JUTIS (Jurnal Teknik Informatika Unis)
Vol. 14 No. 1 Bulan April 2026 **p-ISSN: 2252-5351**
Program Studi Teknik Informatika – Fakultas Teknik **e-ISSN: 2656-0860**
Universitas Islam Syekh-Yusuf Tangerang

Perancangan Sistem Monitoring Akuaponik Berbasis IoT Dengan Kontrol Hysteresis

Yazid Kamil[1,*], Afri Yudha[2]
[1, 2] Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Darma Persada, Jl. Taman Malaka Selatan Pondok Kelapa – Jakarta Timur, 13450

yazidkamil04@gmail.com[1], bintuyudha@gmail.com[2]

Abstrak

Sistem akuaponik merupakan metode budidaya terpadu yang menggabungkan akuakultur dan hidroponik dalam satu ekosistem yang saling menguntungkan di mana kestabilan kualitas air menjadi faktor utama keberhasilan budidaya ikan dan tanaman. Pemantauan kualitas air yang masih dilakukan secara manual memiliki keterbatasan dari segi akurasi, efisiensi, dan kontinuitas pengawasan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring akuaponik berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan penerapan metode kontrol hysteresis untuk menjaga kestabilan kualitas air secara otomatis. Sistem yang dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang terintegrasi dengan sensor pH, sensor suhu DS18B20, sensor *Total Dissolved Solids* (TDS), serta sensor ultrasonik untuk mengukur level air dan pertumbuhan tanaman. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan secara real-time ke platform ThingSpeak sebagai media penyimpanan dan visualisasi berbasis cloud, serta ditampilkan melalui dashboard website untuk pemantauan jarak jauh. Metode kontrol hysteresis diterapkan untuk mengendalikan kerja pompa air berdasarkan batas atas dan batas bawah yang telah ditentukan, sehingga dapat mencegah switching pompa yang berulang dan menjaga kondisi air tetap stabil. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring kualitas air dan pertumbuhan tanaman secara real-time dengan baik, serta kontrol hysteresis efektif dalam mengatur pompa air secara otomatis. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan akuaponik dan mendukung penerapan pertanian cerdas berbasis IoT yang berkelanjutan.

Kata kunci: Akuaponik, ESP32, *Internet of Things* (IoT), Kontrol Hysteresis, Monitoring Kualitas Air.

A. Pendahuluan

Akuaponik merupakan sistem budidaya terpadu yang mengombinasikan akuakultur (budidaya ikan) dan hidroponik (budidaya tanaman tanpa tanah) dalam satu ekosistem yang saling menguntungkan. Limbah metabolisme ikan dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi bagi tanaman, sementara tanaman berperan sebagai filter alami yang membantu menjaga kualitas air bagi ikan (Dauhan et al., 2014). Keberhasilan sistem akuaponik sangat bergantung pada kestabilan kualitas air, terutama parameter pH, suhu, total padatan terlarut (*Total Dissolved Solids*/TDS), serta volume air, karena parameter tersebut berpengaruh langsung terhadap kesehatan ikan dan pertumbuhan tanaman.

Pada praktiknya, pemantauan kualitas air pada sistem akuaponik masih banyak dilakukan secara manual menggunakan alat ukur sederhana dan pencatatan konvensional. Metode ini memiliki keterbatasan dari sisi akurasi, efisiensi, dan kontinuitas pemantauan,

