JSAI : Journal Scientific and Applied Informatics
Vol. 09, No. 3, *October* 2026, *pages*. 434~441
E-ISSN: 2614-3054; P-ISSN: 2614-3062, *accredited by Kemenristekdikti*, Sinta 4
DOI: 10.36085

Sistem Monitoring Aquarium Pintar Berbasis *Internet of Things* Menggunakan WiFi Provisioning AP Mode dan Autentikasi QR Code

[1]Yogi Marliyano, [2]Suyud Widiono
[1,2]Universitas Teknologi Yogyakarta, Indonesia
[1]yogimarliyanoo@gmail.com; [2]suyud.w@uty.ac.id

Article Info

Article history:

Received, 2026-10-19
Revised, 2026-10-27
Accepted, 2026-11-05

Kata Kunci:

aquarium_pintar
esp32
flutter
internet_of_things
wifi_provisioning

ABSTRAK

Pemeliharaan akuarium membutuhkan pemantauan kualitas air dan pengendalian perangkat secara teratur. Penelitian ini bertujuan mengembangkan *AquaSmart*, yaitu sistem monitoring akuarium pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mengintegrasikan pemantauan suhu, pH, dan kekeruhan air dengan kendali pemberian pakan, pompa aerasi, dan lampu. Sistem menggunakan ESP32, sensor DS18B20, PH-4502C, sensor kekeruhan, aplikasi mobile Flutter, serta web admin berbasis Laravel. Konfigurasi jaringan dilakukan melalui WiFi *provisioning* AP Mode dan *Captive Portal*, sedangkan pairing perangkat menggunakan QR Code. Evaluasi mencakup pengujian fungsional, perbandingan pembacaan sensor dengan alat ukur acuan, dan pengukuran latensi. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata kesalahan relatif sensor suhu sebesar 1,08%, pH sebesar 2,05%, dan kekeruhan sebesar 2,90%. Seluruh 34 skenario pengujian fungsional berhasil dijalankan (100%). Latensi pembacaan sensor, kendali relay, dan aktivasi servo masing-masing sebesar 242 ms, 310 ms, dan 385 ms. Hasil tersebut menunjukkan bahwa AquaSmart mampu mengintegrasikan pemantauan kualitas air dan kendali perangkat akuarium dalam satu sistem.

Keywords:

smart_aquarium
esp32
flutter
internet_of_things
wifi_provisioning

ABSTRACT

Aquarium maintenance requires regular water-quality monitoring and device control. This study aims to develop AquaSmart, an Internet of Things (IoT)-based smart aquarium monitoring system that integrates temperature, pH, and turbidity monitoring with fish-feeding, aeration-pump, and lighting controls. The system uses an ESP32, DS18B20 and PH-4502C sensors, a turbidity sensor, a Flutter mobile application, and a Laravel-based web administration panel. Network setup is implemented through AP Mode WiFi provisioning and a Captive Portal, while device pairing uses a QR Code. Evaluation comprises functional testing, comparison of sensor readings against reference instruments, and latency measurement. The results show mean relative errors of 1.08% for temperature, 2.05% for pH, and 2.90% for turbidity. All 34 functional test scenarios were successfully completed (100%). Sensor acquisition, relay control, and servo activation latencies were 242 ms, 310 ms, and 385 ms, respectively. These findings indicate that AquaSmart integrates aquarium water-quality monitoring and device control within a single system.

This is an open access article under the CC BY-SAlicense.

Penulis Korespondensi:

Yogi Marliyano,
Program Studi Informatika,
Universitas Teknologi Yogyakarta,
Email: yogimarliyanoo@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Pemeliharaan ikan hias dalam akuarium memerlukan pengendalian kondisi lingkungan secara teratur karena perubahan kualitas air dapat memengaruhi kesehatan dan kelangsungan hidup ikan. Berbeda dengan ekosistem perairan alami, akuarium merupakan lingkungan terbatas yang parameter fisika dan kimianya dapat berubah akibat sisa pakan, kotoran ikan, serta aktivitas biologis di dalam air. Oleh karena itu, pemantauan suhu, derajat

keasaman (pH), dan kekeruhan menjadi bagian penting dalam pemeliharaan akuarium. Perkembangan *Internet of Things* (IoT) memungkinkan proses pemantauan dilakukan melalui sensor yang terhubung dengan mikrokontroler dan aplikasi pengguna, sehingga informasi kondisi air dapat diperoleh secara lebih teratur [1], [2], [3].

