

Implementasi Sistem Kontrol dan Monitoring PH dan Suhu Air Pada Sistem Smart Aquaponic Berbasis Mikrokontroler Esp32

Syaffa Fitria Widyadari¹, Raden Muh Sultoni²

^{1,2} Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Dirgantara dan Industri, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jakarta, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 14 Februari 2026
Direvisi: 19 Februari 2026
Diterima: 7 Maret 2026

Kata kunci:

Smart Aquaponic
ESP32
Monitoring pH dan Suhu Air
IoT

Keywords:

Smart Aquaponic
ESP32
Water pH and Temperature
Monitoring,
IoT

Penulis Korespondensi:

Syaffa Fitria Widyadari
Email:
syaffafitra27@gmail.com

ABSTRAK

Sistem aquaponic merupakan pendekatan pertanian berkelanjutan yang mengintegrasikan budidaya ikan dan tanaman dalam satu ekosistem resirkulasi air. Kestabilan parameter kualitas air, khususnya pH dan suhu, menjadi faktor penting dalam menjaga produktivitas sistem. Pengendalian secara manual seringkali kurang efisien dan berpotensi menimbulkan fluktuasi parameter. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan kontrol alat ukur air berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem memanfaatkan sensor pH 4502C dan sensor suhu DS18B20 untuk pemantauan kondisi air secara real-time. Data diproses oleh ESP32 dan dikirim melalui jaringan internet, dilengkapi notifikasi Telegram serta kontrol otomatis menggunakan modul relay untuk mempertahankan pH pada rentang 6,5–7,5 dan suhu 24–28°C. Pengujian dilakukan selama tiga hari dengan interval pengambilan data setiap dua jam. Validasi sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur digital terkalibrasi sebagai standar referensi, kemudian dihitung nilai error relatif dan persentase akurasi. Hasil penelitian menunjukkan sensor pH memiliki akurasi 92–95% dengan rata-rata error $\pm 0,3$ pH, sedangkan sensor suhu memiliki akurasi 98–99% dengan rata-rata error $\pm 0,2$ °C. Sistem juga menunjukkan waktu respons kurang dari 5 detik dan keberhasilan pengiriman data sebesar 100%. Integrasi monitoring IoT dan kontrol otomatis berbasis ESP32 yang tervalidasi secara kuantitatif pada lingkungan Recirculating Aquaculture System (RAS) menjadi kontribusi utama penelitian ini.

Aquaponic systems represent a sustainable agricultural approach that integrates fish cultivation and plant production within a recirculating water ecosystem. The stability of water quality parameters, particularly pH and temperature, is essential for maintaining system productivity. Manual monitoring and control are often inefficient and may lead to parameter fluctuations. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based monitoring and control system for water pH and temperature using an ESP32 microcontroller. The system utilizes a pH 4502C sensor and a DS18B20 temperature sensor to monitor water conditions in real time. Data are processed by the ESP32 and transmitted via the internet, supported by Telegram-based notifications and automatic control using relay modules to maintain pH within 6.5–7.5 and temperature within 24–28°C. System testing was conducted over three days with data collection every two hours. Sensor validation was performed by comparing sensor readings with calibrated digital measuring instruments as reference standards, followed by the calculation of relative error and accuracy percentages. The results show that the pH sensor achieved an accuracy of 92–95% with an average error of ± 0.3 pH, while the temperature sensor reached an accuracy of 98–99% with an average error of ± 0.2 °C. The system demonstrated a response time of less than 5 seconds and a 100% data transmission success rate. The integration of IoT monitoring and ESP32-based automatic control validated within a Recirculating Aquaculture System (RAS) environment constitutes the main contribution of this study.