serta membutuhkan keterlibatan manusia secara terus-menerus. Ketidakteraturan dalam pemantauan dapat menyebabkan fluktuasi kualitas air yang berpotensi menghambat pertumbuhan tanaman dan meningkatkan risiko stres bahkan kematian ikan. Kondisi tersebut mendorong pemanfaatan teknologi otomasi dan pemantauan berbasis jaringan untuk meningkatkan keandalan sistem akuaponik.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan peluang besar dalam pengelolaan sistem pertanian cerdas, termasuk akuaponik. Dengan memanfaatkan mikrokontroler dan sensor yang terhubung ke jaringan internet, data lingkungan dapat dipantau secara real-time melalui platform berbasis cloud (Efendi, 2018). Sejumlah penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa penerapan IoT pada sistem akuaponik mampu meningkatkan kemudahan pemantauan dan efisiensi pengelolaan kualitas air melalui visualisasi data jarak jauh (Kris Widiantara et al., 2021) (W Ibrahim et al., 2023). Namun, pendekatan tersebut umumnya masih berfokus pada fungsi monitoring, sementara pengendalian sistem masih bergantung pada ambang batas sederhana atau intervensi manual.

Dalam sistem akuaponik, pengendalian level air dan sirkulasi yang tidak stabil dapat menyebabkan kerja pompa yang berulang dalam waktu singkat, sehingga berpotensi menurunkan umur perangkat dan mengganggu kestabilan lingkungan budidaya. Oleh karena itu, diperlukan mekanisme kontrol otomatis yang mampu menjaga kondisi sistem tetap berada dalam rentang optimal tanpa memicu perubahan status aktuator secara berlebihan. Salah satu pendekatan yang relevan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah metode kontrol hysteresis, yang bekerja dengan menetapkan batas atas dan batas bawah untuk mengurangi fenomena chattering pada aktuator (Harpawi et al., 2021).

Selain kualitas air, aspek pertumbuhan tanaman pada sistem akuaponik juga memerlukan pemantauan yang terukur dan berkelanjutan. Pengamatan pertumbuhan tanaman yang masih dilakukan secara visual menyulitkan evaluasi perkembangan tanaman secara kuantitatif dan berpotensi menimbulkan ketidaktepatan dalam penentuan waktu panen. Integrasi sensor ultrasonik sebagai alat ukur tinggi tanaman memungkinkan proses pemantauan pertumbuhan dilakukan secara otomatis dan objektif, sekaligus melengkapi sistem monitoring kualitas air yang telah ada.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini memiliki kebaruan dengan mengintegrasikan kontrol hysteresis pada sistem pompa air berbasis mikrokontroler ESP32, yang dikombinasikan dengan sensor ultrasonik untuk pemantauan pertumbuhan tanaman secara real-time, serta integrasi data ke platform cloud ThingSpeak. Pendekatan ini tidak hanya berfokus pada monitoring kualitas air, tetapi juga pada pengendalian otomatis yang lebih stabil dan pemantauan pertumbuhan tanaman secara kuantitatif, sehingga berbeda dari penelitian sebelumnya yang umumnya masih terbatas pada monitoring tanpa mekanisme hysteresis atau hanya menggunakan kontrol ambang batas sederhana. Dengan pendekatan tersebut, sistem yang dikembangkan diharapkan mampu meningkatkan kestabilan operasional akuaponik, mengoptimalkan kinerja pompa air, serta menyediakan informasi pertumbuhan tanaman yang lebih akurat sebagai dasar pengelolaan akuaponik yang berkelanjutan.

p-ISSN: 2252-5351
e-ISSN: 2656-0860

B. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian dan pengembangan (*Research and Development/R&D*) dengan tujuan merancang, mengimplementasikan, serta menguji sistem monitoring akuaponik berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dilengkapi dengan kontrol hysteresis. Pendekatan ini dipilih karena penelitian berfokus pada pengembangan sistem perangkat keras dan perangkat lunak yang diuji secara langsung pada lingkungan nyata akuaponik.

