkisar 27,1–34,4 °C dengan rata-rata 30,66 °C, pH berkisar 5,5–8,7 dengan rata-rata 7,65, ketinggian air 12,0–24,0 cm dengan rata-rata 18,14 cm, dan TDS 500–1.500 ppm dengan rata-rata 957 ppm. Sebaran kelas pada seluruh data adalah 25 baik, 40 sedang, dan 25 buruk. Pada 72 data latih terdapat 16 data baik, 35 data sedang, dan 21 data buruk sehingga entropi awal bernilai 1,507. Rasio perolehan informasi setiap atribut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai information gain, split information, dan gain ratio setiap atribut

Atribut	Information gain	Split information	Gain ratio
Ketinggian air	0,256	0,544	0,471
Suhu air	0,438	0,932	0,470
pH air	0,277	1,052	0,264
TDS	0,000	0,000	0,000

Ketinggian air memiliki *gain ratio* tertinggi sehingga menjadi simpul akar, tetapi selisihnya dengan suhu air sangat tipis (0,471 dan 0,470), sehingga keduanya dapat dipandang sebagai penentu utama kondisi air. Atribut pH berada pada urutan berikutnya sebagai penentu tambahan. TDS tidak membentuk pohon karena seluruh nilainya berada pada kategori normal (500–1.500 ppm) sehingga tidak mampu memisahkan kelas. Hal ini tidak berarti TDS tidak penting bagi udang, melainkan bahwa pada data yang dikumpulkan parameter tersebut tidak bervariasi.

Pohon keputusan yang terbentuk ditunjukkan pada Gambar 4. Apabila ketinggian air rendah, kondisi air langsung dikategorikan buruk. Apabila ketinggian air normal, kondisi ditentukan oleh suhu air. Pada suhu normal, pH normal menghasilkan kondisi baik dan pH basa menghasilkan kondisi sedang. Pada suhu tinggi, pH asam dan pH basa menghasilkan kondisi buruk, sedangkan pH normal menghasilkan kondisi sedang. Struktur ini sejalan dengan acuan awal bahwa suhu, pH, dan volume air yang terjaga menentukan kelangsungan hidup udang (Komarudin dkk., 2021; Sulistyo dkk., 2025). Aturan jika-maka yang diperoleh disajikan pada Tabel 3. Aturan 1 sampai 6 berasal dari cabang pada Gambar 4, sedangkan aturan 7 sampai 13 disusun sebagai aturan tambahan untuk kombinasi yang tidak terwakili dalam data, yaitu suhu air normal dengan pH asam, suhu air di bawah 25 °C, dan ketinggian air di atas 24 cm. Aturan tambahan tersebut belum diuji dengan data nyata.



Gambar 4. Pohon keputusan C4.5 hasil pelatihan

Tabel 3. Aturan jika-maka pohon keputusan

No	Ketinggian air	Suhu air	pH air	Kondisi air
1	Rendah	–	–	Buruk
2	Normal	Normal	Normal	Baik
3	Normal	Normal	Basa	Sedang
4	Normal	Tinggi	Asam	Buruk
5	Normal	Tinggi	Normal	Sedang
6	Normal	Tinggi	Basa	Buruk
7	Normal	Normal	Asam	Baik
8	Normal	Rendah	Asam	Sedang
9	Normal	Rendah	Normal	Sedang
10	Normal	Rendah	Basa	Sedang
11	Tinggi	Rendah	–	Sedang
12	Tinggi	Normal	–	Sedang
13	Tinggi	Tinggi	–	Sedang

Matriks konfusi dan ukuran kinerja per kelas disajikan pada Tabel 4. Model menghasilkan 65 prediksi benar dari 72 data sehingga akurasinya 90,28%. Kelas baik memiliki presisi tertinggi (1,0000), kelas sedang memiliki keseimbangan terbaik antara presisi dan *recall* (*F1-score* 0,9275), sedangkan kelas buruk memiliki presisi terendah (0,7917) karena lima data dari kelas lain, yaitu dua data baik dan tiga data sedang, diprediksi sebagai buruk.

Tabel 4. Matriks konfusi dan ukuran kinerja klasifikasi pada 72 data

Kelas aktual	Prediksi baik	Prediksi sedang	Prediksi buruk	Presisi	*Recall*	*F1-score*
Baik	14	0	2	1,0000	0,8750	0,9333
Sedang	0	32	3	0,9412	0,9143	0,9275
Buruk	0	2	19	0,7917	0,9048	0,8444

Dari sisi penerapan, kesalahan prediksi tidak berdampak sama. Kesalahan yang menaikkan tingkat kewaspadaan, yakni data baik atau sedang yang diprediksi buruk (lima data), hanya menimbulkan peringatan yang tidak diperlukan. Sebaliknya, dua data buruk yang diprediksi sedang dapat menunda tindakan petambak sehingga perlu menjadi perhatian dalam penyempurnaan model. Perlu dicatat bahwa matriks konfusi pada Tabel 4 dihitung pada 72 data sehingga belum mencerminkan kinerja pada data baru. Evaluasi pada 18 data uji yang tidak dipakai membentuk pohon masih perlu dilaporkan pada penelitian lanjutan.