Sejumlah penelitian telah menerapkan IoT untuk pemantauan kualitas air dan otomatisasi akuarium. Dewantoro dan Ulum [4] mengembangkan sistem pemantauan kualitas air untuk budidaya ikan hias air tawar, sedangkan Asrigen dan Sejati [5] berfokus pada pemberian pakan ikan otomatis berbasis ESP32 dan aplikasi Flutter. Penelitian lain mengembangkan sistem akuarium dan akuakultur yang mengintegrasikan sensor kualitas air dengan aktuator aerasi maupun pakan [6], [7], [8]. Bu'u dkk. [9] menerapkan pemantauan pH dan kekeruhan pada akuarium, sementara Putri dan Arinal [10], Fadillah dkk. [11], serta Utami dkk. [12] mengkaji integrasi pemantauan parameter air dengan pengendalian atau pemberian pakan otomatis. Studi-studi tersebut menunjukkan bahwa IoT dapat membantu mengurangi ketergantungan pada pemeriksaan manual, tetapi implementasi sistem masih bervariasi dalam cakupan sensor, mekanisme kendali, dan cara pengguna menghubungkan perangkat ke jaringan.

Selain integrasi sensor dan aktuator, kemudahan konfigurasi jaringan dan pengelolaan perangkat juga menentukan keterpakaian sistem IoT oleh pengguna nonteknis. Beberapa sistem menggunakan layanan cloud atau platform pihak ketiga untuk mengirimkan dan menampilkan data, sedangkan sistem lain memerlukan infrastruktur komunikasi tambahan [13]. Pendekatan tersebut dapat mempermudah akses jarak jauh, tetapi menimbulkan ketergantungan pada layanan eksternal dan konektivitas internet. Pada sisi perangkat, proses penggantian SSID atau kata sandi WiFi juga perlu ditangani agar pengguna tidak harus mengubah atau memprogram ulang firmware setiap kali konfigurasi jaringan berubah. Penelitian mengenai arsitektur IoT, REST API, serta implementasi sistem monitoring akuarium memberikan landasan untuk merancang komunikasi antarlapisan dan pengelolaan data yang lebih terstruktur [2], [6], [8], [10], [14].

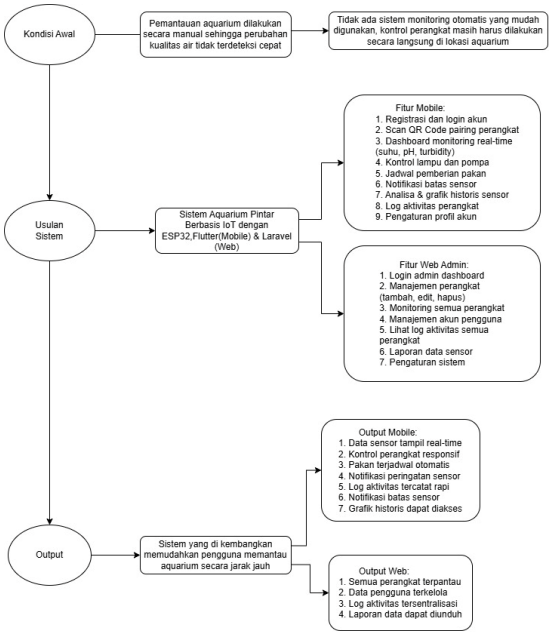
Berdasarkan telaah tersebut, penelitian ini diarahkan untuk mengembangkan sistem monitoring dan kontrol akuarium pintar bernama *AquaSmart* dengan menekankan dua aspek, yaitu pemantauan beberapa parameter kualitas air yang terintegrasi dengan kendali perangkat, serta penyederhanaan proses konfigurasi dan pengaitan perangkat ke akun pengguna. Sistem menggunakan ESP32 yang terhubung dengan sensor suhu waterproof DS18B20, sensor pH PH-4502C, dan sensor kekeruhan. Sistem juga dilengkapi motor servo untuk dispenser pakan serta relay dua kanal untuk mengendalikan pompa aerasi dan lampu LED. Data sensor dan perintah kendali dikelola melalui RESTful API berbasis Laravel dan basis data MySQL pada server lokal, sedangkan interaksi pengguna disediakan melalui aplikasi mobile Flutter.