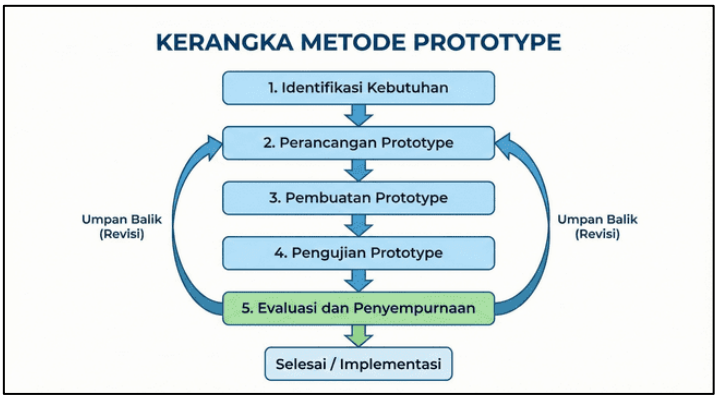
Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Observasi, dilakukan secara langsung di lokasi penelitian untuk mengamati kondisi sistem akuaponik dan kinerja alat yang dikembangkan.
2. Wawancara, dilakukan dengan pengelola kebun akuaponik untuk memperoleh informasi kebutuhan sistem dan permasalahan yang sering terjadi dalam pengelolaan akuaponik.
3. Studi pustaka, dilakukan dengan mempelajari jurnal ilmiah, skripsi, dan referensi terkait IoT, akuaponik, serta metode kontrol hysteresis sebagai dasar teori penelitian.

Metode Pengembangan Sistem

Metode pengembangan sistem yang digunakan adalah metode *prototyping*. Metode ini menekankan pada pembuatan model awal (prototype) sistem untuk menggambarkan fungsi utama sebelum dikembangkan menjadi sistem final (Saputri et al., 2024). Tahapan metode prototyping meliputi identifikasi kebutuhan sistem, perancangan prototype, pembuatan prototype, pengujian sistem, serta evaluasi dan penyempurnaan berdasarkan hasil pengujian. Metode ini memungkinkan penyesuaian sistem secara bertahap agar sesuai dengan kebutuhan pengguna dan kondisi lapangan.



Gambar 1. Kerangka Metode Prototype

Adapula tahapan dalam metode *prototyping* adalah sebagai berikut:

1. Idetifikasi Kebutuhan

Menentukan kebutuhan sistem, meliputi sensor (pH, suhu, TDS, dan ultrasonik), aktuator (pompa air), mikrokontroler ESP32, serta integrasi dengan *Thingspeak*.

2. Perancangan Prototype
   Membuat rancangan awal sistem, termasuk diagram alur kerja, rangkaian sensor dan aktuator, serta desain antarmuka untuk monitoring data secara online.
3. Pembuatan Prototype
   Mengimplementasikan rancangan ke bentuk nyata dengan merakit perangkat keras dan menulis program ESP32 untuk membaca sensor, mengirim data ke *Thingspeak*, serta mengontrol pompa secara otomatis dengan metode Hysteresis.
4. Pengujian Prototype
   Menguji fungsi sistem untuk memastikan sensor bekerja dengan akurat, data berhasil dikirim ke cloud, dan kontrol pompa merespons perubahan kualitas air dengan baik.
5. Evaluasi dan Penyempurnaan
   Melakukan perbaikan pada sistem berdasarkan hasil pengujian, seperti kalibrasi sensor, optimasi algoritma Hysteresis, atau peningkatan kestabilan koneksi *Thingspeak*.

Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan dengan memodelkan alur kerja dan arsitektur sistem menggunakan diagram *Unified Modeling Language* (UML), yang terdiri dari use case diagram dan activity diagram. Perancangan ini bertujuan untuk menggambarkan interaksi antara pengguna dan sistem, proses pembacaan data sensor, pengiriman data ke platform cloud, serta mekanisme kontrol otomatis menggunakan metode hysteresis.

Arsitektur sistem IoT dirancang dengan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor pH, sensor suhu DS18B20, sensor *Total Dissolved Solids* (TDS), serta sensor ultrasonik. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan ke platform cloud ThingSpeak melalui koneksi internet untuk penyimpanan dan visualisasi secara real-time pada dashboard berbasis web.

C. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring akuaponik berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dikembangkan berhasil diimplementasikan dan berfungsi sesuai dengan perancangan. Sistem mampu membaca parameter kualitas air yang meliputi pH, suhu air, *Total Dissolved Solids* (TDS), serta level air secara real-time menggunakan sensor yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Selain itu, sistem juga mampu memantau pertumbuhan tanaman menggunakan sensor ultrasonik dan menampilkan data tersebut pada dashboard berbasis web melalui platform ThingSpeak.

Hasil Penelitian

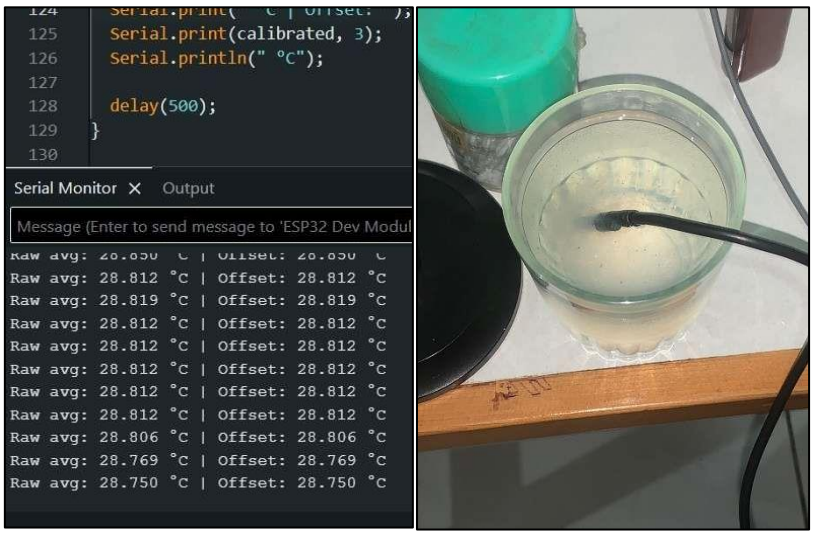
1. Pengujian sensor pH dilakukan dengan metode kalibrasi menggunakan larutan standar pH 4.01, 6.86, dan 9.18. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor pH memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan pembacaan yang relatif stabil.

Tabel 1 Hasil Pengujian dan Akurasi Sensor pH

Larutan	Referensi	Rata-rata	Akurasi (%)
pH 4.01	**4.01**	**3.99**	**99.5 %**
pH 6.86	**6.86**	**6.85**	**99.8 %**
pH 9.18	**9.18**	**9.15**	**99.7 %**

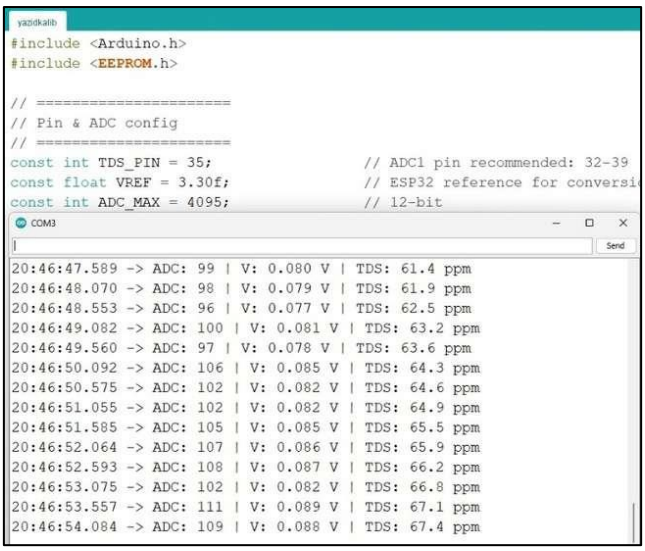
Sumber: Data hasil pengujian penelitian

2. Pengujian sensor suhu DS18B20 menunjukkan bahwa sensor mampu membaca suhu air secara stabil pada kisaran 28,7°C–28,9°C tanpa fluktuasi yang signifikan. Suhu tersebut berada dalam rentang optimal untuk budidaya ikan lele dan tanaman pakcoy pada sistem akuaponik.