Hasil pengujian akurasi sensor dirangkum pada Tabel 5. Sensor TDS paling akurat dengan rata-rata kesalahan 1,09%, disusul sensor pH (3,56%), sensor ketinggian air (5,34%), dan sensor suhu air (6,98%). Kesalahan sensor TDS lebih besar pada larutan sekitar 60 ppm (hingga 3,21%) dibandingkan pada larutan sekitar 500 ppm (kurang dari 1%), yang menunjukkan bahwa kesalahan relatif membesar pada nilai rendah karena selisih yang sama menjadi lebih besar terhadap nilai acuan yang kecil. Kesalahan sensor ketinggian air mencapai 10,00% dan kesalahan sensor suhu air mencapai 16,03%. Penyebabnya belum diselidiki dalam penelitian ini, tetapi dapat berkaitan dengan pantulan gelombang ultrasonik pada permukaan air dan dinding wadah serta penggunaan kecepatan suara yang tetap, dan dengan penempatan probe suhu serta waktu tanggap sensor terhadap termometer pembanding.

Tabel 5. Ringkasan pengujian akurasi sensor (10 kali pengujian per sensor)

Sensor	Alat pembanding	Rentang kesalahan (%)	Rata-rata kesalahan (%)	Akurasi (%)
TDS	TDS meter	0,04–3,21	1,09	98,91
pH	pH meter	2,30–5,83	3,56	96,44
Ketinggian air	Penggaris	1,38–10,00	5,34	94,66
Suhu air	Termometer	1,79–16,03	6,98	93,02

Besarnya kesalahan tersebut relevan karena kelas kondisi air ditentukan oleh batas tegas, misalnya 14 dan 24 cm untuk ketinggian air serta 30 °C untuk suhu. Kesalahan ketinggian air 10% pada kisaran 15 cm setara sekitar 1,5 cm dan dapat memindahkan pembacaan melewati batas 14 cm, sehingga mengubah kelas kondisi dan status pompa. Kalibrasi sensor dan penyaringan data perlu dilakukan sebelum sistem digunakan pada tambak sesungguhnya.

Dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang menampilkan nilai parameter atau memberi peringatan berbasis ambang batas (Chairi dkk., 2024; Haryanti dkk., 2024; Khazil dan Khadafi, 2025), sistem ini menambahkan klasifikasi kondisi air yang dapat dibaca sebagai aturan jika-maka, notifikasi Telegram, dan kendali otomatis pompa serta atap. Hasil ini perlu dibaca dengan memperhatikan keterbatasan penelitian: data hanya berasal dari satu prototipe di ruang semiterbuka, tidak terdapat data ketinggian air di atas 24 cm maupun suhu di bawah 25 °C, TDS tidak bervariasi, dan label kelas ditetapkan berdasarkan batas ideal yang sama dengan atribut yang dipakai pohon, sehingga akurasi yang diperoleh belum menggambarkan kondisi lapangan. Pengamanan kredensial jaringan, MQTT, dan bot Telegram yang tertanam dalam program juga perlu diperhatikan sebelum kode dibagikan (Nadya dan Syabrina, 2025; Siregar dkk., 2026).

SIMPULAN

Sistem monitoring kualitas dan ketinggian air tambak udang berbasis IoT dengan ESP32, ThingSpeak, dan Telegram berhasil dirancang dan diimplementasikan pada skala prototipe. Algoritma C4.5 menetapkan ketinggian air dan suhu air sebagai penentu utama kondisi air dengan akurasi 90,28% pada 72 data, sedangkan keempat sensor memiliki akurasi di atas 93%. Peneliti selanjutnya disarankan menambah data yang mencakup rentang parameter lebih luas, menguji model pada data uji, membandingkannya dengan algoritma lain, serta menerapkannya pada tambak berskala lebih besar bersama petambak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo, khususnya Laboratorium *Computer System and Networking*, atas fasilitas yang diberikan selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Albar, R., Saputra, R.N., Ria, D. & Tb, Y. 2025. Analisis Sistem Monitoring Parameter Air Berbasis IoT untuk Budidaya Udang Vaname di Tambak Desa Tibang. [Journal of Informatics and Computer Science], 11(2): 52–58.

Arrahma, S.A. & Mukhaiyar, R. 2023. Pengujian ESP32-CAM Berbasis Mikrokontroler. [Jtein: Jurnal Teknik Elektro Indonesia.], 4(1): 60–66.