Kontribusi utama penelitian terletak pada mekanisme *WiFi Provisioning* mandiri berbasis *Access Point* (AP) Mode yang dilengkapi *Captive Portal* lokal, serta autentikasi dan pairing perangkat menggunakan dua QR Code. QR Code pertama membantu smartphone terhubung ke AP perangkat untuk memasukkan kredensial WiFi, sedangkan QR Code kedua digunakan untuk mengaitkan identitas perangkat dengan akun pengguna. Dengan mekanisme tersebut, konfigurasi jaringan dan pairing dapat dilakukan melalui smartphone tanpa pemrograman ulang firmware. Penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem AquaSmart melalui pengujian fungsional, pengukuran akurasi sensor terhadap instrumen acuan, serta pengukuran latensi komunikasi dan kendali aktuator.

2. METODE PENELITIAN

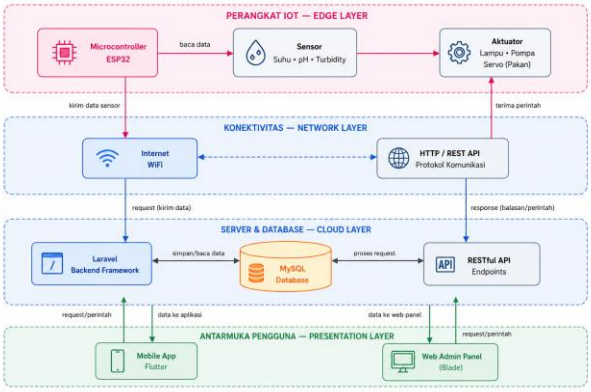
Penelitian ini dilaksanakan melalui tiga tahapan utama, yaitu identifikasi kondisi awal, perancangan dan pembangunan sistem, serta evaluasi hasil implementasi [15], [16]. Tahap identifikasi dilakukan melalui studi literatur dan observasi kebutuhan pemeliharaan akuarium, terutama terkait pemantauan kualitas air, pemberian pakan, serta kendala pengoperasian perangkat IoT. Tahap perancangan dan pembangunan mencakup perancangan perangkat keras, pengembangan firmware ESP32, pembangunan RESTful API, dan pengembangan aplikasi mobile Flutter. Tahap evaluasi dilakukan dengan menguji fungsi sistem, membandingkan hasil pembacaan sensor dengan alat ukur acuan, serta mengukur waktu respons komunikasi dan aktuator.

Sistem dirancang menggunakan arsitektur IoT empat lapisan (*four-layer IoT architecture*) yang menghubungkan perangkat fisik dengan antarmuka pengguna [2]. Arsitektur tersebut terdiri atas Edge Layer, *Network Layer*, *Server Layer*, dan *Presentation Layer*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Pada Edge Layer, ESP32 SoC dengan *prosesor Tensilica dual-core* 240 MHz dan SRAM 520 KB berfungsi sebagai pengendali utama untuk membaca sensor dan mengendalikan aktuator. Sensor suhu *waterproof* DS18B20 dihubungkan ke GPIO 4 melalui protokol 1-*Wire* dan resistor *pull-up* 4,7 kΩ [13].Kerangka penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Kerangka Penelitian Sistem Smart Aquarium

Sensor pH PH-4502C terhubung ke pin ADC1 GPIO 34, sedangkan sensor kekeruhan terhubung ke ADC1 GPIO 35. Aktuator terdiri atas motor servo SG90 pada GPIO 13 untuk menggerakkan dispenser pakan, relay dua kanal pada GPIO 18 dan GPIO 19 untuk mengendalikan pompa aerasi serta lampu LED 12 W, dan LCD 16×2 dengan antarmuka I2C (SDA GPIO 21 dan SCL GPIO 22) untuk menampilkan status perangkat.



Gambar 2. Arsitektur Model Sistem *Smart* Aquarium Berbasis Multi-Layer IoT

Pada Network Layer, ESP32 berkomunikasi dengan server *backend* melalui WiFi 802.11 b/g/n menggunakan protokol HTTP/RESTful API dengan format pertukaran data JSON [14]. Server Layer menggunakan framework Laravel dengan pola *Model-View-Controller* (MVC) dan basis data MySQL pada server lokal. Lapisan ini memvalidasi data sensor, mengelola jadwal pakan, menyimpan log aktivitas, memproses autentikasi pengguna, dan menyediakan panel admin berbasis Laravel Blade. Pada Presentation Layer, aplikasi mobile multiplatform berbasis *Flutter* (*Dart*) digunakan untuk memantau suhu, pH, dan kekeruhan secara real-time, mengendalikan pompa dan lampu, mengatur jadwal pakan, menerima notifikasi ambang batas, serta melakukan pemindaian QR Code [5, 16].