Copyright © 2026 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* telah mendorong berbagai penelitian dalam pemantauan kualitas air pada sistem *aquaponic*. Sejumlah studi sebelumnya memanfaatkan sensor suhu dan pH yang diintegrasikan dengan *mikrokontroler* untuk menampilkan data secara digital melalui LCD lokal maupun dashboard berbasis web. Penggunaan *mikrokontroler* seperti ESP32 memungkinkan sistem terhubung ke jaringan nirkabel sehingga pemantauan dapat dilakukan secara jarak jauh. Meskipun demikian, implementasi yang dikembangkan pada penelitian-penelitian tersebut umumnya masih berfokus pada penyajian data monitoring tanpa mekanisme peringatan langsung ketika parameter melewati batas optimal.[2]. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengintegrasikan sistem dengan *platform IoT* berbasis web untuk meningkatkan aksesibilitas data. Namun, sistem peringatan yang bersifat instan dan langsung diterima pengguna melalui aplikasi komunikasi belum banyak diimplementasikan. Di sisi lain, evaluasi kinerja sensor dalam bentuk analisis akurasi terhadap alat ukur referensi juga masih terbatas. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengembangan sistem monitoring yang tidak hanya mampu menampilkan data secara daring, tetapi juga memberikan respons cepat terhadap kondisi kritis serta dilengkapi evaluasi performa terukur, masih diperlukan untuk meningkatkan keandalan sistem *aquaponic* berbasis *IoT*. [3].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini merancang sistem monitoring suhu dan pH pada instalasi *aquaponic* metode *Recirculating Aquaculture System (RAS)* menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali dan komunikasi data. Sistem dilengkapi dengan notifikasi *real-time* berbasis Telegram yang dikirimkan secara otomatis ketika nilai parameter berada di luar rentang yang ditetapkan. Selain itu, penelitian ini melakukan pengujian akurasi sensor melalui perbandingan hasil pembacaan dengan termometer digital dan pH meter manual sebagai alat referensi, sehingga diperoleh analisis kuantitatif terhadap selisih dan tingkat kesalahan pengukuran.[4] . Sehingga pengukuran tersebut menjadi relevan karena memiliki keunggulan pada konektivitas WiFi terintegrasi dan efisiensi daya, yang mendukung implementasi sistem *IoT* secara berkelanjutan. Namun, pemanfaatan ESP32 pada sistem *aquaponic* dengan fokus pada notifikasi *real-time* berbasis platform komunikasi yang umum digunakan, seperti Telegram, masih relatif terbatas dalam literatur. Sistem ini diterapkan pada instalasi *aquaponic* dengan metode *Recirculating Aquaculture System (RAS)* [5] dan dirancang untuk memantau parameter suhu dan pH secara kontinu. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini tidak hanya menyajikan data pemantauan, tetapi juga melakukan analisis akurasi sensor melalui perbandingan hasil pengukuran sistem terhadap termometer digital dan pH meter manual sebagai alat ukur referensi. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi keandalan sistem secara objektif dalam menjaga kestabilan kualitas air.

Kontribusi penelitian ini terletak pada integrasi sistem monitoring *IoT* dengan mekanisme peringatan *real-time* yang mudah diakses oleh pengguna, disertai evaluasi eksperimental terhadap akurasi sensor. Dengan demikian, sistem yang dihasilkan tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantau, tetapi juga sebagai perangkat pendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan *aquaponic*. Implementasi ini memberikan penguatan pada aspek presisi, responsivitas, dan keandalan sistem, sehingga relevan untuk diterapkan pada skala kecil hingga menengah dalam pengembangan *smart agriculture* berbasis *IoT*. [6]. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi terhadap pengembangan sistem *smart aquaponic* yang mengedepankan presisi, efisiensi operasional, dan kemudahan akses informasi, serta relevan untuk diterapkan pada skala kecil hingga menengah sebagai bagian dari implementasi *smart agriculture* berbasis *IoT*. Untuk memberikan gambaran yang lebih sistematis mengenai posisi penelitian ini dibandingkan dengan studi sebelumnya, dilakukan perbandingan berdasarkan aspek parameter sensor yang digunakan, platform monitoring, mekanisme notifikasi, serta fitur evaluasi kinerja sistem. Perbandingan ini bertujuan untuk menunjukkan perkembangan pendekatan yang telah dilakukan dalam penelitian terdahulu sekaligus menempatkan kontribusi penelitian ini secara proporsional. Adapun ringkasan perbandingan tersebut disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Perbandingan Mikrokontroler berdasarkan penelitian terdahulu

No	Parameter Sensor	Mikrokontroler	Platform Monitoring	Notifikasi Real-Time	Fitur Kontrol	Validasi Akurasi
1	Suhu, pH	Arduino Uno	LCD Lokal	Tidak	Tidak	Tidak
2	Suhu, pH	NodeMCU	Web Server	Terbatas (delay)	Tidak	Tidak
3	Suhu, pH, Kekeruhan	ESP8266	IoT Dashboard	Tidak	Semi-otomatis	Tidak
4	Suhu, pH	ESP32	Telegram + IoT	Ya	Monitoring responsif	Ya

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode perancangan dan pengujian sistem dalam pengembangan perangkat monitoring kualitas air pada smart aquaponic berbasis *Internet of Things (IoT)*. Tahapan penelitian diawali dengan identifikasi permasalahan di lapangan, dilanjutkan dengan kajian literatur mengenai sistem *aquaponic* dan parameter kualitas air yang berpengaruh terhadap keberlangsungan ekosistem. Selanjutnya dilakukan perancangan sistem monitoring menggunakan *mikrokontroler* ESP32 sebagai pusat kendali dan pengolah data. Sistem ini diimplementasikan pada instalasi dengan metode *Recirculating Aquaculture System (RAS)*[7] dengan fokus pada pemantauan dua parameter utama, yaitu suhu dan derajat keasaman (pH) air.