Gambar 2. Hasil Pengujian Sensor Suhu

3. Hasil pengujian sensor TDS menunjukkan nilai pembacaan yang konsisten dan berada dalam rentang normal untuk sistem akuaponik. Stabilitas nilai TDS menandakan bahwa sistem mampu memantau kandungan nutrisi air secara akurat.



Gambar 3. Hasil Pengujian Sensor TDS

4. Sensor ultrasonik yang digunakan untuk mengukur level air menunjukkan respons yang baik terhadap perubahan ketinggian air. Sensor mampu mendeteksi kondisi level air tinggi, normal, dan menurun sesuai dengan batas ambang yang ditentukan pada kontrol hysteresis.
   Selain itu, sensor ultrasonik pertumbuhan tanaman mampu mengukur perubahan tinggi tanaman pakcoy secara bertahap selama masa pengamatan. Data ini digunakan untuk memperkirakan fase pertumbuhan dan estimasi waktu panen tanaman. Adapun Analisis Logika Waktu dan Tinggi Pertumbuhan Tanaman sebagai berikut:

   Analisis pertumbuhan tanaman pada sistem akuaponik dilakukan berdasarkan data jarak yang dibaca oleh sensor Ultrasonik yang dipasang pada ketinggian 25 cm di atas media tanam. Tinggi tanaman dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Tinggi Tanaman} = 25 - \text{Jarak Ultrasonik}$$

   Semakin kecil nilai jarak yang terbaca oleh sensor Ultrasonik, maka menunjukkan bahwa tanaman semakin tinggi. Hubungan antara jarak sensor dan tinggi tanaman ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hubungan Jarak Sensor Ultrasonik Terhadap Tinggi Tanaman

Jarak Ultrasonik (cm)	Tinggi Tanaman (cm)	Keterangan
20	5	Bibit
15	10	Mulai Tumbuh
10	15	Mendekati Panen
5	20	Panen

   Untuk memperkirakan waktu panen, sistem menggunakan asumsi laju pertumbuhan tanaman sebesar 0,5 cm per hari. Estimasi sisa waktu menuju panen dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Estimasi Hari Panen} = \frac{Jarak\ Ultrasonik - 5}{0{,}5}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, tanaman dengan jarak Ultrasonik yang semakin kecil menunjukkan waktu panen yang semakin dekat. Pembagian tahap pertumbuhan tanaman dan estimasi waktu panen ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Tahap Pertumbuhan Tanaman dan Estimasi Waktu Panen

Tahap	Jarak Ultrasonik (cm)	Tinggi Tanaman (cm)	Estimasi Waktu
Seedling	16–20	5–9	22–30 hari
Growing	11–15	10–14	12–20 hari
Ready	6–10	15–19	2–10 hari
Harvest	≤5	≥20	0 hari

5. Hasil pengamatan pertumbuhan tanaman pakcoy selama 14 hari menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara sistem akuaponik berbasis IoT dan sistem akuaponik konvensional.

Hasil pengamatan pertumbuhan tanaman pakcoy selama periode pengujian 14 hari menunjukkan adanya perbedaan pertumbuhan antara sistem akuaponik berbasis IoT dan sistem akuaponik konvensional, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4. Pada awal pengamatan (hari ke-0), tinggi tanaman pada kedua sistem berada pada kondisi yang sama, yaitu 5,0 cm. Namun, seiring berjalannya waktu, tanaman yang dibudidayakan pada sistem akuaponik berbasis IoT menunjukkan peningkatan tinggi yang lebih konsisten dibandingkan dengan sistem akuaponik biasa.