Kalibrasi dilakukan untuk mengubah pembacaan sensor menjadi nilai parameter kualitas air. Sensor DS18B20 membaca suhu secara digital melalui resolusi 12-bit dengan ketelitian 0,0625 °C menggunakan pustaka *DallasTemperature*. Sensor pH PH-4502C menghasilkan sinyal analog yang dibaca oleh ADC ESP32 beresolusi 12-bit (0–4095), kemudian dikonversi ke rentang tegangan 0–3,3 V. Untuk mengurangi fluktuasi pembacaan, sinyal diproses menggunakan moving average dari 10 sampel. Hubungan antara tegangan analog terfilter (Vadc) dan nilai pH ditentukan melalui persamaan kalibrasi regresi linear (1):

$$pH = -5{,}70 \times Vadc + 21{,}34 \qquad (1)$$

Vadc merupakan tegangan hasil pembacaan pada GPIO 34 dalam satuan volt. Pengukuran kekeruhan menggunakan sensor turbidity yang mendeteksi hamburan cahaya inframerah oleh partikel tersuspensi di dalam air. Tegangan keluaran sensor (Vturb) dikonversi menjadi nilai kekeruhan dalam satuan *Nephelometric Turbidity Units* (NTU) menggunakan persamaan polinomial (2):

$$Turbidity = -1120{,}4 \times Vturb^2 + 5742{,}3 \times Vturb - 4352{,}9 \qquad (2)$$

Vturb merupakan tegangan keluaran sensor yang dibaca melalui GPIO 35. Berdasarkan nilai NTU, kondisi air dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu jernih (< 10 NTU), normal/aman (10–25 NTU), dan keruh/bahaya (> 25 NTU). Kategori tersebut digunakan sebagai dasar pemberian informasi kondisi air dan notifikasi pergantian air pada aplikasi mobile.

Mekanisme konfigurasi jaringan dirancang menggunakan WiFi Provisioning berbasis *Access Point* (AP) Mode dan autentikasi dua QR Code untuk mempermudah proses pengaturan oleh pengguna. Ketika ESP32 dinyalakan, perangkat memeriksa kredensial WiFi yang tersimpan pada memori Non-Volatile Storage (NVS/Preferences). Jika kredensial belum tersedia atau perangkat gagal terhubung setelah 15 detik, pengguna dapat mengaktifkan SoftAP melalui tombol kombinasi Reset+Boot. ESP32 kemudian memancarkan SSID 'AquaSmart-AP' pada alamat IP 192.168.4.1 dan menjalankan Captive Portal lokal [15]. Pengguna memindai QR Code pertama untuk menghubungkan smartphone ke jaringan AP perangkat, kemudian memilih jaringan WiFi rumah dan memasukkan kata sandinya melalui halaman konfigurasi lokal. Kredensial disimpan pada NVS sehingga perangkat dapat melakukan restart dan terhubung sebagai *Station* (STA). Selanjutnya, QR Code kedua yang memuat identitas perangkat dipindai melalui aplikasi Flutter. Aplikasi mengirimkan permintaan ke endpoint *server /api/device/bind* untuk mengaitkan perangkat dengan akun pengguna.

Evaluasi sistem mencakup pengujian fungsionalitas, akurasi sensor, dan latensi jaringan. Pengujian fungsionalitas menggunakan *Black Box Testing*, yaitu memeriksa kesesuaian keluaran sistem terhadap masukan dan skenario yang diberikan tanpa meninjau kode internal [15], [16]. Pengujian dilakukan pada 12 modul, meliputi registrasi dan autentikasi, pemantauan real-time, kendali pompa dan lampu, penjadwalan pakan, analisis grafik, log aktivitas, serta pemindaian QR Code. Persentase keberhasilan pengujian dihitung menggunakan persamaan (3):

$$P = (\sum Sb / \sum St) \times 100\% \qquad (3)$$

Pada persamaan (3), P menyatakan persentase keberhasilan pengujian, ∑Sb merupakan jumlah skenario yang berhasil, dan ∑St merupakan jumlah seluruh skenario yang diuji. Akurasi sensor dievaluasi dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap instrumen acuan, yaitu termometer digital dan pH meter yang dikalibrasi menggunakan larutan buffer standar. Pengujian latensi dilakukan dengan mencatat waktu transmisi data dan eksekusi aktuator menggunakan timestamp milidetik pada mikrokontroler dan server *backend*.