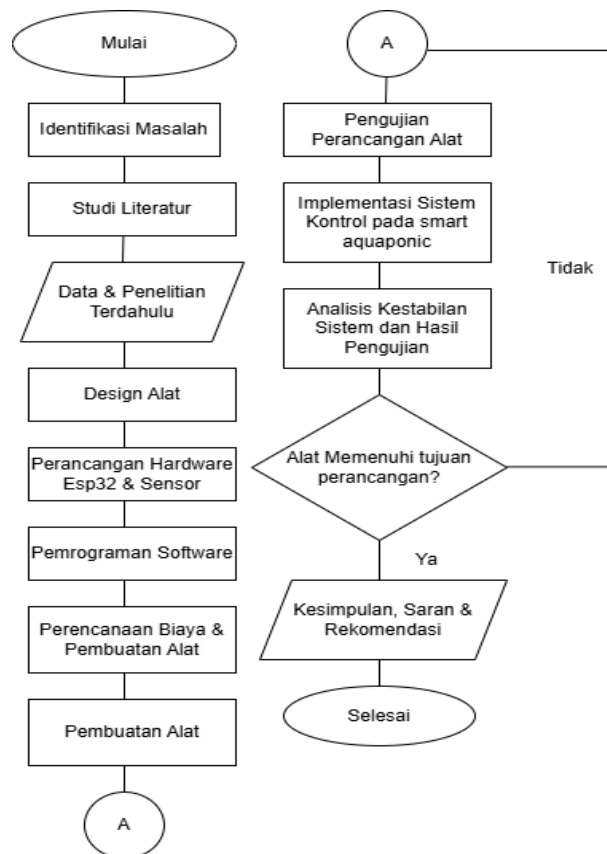
Parameter pH memiliki peran penting dalam menjaga stabilitas biologis sistem *aquaponic* karena berpengaruh terhadap metabolisme ikan, aktivitas bakteri nitrifikasi, serta ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Perangkat keras yang digunakan terdiri atas *mikrokontroler* ESP32 yang terhubung dengan sensor suhu DS18B20 dan sensor pH tipe PH-4502C [8]. Sensor DS18B20 beroperasi secara digital menggunakan protokol *One-Wire* sehingga data suhu ditransmisikan langsung dalam bentuk sinyal digital ke mikrokontroler. Sebaliknya, sensor pH PH-4502C menghasilkan sinyal analog berupa tegangan yang berbanding lurus dengan tingkat keasaman larutan. Pembacaan sinyal analog dari sensor pH dilakukan melalui modul *Analog-to-Digital Converter (ADC) internal* pada ESP32 dengan resolusi 12-bit. Resolusi tersebut menghasilkan rentang data digital 0–4095 untuk tegangan masukan 0–3,3 V. Penggunaan ADC 12-bit bertujuan untuk meningkatkan sensitivitas dan ketelitian pembacaan tegangan keluaran sensor, sehingga konversi nilai tegangan menjadi parameter pH dapat dilakukan dengan tingkat presisi yang lebih baik. Nilai digital hasil konversi ADC selanjutnya diolah menggunakan persamaan kalibrasi linier untuk memperoleh nilai pH aktual.

Sebelum pelaksanaan pengambilan data, dilakukan proses kalibrasi terhadap sensor pH PH-4502C menggunakan metode dua titik (*two-point calibration*) dengan larutan buffer standar pH 7,00 dan pH 4,01. Tahap pertama dilakukan dengan mencelupkan elektroda ke dalam larutan buffer pH 7,00 untuk menentukan nilai offset atau titik netral pembacaan. Tahap berikutnya menggunakan larutan buffer pH 4,01 untuk menghitung kemiringan (slope) karakteristik sensor. Nilai tegangan yang diperoleh dari kedua larutan referensi tersebut digunakan untuk menyusun persamaan regresi linier sebagai dasar konversi tegangan menjadi nilai pH. Proses kalibrasi ini bertujuan untuk mengurangi kesalahan sistematis dan meningkatkan tingkat ketepatan hasil pengukuran selama sistem beroperasi.