Tabel 4 Perbandingan Pertumbuhan Tanaman Pakcoy

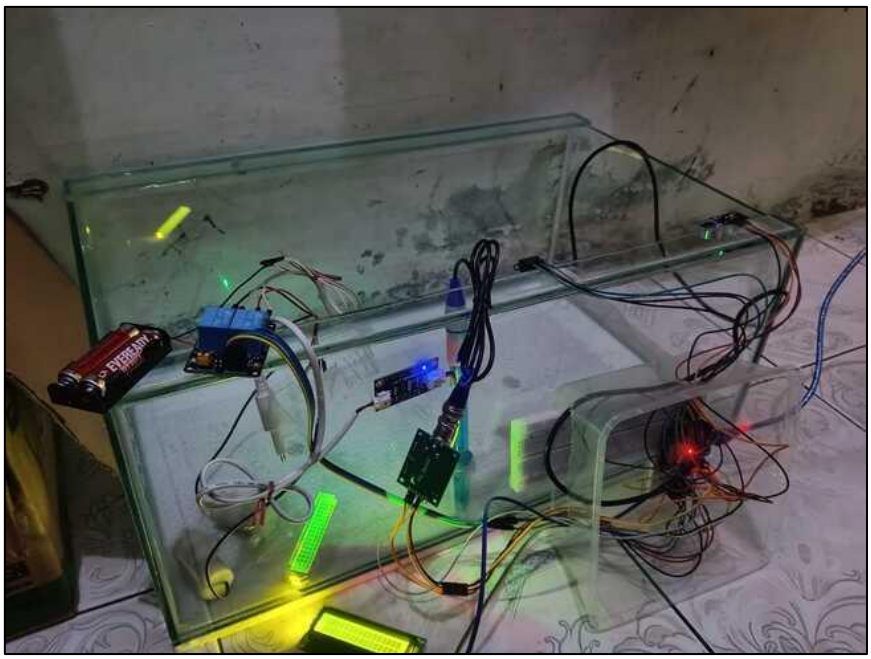
Hari ke-	Tinggi Tanaman Akuaponik IoT (cm)	Tinggi Tanaman Akuaponik Biasa (cm)	Selisih (cm)
0	5,0	5,0	0,0
2	6,2	5,6	0,6
4	7,8	6,6	1,2
6	9,6	7,9	1,7
8	11,5	9,4	2,1
10	13,7	11,0	2,7
12	15,9	12,6	3,3
14	18,2	14,1	4,1

Sumber: Data hasil pengujian penelitian

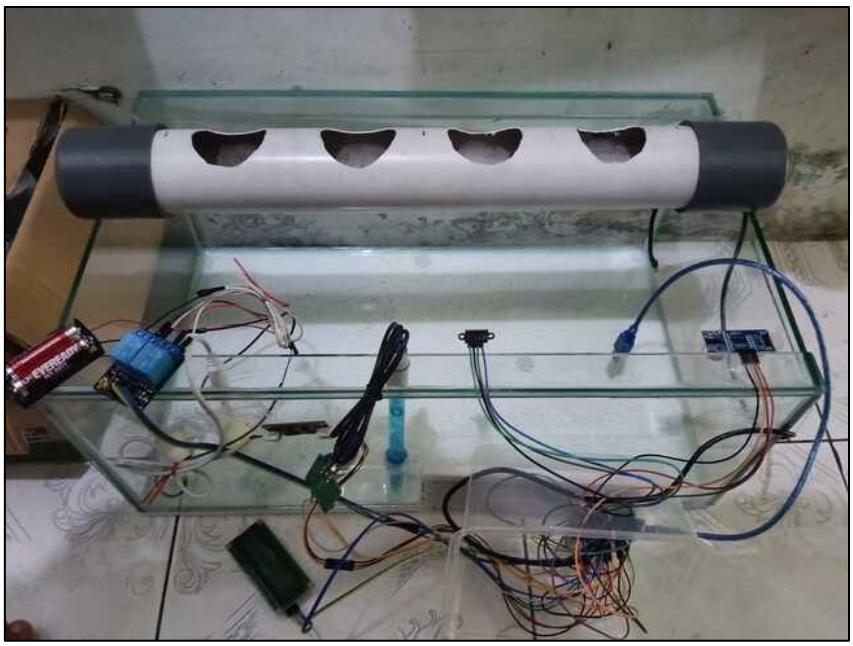
Selisih pertumbuhan mulai terlihat sejak hari ke-2 dan cenderung meningkat hingga akhir periode pengamatan pada hari ke-14, dengan selisih tinggi tanaman sebesar 4,1 cm. Peningkatan ini menunjukkan bahwa dalam rentang waktu pengujian yang dilakukan, sistem akuaponik berbasis IoT mampu mendukung pertumbuhan tanaman pakcoy secara lebih stabil. Perbedaan tersebut diduga berkaitan dengan kondisi kualitas air yang lebih terjaga pada sistem IoT selama penelitian berlangsung, khususnya dalam hal pemantauan dan pengendalian parameter pH dan nutrisi secara berkelanjutan.