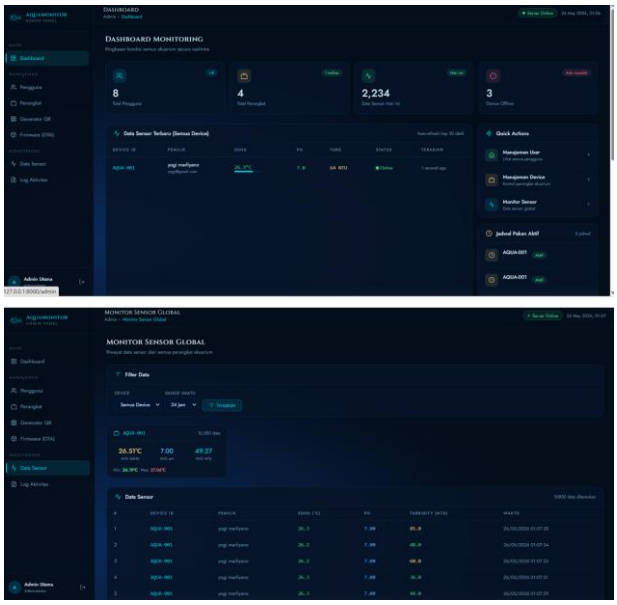
3. HASIL DAN ANALISIS

Prototipe AquaSmart diuji pada akuarium kaca berukuran 60 × 30 × 35 cm dengan kapasitas sekitar 60 liter. Perangkat mengintegrasikan sensor suhu DS18B20, sensor pH, sensor kekeruhan, dispenser pakan berbasis servo, serta relay untuk pompa aerasi dan lampu. Sistem dioperasikan melalui aplikasi mobile Flutter dan panel admin Laravel. Antarmuka aplikasi mobile AquaSmart menyediakan empat fungsi utama, yaitu pemantauan suhu, pH, dan kekeruhan secara real-time; kendali pompa aerasi dan lampu; pengaturan jadwal serta pemberian pakan manual; dan pemindaian QR Code untuk pairing perangkat. Tampilan tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Antarmuka Aplikasi *Mobile AquaSmart*: (a) *Dashboard Monitoring*, (b) Kontrol Cepat, (c) Atur Jadwal Pakan, dan (d) *Scan QR Pairing*

Panel admin berbasis Laravel Blade digunakan untuk melihat ringkasan perangkat, memantau data sensor, meninjau log aktivitas, mengelola akun pengguna, serta membuat QR Code perangkat. Tampilan panel admin disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Antarmuka *Web Admin Panel* Laravel: (atas) Dashboard Ringkasan Sistem dan (bawah) Pemantauan Data *Sensor Real-Time*

Pengujian fungsional dilakukan menggunakan *Black Box Testing* terhadap 12 modul yang terdiri atas 34 skenario. Seluruh skenario berhasil dijalankan sesuai keluaran yang diharapkan, sehingga tingkat keberhasilan pengujian mencapai 100%. Rincian pengujian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Black Box* pada Seluruh Modul Sistem

No	Modul Sistem	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
1	Registrasi Akun	Validasi form kosong, format email, dan pendaftaran sukses	Sistem memvalidasi input dan menampilkan notifikasi sukses/gagal yang tepat	Validasi dan pembuatan akun berjalan normal	Valid
2	Autentikasi Login	Input email/password kosong, kredensial salah, dan kredensial valid	Sistem menolak akses tidak valid dan mengarahkan pengguna valid ke beranda	Login berhasil dan token sesi terbentuk	Valid
3	Dashboard Monitoring	Menampilkan data suhu, pH, dan turbidity dari REST API secara berkala	Data metrik tampil real-time dengan indikator warna status yang sesuai	Nilai sensor terbarui otomatis tiap 5 detik	Valid
4	Kontrol Cepat Aktuator	Menekan tombol toggle pompa aerator dan lampu pencahayaan LED	Modul relay merespons perintah ON/OFF dan status saklar terbarui	Relai aktif dan lampu/pompa menyala/mati	Valid
5	Manajemen Pakan	Pengujian tombol pakan manual dan eksekusi jadwal pakan harian	Motor servo berputar membuka katup dispenser dan kembali ke posisi awal	Servo berputar 120° selama 1,5 detik	Valid
6	Analisis Data Sensor	Menampilkan grafik tren time-series fluktuasi parameter kualitas air	Grafik memuat data historis sensor secara akurat dan interaktif	Visualisasi grafik garis tampil sempurna	Valid
7	Log Aktivitas Sistem	Membuka riwayat log aktivitas otomatis dan kontrol manual pengguna	Sistem menampilkan daftar riwayat kronologis beserta timestamp	Log tersimpan dan ditampilkan lengkap	Valid
8	Scan QR Pairing	Memindai QR Code Device ID pada fisik mikrokontroler menggunakan kamera	Aplikasi mengekstrak UUID alat dan menautkan ke akun via API /bind	Perangkat berhasil terhubung ke akun	Valid
9	Notifikasi & Ambang Batas	Mengatur batas minimum/maksimum parameter suhu, pH, dan kekeruhan	Sistem memicu status waspada/bahaya saat nilai melampaui batas	Notifikasi ambang batas muncul tepat waktu	Valid
10	Profil Pengguna	Mengubah data nama pengguna dan informasi profil pada aplikasi	Perubahan profil tersimpan ke server dan terbarui pada antarmuka	Data profil berhasil diperbarui	Valid
11	Ubah Password	Mengganti kata sandi akun dengan verifikasi kata sandi lama	Password terenkripsi berhasil diperbarui pada basis data MySQL	Autentikasi baru berhasil diterapkan	Valid
12	Pemutusan Perangkat	Menekan tombol 'Putus Koneksi' (disconnect/unbind) perangkat	Perangkat terlepas dari akun dan aplikasi kembali ke mode unlinked	Koneksi terputus dan sesi direset	Valid

Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor ESP32 terhadap instrumen acuan pada beberapa kondisi sampel. Pengujian meliputi tiga kondisi suhu, tiga larutan buffer pH, dan tiga kondisi kekeruhan air. Hasil pengukuran dan selisih terhadap nilai acuan ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Akurasi Sensor Kualitas Air Terhadap Alat Ukur Standar

No	Parameter	Kondisi Sampel Uji	Nilai Acuan Standar	Sensor ESP32	Selisih Absolut	Error Relatif	Status Evaluasi
1	Suhu Air	Air Dingin (Es)	18,00 °C	18,20 °C	0,20 °C	1,11%	Sangat Akurat
2	Suhu Air	Air Suhu Ruang	25,10 °C	25,40 °C	0,30 °C	1,20%	Sangat Akurat
3	Suhu Air	Air Hangat (Heater)	32,10 °C	31,80 °C	0,30 °C	0,93%	Sangat Akurat
4	Derajat pH	Buffer Standar Asam	4,01 pH	4,09 pH	0,08 pH	1,99%	Sangat Akurat
5	Derajat pH	Buffer Standar Netral	6,86 pH	6,98 pH	0,12 pH	1,75%	Sangat Akurat
6	Derajat pH	Buffer Standar Basa	9,18 pH	8,96 pH	0,22 pH	2,40%	Sangat Akurat
7	Kekeruhan	Air Mineral Bersih	4,00 NTU	4,20 NTU	0,20 NTU	5,00%	Kategori Jernih
8	Kekeruhan	Air Akuarium Normal	12,50 NTU	12,80 NTU	0,30 NTU	2,40%	Kategori Aman
9	Kekeruhan	Air Keruh Pakan/Limbah	46,20 NTU	45,60 NTU	0,60 NTU	1,30%	Kategori Bahaya

Berdasarkan Tabel 2, sensor suhu DS18B20 menghasilkan error relatif sebesar 1,11%, 1,20%, dan 0,93%, dengan rata-rata sekitar 1,08% dan selisih absolut rata-rata 0,27 °C. Hasil ini menunjukkan pembacaan suhu mendekati termometer acuan pada rentang pengujian 18,00–32,10 °C. Sensor pH PH-4502C menghasilkan error relatif 1,99%, 1,75%, dan 2,40%, dengan rata-rata 2,05% dan selisih absolut rata-rata 0,14 pH. Sementara itu, sensor kekeruhan menghasilkan error relatif 5,00%, 2,40%, dan 1,30%, dengan rata-rata 2,90% dan selisih absolut rata-rata sekitar 0,37 NTU. Ketiga kategori kekeruhan—jernih, aman, dan bahaya—juga teridentifikasi sesuai rentang nilai yang digunakan dalam sistem. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor dapat digunakan untuk memantau parameter kualitas air pada kondisi sampel yang diuji. Nilai error tersebut merupakan hasil pengukuran pada sampel pengujian, sehingga belum dapat digeneralisasi untuk seluruh kondisi air atau jenis akuarium.