Data hasil pengukuran sensor diproses oleh ESP32 dan dikirimkan secara *real-time* melalui koneksi WiFi ke platform telegram sebagai media monitoring jarak jauh[9]. Pengambilan data dilakukan secara periodik selama 3 hari penuh dengan rentang waktu 2 jam saat sistem beroperasi, disertai pengumpulan data pendukung melalui observasi dan dokumentasi.

Pengujian sistem dilakukan melalui uji fungsional dan uji stabilitas dengan metode *test-retest* selama pengoperasian 3 hari penuh dengan rentang waktu pengukuran setiap 2 jam. Parameter yang diuji meliputi kestabilan pembacaan sensor, keandalan pengiriman data, serta

respons sistem terhadap perubahan kondisi kualitas air. Data hasil pengujian tersebut kemudian diolah dan disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar pembahasan tingkat akurasi sensor dan kinerja sistem *monitoring* pada *smart aquaponic* berbasis *IoT*. Gambar 1 dibawah ini merupakan *flowchart* perancangan sistem kontrol dan monitoring pH dan suhu air



Gambar 1. *Flowchart* Perancangan Sistem

2.1 Rumus Perhitungan Pada Sensor pH 4502C

Rumus perhitungan dasar dibawah ini merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung selisih pH air antara pengukuran dengan pH meter dan dengan sensor pH 4502C

$$\Delta pH = |pH_{sensor} - pH_{meter}| \quad (1)$$

Dalam perhitungan selisih, tentunya ada persentasi *error* yang dapat diketahui dari kedua perbandingan pengukuran pH air pada sistem *smart aquaponic*. Pada rumus perhitungan dasar dibawah ini, merupakan rumus untuk menghitung persentasi *error* dari kedua perhitungan tersebut :

$$Error(\%) = \frac{pH_{sensor} - pH_{meter}}{pH7 (netral)} \times 100\% \quad (2)$$

Setelah diketahui persentase *error* dari kedua perhitungan dari kedua perbandingan pengukuran tersebut, maka dapat diketahui tingkat akurasi dari kedua pengukuran antara pH meter dengan sensor pH 4502C. Pada perhitungan dasar dibawah ini merupakan rumus untuk menghitung tingkat akurasi pH air dari kedua perbandingan tersebut :

$$Akurasi(\%) = 100\% - Error\% \quad (3)$$

Selain perhitungan pengukuran selisih, *error*, dan akurasi diperlukan perhitungan terkait laju perubahan Ph. Karena pengukuran pH merupakan indikator dari kesehatan ekosistem *aquaponic*, dengan rumus perhitungan dibawah ini sistem mampu memprediksi kondisi keadaan air dan tindakan yang harus dilakukan, serta mampu menjaga stabilitas biologis pada ikan dan tanaman, kemudian dapat memastikan keamanan operasional sistem kontrol dan monitoring *smart aquaponic* selama 3 hari masa percobaan. Rumus perhitungan 4 di bawah ini, merupakan rumus perhitungan laju perubahan pH dalam rentang waktu 2 jam :

$$\Delta pH_t = \frac{pH_{akhir} - pH_{awal}}{\Delta t} \quad (4)$$

2.2 Rumus Perhitungan Pada Sensor Suhu DS18B20

Rumus perhitungan dasar dibawah ini merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung selisih pH air antara pengukuran dengan pH meter dan dengan sensor pH 4502C

$$\Delta T = |T_{sensor} - T_{termometer}| \quad (5)$$

Selain menghitung selisih dari kedua pengukuran suhu air, diperlukan pula, perhitungan persentasi *error* dari sensor suhu DS18B20. Hal tersebut diperlukan supaya dapat mengetahui besarnya akurasi pengukuran sensor suhu DS18B20, pada perhitungan dibawah ini merupakan perhitungan persentasi *error* untuk sensor suhu DS18B20 :

$$Error(\%) = \frac{T_{sensor} - T_{termometer}}{T_{termometer}} \times 100\% \quad (6)$$