Chairi, M., Asran, A. & Multazam, T. 2024. Rancang Bangun Alat Monitoring Kualitas Air pada Tambak Udang Berbasis IoT. Jurnal Energi Elektrik, 13. [Jurnal Energi Elektrik, Volume 13, Nomor 1, halaman 82–86]

Chuzaini, F. dkk. 2022. IoT Monitoring Kualitas Air dengan Menggunakan Sensor Suhu, pH dan Total Dissolved Solids (TDS). [Inovasi Fisika Indonesia], 11: 46–56.

Djaja, I. & Arviansyah, A. 2023. Successful Vaname Shrimp Harvest: Prediction and Process Improvement. Pamator Journal, 16(2): 269–279.

Haryanti, T., Maknunah, J. & Karsid, K. 2024. Implementasi Alat Monitoring Kualitas Air Berbasis IoT pada Tambak Udang di Desa Pangkalan Kabupaten Indramayu. Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat Nusantara, 5(4): 6479–6485.

Hutabarat, B.F., Peslinof, M., Afrianto, M.F. & Fendriani, Y. 2023. Sistem Basis Data Pemantauan Parameter Air Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Platform ThingSpeak. [sistem basis data pemantauan parameter air berbasis IoT dengan platform ThingSpeak], 8(1): 42–50.

Khazil, M. & Khadafi, M. 2025. Implementasi Internet of Things (IoT) pada Pengendalian Kualitas Air Tambak.[Jurnal Teknologi Rekayasa Informasi dan Komputer], 8(2): 23–32.

Komarudin, M., Septama, H.D., Yulianti, T. & Wicaksono, M.A. 2021. Rekayasa E-Aquaculture untuk Pemantauan Tambak Udang secara Realtime dengan Model Multipoint Node. Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, 8(2): 395–402.

Nadya, S. & Syabrina, P. 2025. Keamanan Data dalam Penggunaan IoT untuk Menghimpun dan Mengelola Big Data. [Jurnal Informatika dan Teknologi Cerdas (JITC) Volume 1, Nomor 1, tahun 2025],1(1): 17–20.

Pamungkas, D.S. dkk. 2025. Sistem Monitoring Kolam Bioflok bagi Petani Ikan Nila di Pulau Batam. [Journal of Applied Community Engagement], 5(1): 18–27.

Pasaribu, F.I., Nasution, E.S., Nasution, L. & Rasidy, M. 2024. Disain Alat Monitoring Real-Time dari Kualitas Air Tambak Udang Berbasis Internet of Things. RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro, 7(1): 128–134.

Quinlan, J.R. 1993. C4.5: Programs for Machine Learning. San Mateo: Morgan Kaufmann.

Rohim, H., Susanto, A. & Munazilin, A. 2025. Sistem Monitoring Suhu dan pH Air Tambak Udang Vaname Berbasis Internet of Things (IoT). [STORAGE: Jurnal Ilmiah Teknik dan Ilmu Kompute], 4(2): 131–136.

Rohmawaty, G. & Widodo, A. 2026. Inovasi Aquatech dalam Sistem Cerdas Berbasis Internet of Things (IoT) untuk Optimasi Aquarium Modern. [Jurnal Siskom-Kb], 2.

Saputro, A.K., Purnamasari, D.N., Destiawan, A.F., Ibadillah, A.F., Hardiwansyah, M. & Fahmi, M.F. 2025. Rancang Bangun Alat Monitoring dan Kontrol Kualitas Air pada Budidaya Udang Vaname. Zetroem, 7(2).

Satriawan, M.R. 2023. Monitoring pH dan Suhu Air pada Budidaya Ikan Mas Koki Berbasis IoT. [Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering], 5: 12–17.

Setiawan, B., Styawati, S. & Alim, S. 2024. Implementasi Sistem IoT pada Akuakultur dan Hidroponik (Akuaponik) Modern untuk Pertumbuhan Ikan Nila. Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT, 9: 47–53.

Siregar, A.A. dkk. 2026. Analisis Keamanan dan Kebijakan Privasi dalam Penggunaan Teknologi Internet of Things (IoT) untuk Smart Cities. [Komputer Teknologi Informasi Sistem Informasi (JUKTISI)], 4(3): 2076–2086.

Sulistyo, M.A., Rahman, A. & Qashlim, A. 2025. Sistem Monitoring pH Air Berbasis Internet of Things (IoT) untuk Daerah Tambak Udang., 11(1): 19–23.

Tobing, F.A.T., Dzulhaq, M.I., Overbeek, M.V. & Setiawan, E.A. 2019. Design of Decision Support System with C4.5 Algorithm Methods in Determining Results Vaname Shrimp Cultivation. Prosiding 5th International Conference on New Media Studies (CONMEDIA), Bali, 9–11 Oktober 2019.