Pengujian latensi dilakukan sebanyak 10 kali pada setiap skenario untuk memperoleh waktu respons rata-rata dan standar deviasi. Pengukuran mencakup proses WiFi Provisioning, pemuatan Captive Portal, penyimpanan kredensial dan koneksi ulang, pairing QR Code, pembacaan data sensor, serta kendali aktuator. Hasilnya disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Waktu Respons (Latency) Mekanisme Jaringan dan Kontrol Aktuator

No	Tahapan / Operasi Sistem	Jalur Komunikasi	Waktu Rata-rata	Standar Deviasi	Evaluasi Kinerja
1	Inisiasi Mode SoftAP ESP32	Internal Firmware ESP32	3,18 detik	± 0,24 s	Transisi Sangat Cepat
2	Pemuatan Captive Portal Web	HTTP Local DNS (192.168.4.1)	1,12 detik	± 0,15 s	Responsif Instan
3	Simpan Kredensial & Reconnect STA	ESP32 NVS Flash ke Router WiFi	4,45 detik	± 0,42 s	Koneksi Stabil
4	Pemindaian & Binding QR Code	Kamera Mobile ke API /device/bind	1,35 detik	± 0,18 s	Otentikasi Lancar
5	Latensi Akuisisi Data Sensor	HTTP GET /api/sensor/latest	242 milidetik	± 28 ms	Real-Time Optimal
6	Latensi Kontrol Saklar Pompa/Lampu	HTTP POST /api/control/relay	310 milidetik	± 35 ms	Responsif Sub-Detik
7	Latensi Eksekusi Motor Servo Pakan	HTTP POST /api/feed/trigger	385 milidetik	± 41 ms	Responsif Sub-Detik

Tabel 3 menunjukkan bahwa inisiasi SoftAP membutuhkan waktu rata-rata 3,18 detik, pemuatan *Captive Portal* 1,12 detik, penyimpanan kredensial dan koneksi ulang 4,45 detik, serta pemindaian dan binding QR Code 1,35 detik. Pada operasi normal, latensi pembacaan data sensor tercatat 242 ms, kendali relay 310 ms, dan aktivasi motor servo 385 ms. Seluruh respons kendali berada di bawah satu detik pada skenario pengujian, sehingga sistem dapat memberikan respons yang relatif cepat untuk pemantauan dan pengendalian akuarium.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa AquaSmart telah mengintegrasikan pemantauan tiga parameter kualitas air dengan pengendalian pakan, pompa aerasi, dan lampu dalam satu sistem. Hasil akurasi sensor menjadi temuan utama penelitian, sedangkan pengujian fungsional dan latensi melengkapi evaluasi dari sisi operasional. Namun, pengujian masih terbatas pada prototipe dan kondisi sampel yang digunakan, sehingga pengujian lanjutan dengan variasi kualitas air, rentang suhu, dan penggunaan jangka panjang diperlukan untuk menilai kestabilan pembacaan sensor.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring akuarium pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32 yang terintegrasi dengan sensor suhu DS18B20, sensor pH, sensor kekeruhan, aktuator pemberi pakan otomatis, serta kendali aerasi dan lampu melalui aplikasi mobile dan web admin. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor suhu memiliki rata-rata kesalahan relatif sebesar 1,08% dengan rata-rata kesalahan absolut 0,27°C, sensor pH sebesar 2,05% dengan rata-rata selisih 0,14, dan sensor kekeruhan sebesar 2,90% dengan rata-rata selisih 0,37 NTU. Sistem juga mampu mengidentifikasi kategori kondisi air berdasarkan nilai kekeruhan yang diuji. Mekanisme *WiFi provisioning* melalui AP Mode dan *Captive Portal* serta pairing perangkat menggunakan QR Code dapat dijalankan, sementara pengujian fungsional menghasilkan tingkat keberhasilan 100% dari 34 skenario pengujian. Waktu respons pada proses konfigurasi jaringan dan pengendalian aktuator berada pada rentang yang terukur, sehingga sistem dapat mendukung pemantauan dan pengelolaan akuarium secara terintegrasi. Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan melalui pengujian sensor pada rentang kondisi air yang lebih luas dan pengamatan dalam periode operasional yang lebih panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Program Studi Informatika, Fakultas Sains & Teknologi, Universitas Teknologi Yogyakarta atas dukungan fasilitas laboratorium komputasi dan IoT selama pelaksanaan penelitian Proyek Utama Informatika (PUI) ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi mendalam kepada Bapak Suyud Widiono, S.Pd., M.Kom. selaku dosen pembimbing atas arahan, bimbingan teknis, dan masukan konstruktif yang telah diberikan sepanjang proses perancangan hingga penyusunan naskah publikasi ilmiah ini.