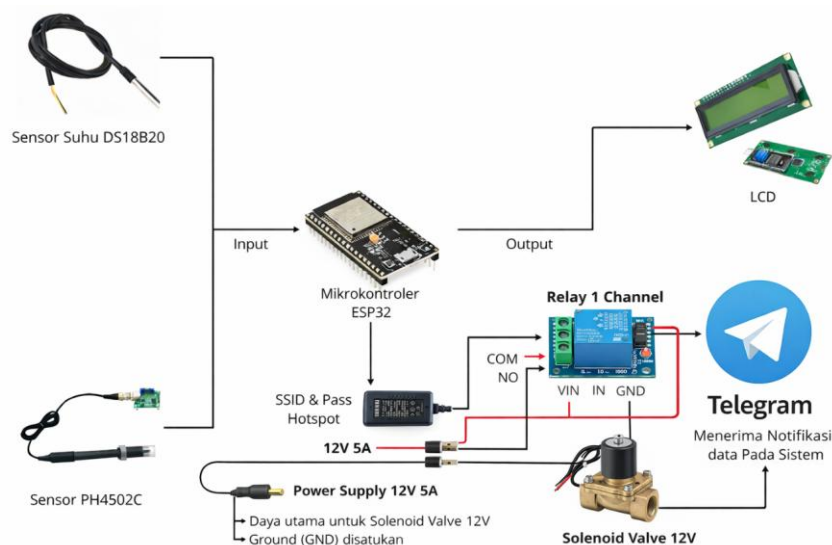
Setelah diketahui hasil dari selisih perhitungan kedua pengukuran dan persentasi *error* dari kedua pengukuran tersebut, maka dapat dihitung berapa besar akurasi dari sensor DS18B20 pada pengukuran suhu air. Pada rumus perhitungan dibawah ini, merupakan rumus perhitungan dasar menghitung tingkat akurasi untuk sensor DS18B20, sebagai berikut :

$$Akurasi(\%) = 100\% - Error\% \quad (7)$$

III. HASIL DAN DISKUSI

Penelitian ini dilakukan pada sistem *smart aquaponic* berbasis *Recirculating Aquaculture System* (RAS) di Kampus A Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma dengan fokus pemantauan parameter suhu dan pH air. Pengukuran dilakukan menggunakan sensor suhu DS18B20 dan sensor pH 4502C yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Sistem dioperasikan secara kontinu selama tiga hari dengan interval pengambilan data setiap dua jam. Data hasil pengukuran diproses oleh ESP32 dan dikirimkan secara *real-time* melalui jaringan Wi-Fi ke *platform* Telegram, sehingga memungkinkan pemantauan kualitas air dilakukan secara jarak jauh[10].

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem *monitoring* mampu bekerja secara stabil selama periode pengamatan, dengan pembacaan suhu dan pH yang konsisten pada setiap interval pengukuran. Integrasi ESP32, sensor, dan *platform* telegram terbukti efektif dalam menyediakan informasi kualitas air secara *real-time* serta meningkatkan responsivitas pengawasan dibandingkan metode manual. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dinilai mampu mendukung pengelolaan kualitas air pada *smart aquaponic* berbasis RAS secara lebih efisien dan aplikatif, serta relevan untuk implementasi konsep *smart agriculture* berbasis *IoT*[5] [10]. Gambar 2 dibawah ini merupakan *design* alur sistem kontrol dan *monitoring* pH dan suhu air pada *smart aquaponic*



Gambar 2. Design Alur Sistem

3.1 Performa Sensor pH 4502C dan Sensor Suhu DS18B20 pada sistem *Smart Aquaponic*

Sistem *monitoring* dirancang untuk beroperasi secara *real-time* dengan interval pembacaan sensor setiap 1–5 menit, di mana data suhu dan pH air diproses oleh mikrokontroler ESP32. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi akurasi, stabilitas, dan respons sistem dalam kondisi operasional nyata. Pengamatan berlangsung selama tiga hari berturut-turut dengan rentang waktu dua jam guna memperoleh gambaran performa sistem dalam jangka waktu yang representatif pada sistem *smart aquaponic*.

Pengambilan data dimulai pada Kamis, 22 Januari 2026 pukul 15.00 WIB hingga Sabtu, 24 Januari 2026 pukul 23.00 WIB. Rentang waktu tersebut dipilih untuk memantau dinamika kualitas air pada kolam ikan dan instalasi hidroponik secara menyeluruh, khususnya pada kondisi cuaca yang kurang stabil. Data hasil pengukuran keseluruhan sistem ditampilkan pada Tabel 1 sebagai dasar analisis kinerja sistem monitoring pH dan suhu air.

Tabel 2. Hasil Pengukuran keseluruhan kondisi pH air dan suhu air selama 3 hari penuh dengan rentang waktu 2 jam.