REFERENSI

[1] K. E. et al., “Revisiting the Internet of Things: New Trends, Opportunities, and Grand Challenges,” *Front. Internet Things*, 2022, doi: 10.3389/friot.2022.1073780.

[2] M. M. et al., “Internet of Things: A Comprehensive Overview on Protocols, Architectures, Technologies, Simulation Tools, and Future Directions,” *Energies*, 2023, doi: 10.3390/en16083465.

[3] M. M. R. et al., “IoT Based Smart Water Quality Prediction for Biofloc Aquaculture,” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, 2021, doi: 10.14569/IJACSA.2021.0120608.

[4] W. Dewantoro and M. B. Ulum, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air pada Budidaya Ikan Hias Air Tawar Berbasis IoT (Internet of Things),” *J. Komputasi*, 2021, doi: 10.23960/komputasi.v9i2.2858.

[5] K. R. Asrigen and R. H. P. Sejati, “IoT-Based Automated Catfish Feeder Application: A Case Study at Dompon Sejahtera Fishery,” *Bit-Tech*, 2025, doi: 10.32877/bt.v8i2.3228.

[6] M. F. I. Ayon, S. Nahar, A. Rahman, M. A. Taslim, and A. Hasib, “An IoT-Enabled Smart Aquarium System for Real-Time Water Quality Monitoring and Automated Feeding,” *IEEE Int. WIE Conf. Electr. Comput. Eng.*, 2025, doi: 10.1109/WIECON-ECE69386.2025.11525953.

[7] R. H. Hardyanto, P. W. Ciptadi, and A. Asmara, “Smart Aquarium Based on Internet of Things,” *J. Bus. Inf. Syst.*, 2019, doi: 10.36067/jbis.v1i1.12.

[8] A. Agus, S. Liawatimena, J. J. L. Tobing, and R. A. Purnomo, “The System of Temperature and Water pH Monitoring and Control on Arowana Fish Farm Breeding (Scleropages Formosus) Using IoT Based Farm Aquaculture,” *Media Bina Ilm.*, 2023, doi: 10.33758/mbi.v17i11.429.

[9] K. S. Bu’u, N. Nachrowie, and E. Sonalitha, “Monitoring Kualitas Air pada Aquarium Berbasis Internet of Things (IoT),” *Blend Sains J. Tek.*, 2023, doi: 10.56211/blendsains.v2i2.321.

[10] S. E. Putri and V. Arinal, “Pengembangan Sistem Monitoring Kualitas Air dan Kendali Pakan Otomatis untuk Budidaya Ikan Berbasis Internet of Things,” *J. Indones. Manaj. Inform. dan Komun.*, 2025, doi: 10.63447/jimik.v6i3.1605.

[11] A. Fadillah, P. Purwanto, U. Budiyanto, and S. Amini, “Sistem Monitoring dan Pemberian Pakan Ikan Hias Otomatis Berbasis Web,” *SKANIKA Sist. Komput. dan Tek. Inform.*, 2023, doi: 10.36080/skanika.v6i2.3077.

[12] A. R. Utami, M. Erlangga, and K. Sugiarto, “Rancang Bangun Monitoring dan Pengendali Suhu, pH dan Kekeruhan Air pada Smart Akuarium,” *SPECTA J. Technol.*, 2024, doi: 10.35718/specta.v8i1.1171.

[13] D. Y. et al., "Performance Analysis Comparison of DHT11, DHT22 and DS18B20 as Temperature Measurement," *Proc. Int. Conf. Sustain. Eng. Sci. (ICSES 2023)*, 2023, doi: 10.2991/978-94-6463-232-3_5.

[14] Y. Ariyanto, M. F. F. Rachmad, and D. Puspitasari, "Laravel Framework and Native PHP: Comparison in the Creation of REST API," *Matrix J. Manaj. Teknol. dan Inform.*, 2024, doi: 10.31940/matrix.v14i2.66-73.

[15] M. R. Nuryanto and T. Widodo, "Pengembangan Sistem Informasi Budaya dan Wisata Kota Bima Berbasis Mobile-Web dengan Evaluasi Usability Menggunakan System Usability Scale (SUS)," *JSAI J. Sci. Appl. Informatics*, vol. 9, no. 2, pp. 182–188, 2026.

[16] D. A. Razaq and J. Aryanto, "Sistem Rekomendasi Bidang Studi Perguruan Tinggi bagi Siswa SMA Menggunakan Metode Hybrid Random Forest dan K-Nearest Neighbors Berbasis Profil Alumni," *JSAI J. Sci. Appl. Informatics*, 2026, doi: 10.36085/jsai.v9i2.10529.