No.	Hari/Tanggal	Waktu (WIB)	pH Air	Suhu Air	Kondisi Relay	Ket.
1.	Kamis 22/01/2026	15.00 WIB	7.57	25.5°C	OFF	pH masih rentang 7.5
		17.00 WIB	7.61	25.5°C	READY/ON	Mengucurkan asam
		19.00 WIB	7.53	25.5°C	OFF	pH masih rentang 7.5
		21.00 WIB	6.86	25.5°C	OFF	pH normal
		23.00 WIB	6.80	25.5°C	OFF	pH normal rentang 6.5-7.0
2.	Jum'at 23/01/2026	00.00 WIB	7.14	25.5°C	OFF	pH normal rentang 6.5-7.0
		02.00 WIB	6.90	25.5°C	OFF	pH normal rentang 6.5-7.0

3.	Sabtu 24/01/2026	04.00 WIB	7.38	25.0°C	OFF	pH normal rentang 6.5-7.0
		06.00 WIB	7.30	25.0°C	OFF	pH normal rentang 6.5-7.0
		08.00 WIB	7.30	25.0°C	OFF	pH normal rentang 6.5-7.0
		10.00 WIB	7.18	25.0°C	OFF	pH normal rentang 6.5-7.0
		12. 00 WIB	7.15	25.0°C	OFF	pH normal rentang 6.5-7.0
		14.00 WIB	7.33	25.0°C	OFF	pH normal rentang 6.5-7.0
		16.00 WIB	7.24	25.0°C	OFF	pH normal rentang 6.5-7.0
		18.00 WIB	7.22	25.0°C	OFF	pH normal rentang 6.5-7.0
		20.00 WIB	7.53	25.0°C	OFF	pH masih rentang 7.5
		22.00 WIB	6.43	25.5°C	OFF	Menambahkan air pada kolam
		00.00 WIB	6.55	26.0°C	OFF	pH normal rentang 6.5-7.0
		02.00 WIB	6.15	26.0°C	OFF	Menambahkan air Pada kolam
		04.00 WIB	7.45	26.0°C	OFF	pH normal rentang 6.5-7.0
		06.00 WIB	6.17	26.0°C	OFF	Menambahkan air pada kolam
		08.00 WIB	6.88	26.5°C	OFF	pH normal rentang 6.5-7.0
		10.00 WIB	6.66	26.0°C	OFF	pH normal rentang 6.5-7.0
		12. 00 WIB	6.94	26.0°C	OFF	pH normal rentang 6.5-7.0
		14.00 WIB	7.00	26.5°C	OFF	pH normal rentang 6.5-7.0
		16.00 WIB	7.50	26.0°C	OFF	pH normal rentang 6.5-7.0
		18.00 WIB	7.63	26.5°C	READY	Mengucurkan cairan asam
		20.00 WIB	7.80	26.0°C	READY	Kolam sedang dikuras
		22.00 WIB	7.89	26.0°C	READY	Kolam sedang di kuras
		Rata – Rata pH dan suhu air			7.14	25.6°C

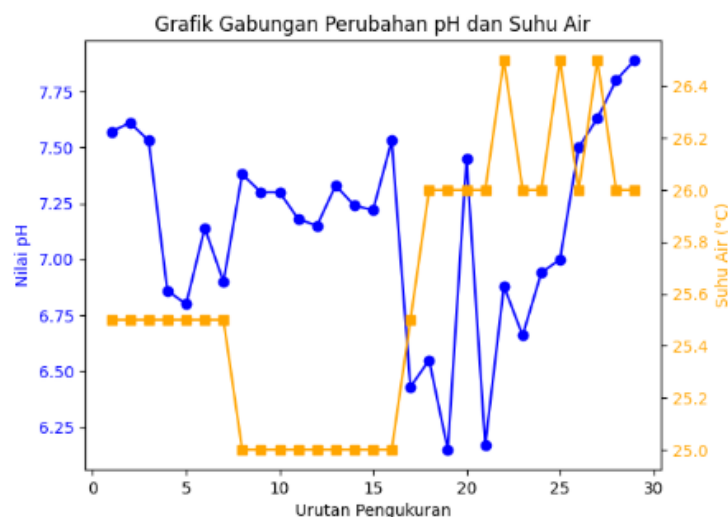
Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai pH air selama periode observasi berada pada rentang 6,15–7,89 dengan nilai rata-rata sebesar 7,14. Variasi nilai pH tersebut dipengaruhi oleh aktivitas operasional sistem aquaponic, seperti penambahan air, pemberian pakan, akumulasi sisa metabolisme ikan, serta proses pengurasan kolam. Dinamika tersebut menunjukkan bahwa kondisi operasional nyata dan menunjukkan sensor PH-4502C mampu mendeteksi perubahan kualitas air secara responsif dan konsisten selama tiga hari pengamatan.

Pengukuran suhu air berada pada rentang 25,0°C hingga 26,5°C dengan nilai rata-rata 25,6°C, yang menunjukkan kondisi relatif stabil selama periode pengujian. Stabilitas suhu tersebut menunjukkan bahwa fluktuasi pH yang terjadi tidak berubah terlalu signifikan dengan perubahan temperatur air dalam rentang pengamatan. Integrasi sensor PH-4502C dan DS18B20 dengan *mikrokontroler* ESP32 memungkinkan sistem melakukan pemantauan secara kontinu sekaligus memberikan respons otomatis melalui aktivasi *relay*, ketika nilai pH berada di luar ambang batas yang ditetapkan. Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan fungsi monitoring dan kontrol kualitas air secara efektif dalam mendukung operasional *smart aquaponic* berbasis *IoT*. Grafik hasil pengukuran keseluruhan selama tiga hari dengan interval dua jam disajikan pada Gambar 3.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Durasi pengujian yang terbatas pada tiga hari belum sepenuhnya merepresentasikan dinamika kualitas air dalam siklus budidaya jangka panjang. Selain itu, parameter yang dimonitor masih terbatas pada suhu dan pH, sehingga belum mencakup parameter lain yang turut menentukan kualitas air, seperti kadar amonia, nitrit, maupun oksigen terlarut. Pengujian juga dilakukan pada skala sistem tertentu, sehingga diperlukan studi lanjutan untuk mengevaluasi kinerja sistem pada kapasitas dan konfigurasi instalasi yang berbeda.

Dari aspek ketahanan operasional jangka panjang, sistem berpotensi menghadapi tantangan berupa *drift* sensor, penurunan sensitivitas elektroda pH akibat penggunaan kontinu, serta potensi gangguan konektivitas jaringan nirkabel. Sensor pH tipe analog umumnya memerlukan kalibrasi berkala untuk mempertahankan tingkat akurasi pengukuran. Selain itu, kondisi lingkungan budidaya yang lembap dan fluktuatif dapat memengaruhi ketahanan komponen elektronik, sehingga diperlukan perancangan proteksi tambahan untuk menjamin keberlanjutan operasional sistem.

Pengembangan lanjutan dapat diarahkan pada integrasi metode kontrol dan prediksi berbasis komputasi cerdas. Penerapan algoritma machine learning berpotensi digunakan untuk memodelkan pola historis perubahan parameter dan menghasilkan prediksi tren kualitas air secara lebih dini. Selain itu, pendekatan *fuzzy logic control* dapat diterapkan untuk meningkatkan fleksibilitas sistem dalam merespons variasi parameter yang bersifat nonlinier. Implementasi kontrol berbasis *Proportional–Integral–Derivative* (PID) juga memungkinkan pengaturan parameter kualitas air secara lebih presisi dan adaptif. Dengan pengembangan tersebut, sistem tidak hanya berfungsi sebagai perangkat monitoring dan kontrol reaktif, tetapi dapat berkembang menjadi sistem pengendalian prediktif yang lebih andal dan berkelanjutan dalam mendukung implementasi smart aquaponic.



Gambar 3. Grafik pengukuran keseluruhan sistem

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian sistem kontrol dan monitoring pH serta suhu air pada sistem *smart aquaponic* berbasis ESP32 yang dilaksanakan selama tiga hari secara *real-time* dengan interval pengambilan data setiap dua jam, dapat disimpulkan bahwa sistem berhasil dirancang dan diimplementasikan sesuai dengan perumusan masalah yang telah ditetapkan. Sistem mampu melakukan pemantauan kualitas air pada aquaponic berbasis *Recirculating Aquaculture System* (RAS) secara akurat menggunakan sensor pH 4502C dan sensor suhu DS18B20. Penerapan mikrokontroler ESP32 terbukti efektif dalam mengolah dan mentransmisikan data parameter kritis, dengan hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi rata-rata sensor pH di atas 90% dan sensor suhu mencapai 99,97% dibandingkan alat ukur digital. Integrasi teknologi Internet of Things (IoT) melalui aplikasi Telegram memungkinkan pemantauan jarak jauh secara real-time serta mendukung mekanisme kontrol otomatis berbasis *relay*, sehingga sistem mampu menjaga kestabilan kualitas air dalam rentang optimal dan mengurangi ketergantungan terhadap pengawasan manual.

Implikasi penelitian ini terhadap industri *smart agriculture* menunjukkan bahwa sistem monitoring dan kontrol berbasis IoT dapat meningkatkan efisiensi operasional, presisi pengelolaan kualitas air, serta mendukung konsep pertanian cerdas yang adaptif dan berkelanjutan. Implementasi teknologi ini berpotensi menekan risiko kegagalan produksi akibat fluktuasi parameter lingkungan serta meningkatkan produktivitas budidaya pada skala komersial. Untuk pengembangan lebih lanjut, direkomendasikan dilakukan pengujian jangka panjang dalam periode operasional yang lebih lama guna mengevaluasi stabilitas sensor, ketahanan sistem terhadap kondisi lingkungan yang dinamis, serta analisis keandalan sistem dalam skala yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ikhwan *Dkk.*, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu, Ph Dan Kejernihan Air Pada Kolam Ikan Air Tawar Berbasis Internet Of Things (Iot)”, [Daring]. Tersedia Pada: <https://Journal.Trunojoyo.Ac.Id/Triac>
- [2] I. Sekolah Tinggi Teknologi Payakumbuh, “Desain Arsitektur Model Pada Smart Aquaponic Berbasis Arduino Iot Cloud,” *Jurnal Simtika*, Vol. 5, No. 2, 2022.
- [3] R. Septiawan, N. Kn, Dan K. Kunci, “Uninterruptible Power Supply (Ups) Portabel Sebagai Cadangan Daya Berbasis Iot Pada Smart Home.”
- [4] J. Perikanan Dan Kelautan, A. Kinasih Jacinda, A. Yustiati, Dan Dan Yuli Andriani, “Aplikasi Teknologi Resirculating Aquaculture System (Ras) Di Indonesia; A Review (Resirculating Aquaculture System (Ras) Technology Applications In Indonesia: A Review),” 2021.
- [5] P. A. P. Wiradani, L. Jasa, Dan P. Rahardjo, “Analisis Perbandingan Produktivitas Material Budidaya Akuaponik Berbasis Iot (Internet Of Things) Dengan Budidaya Akuaponik Konvensional,” *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, Vol. 21, No. 2, Hlm. 263, Des 2022, Doi: 10.24843/Mite.2022.V21i02.P14.
- [6] N. A. 1*, E. Pebri, Dan D. Putra, “Income Analysis Of Hydroponic Farming With Deep Flow Technique (Dft) System,” *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, Vol. 9, No. 4, Hlm. 367–373, 2020, Doi: 10.23960/Jtep-L.V9.I4.367-373.
- [7] R. A. Kurniawan Dan M. F. Amrulloh, “Rancang Bangun Sistem Sensor Ph 4502c Dan Sensor Sen0189 Pada Air Limbah Untuk Mendeteksi Tingkat Cairan Berbahaya,” Vol. 16, Hlm. 373–383, 2024.
- [8] Y. Athallah Dan R. Agung, “Vol. Viii No. 1 Februari 2022 Jurnal Teknik Informatika Stmik Antar Bangsa Rancang Bangun Prototype Monitoring Lampu Jalan Secara Otomatis Menggunakan Mikrokontroller Esp32 Dan Api Bot Telegram”, [Daring]. Tersedia Pada: [Http://Awesomerockguy.Blogspot.Com/2015/10/Tutorial-](http://Awesomerockguy.Blogspot.Com/2015/10/Tutorial-)
- [9] M. R. -Alfariski, M. Dhandi, Dan A. Kiswantono, “Automatic Transfer Switch (Ats) Using Arduino Uno, Iot-Based Relay And Monitoring,” *Jtecs : Jurnal Sistem Telekomunikasi Elektronika Sistem Kontrol Power Sistem Dan Komputer*, Vol. 2, No. 1, Hlm. 1, Feb 2022, Doi: 10.32503/Jtecs.V2i1.2238.

- [10] M. H. Massaty, S. Kurniawan Fahrurozi, D. Epin, Dan P. Adrian, “Dedikasi: Community Service Reports Integrasi Iot Dan Biofiltrasi Dalam Sistem Akuaponik Nft Sebagai Solusi Ketahanan Pangan Di Desa Sedayu Article History”.