Meskipun demikian, hasil ini merupakan temuan pada skala dan durasi penelitian yang terbatas, sehingga mencerminkan kinerja sistem selama periode pengamatan 14 hari. Oleh karena itu, hasil yang diperoleh dapat dijadikan sebagai indikasi awal efektivitas penerapan sistem monitoring akuaponik berbasis IoT dalam mendukung pertumbuhan tanaman, dan masih terbuka peluang untuk dilakukan pengujian lanjutan dalam jangka waktu yang lebih panjang atau pada skala yang lebih besar.

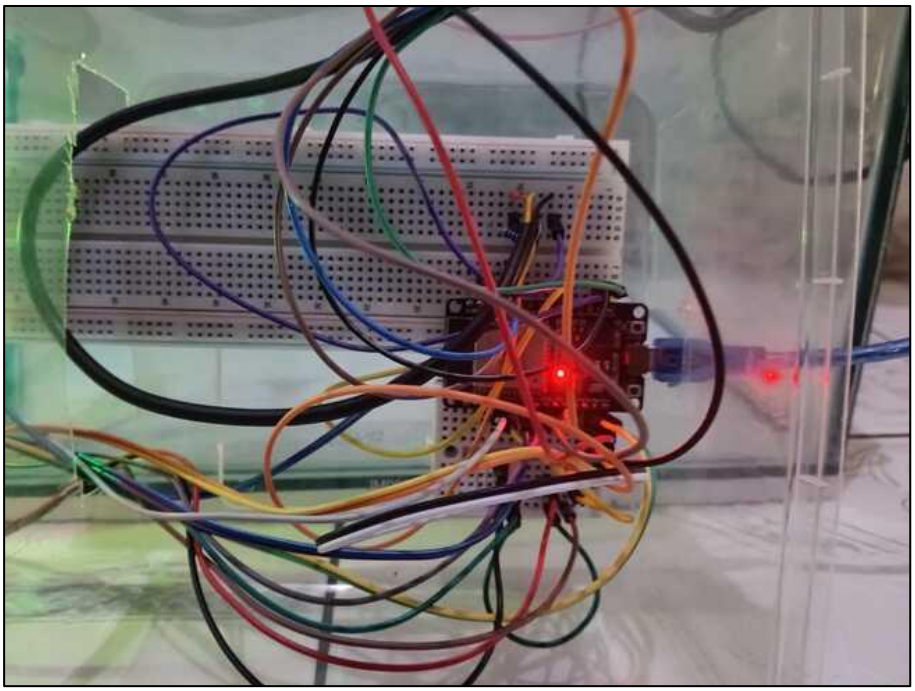
6. Tampilan sistem merupakan tampilan keseluruhan alat yang sudah berhasil dibuat dan diimplementasikan seperti pada gambar yang menggambarkan beberapa komponen yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4. Tampilan Sistem Sisi Belakang



Gambar 5. Tampilan Sistem Sisi Atas



Gambar 6. Tampilan Sistem Mikrokontroler

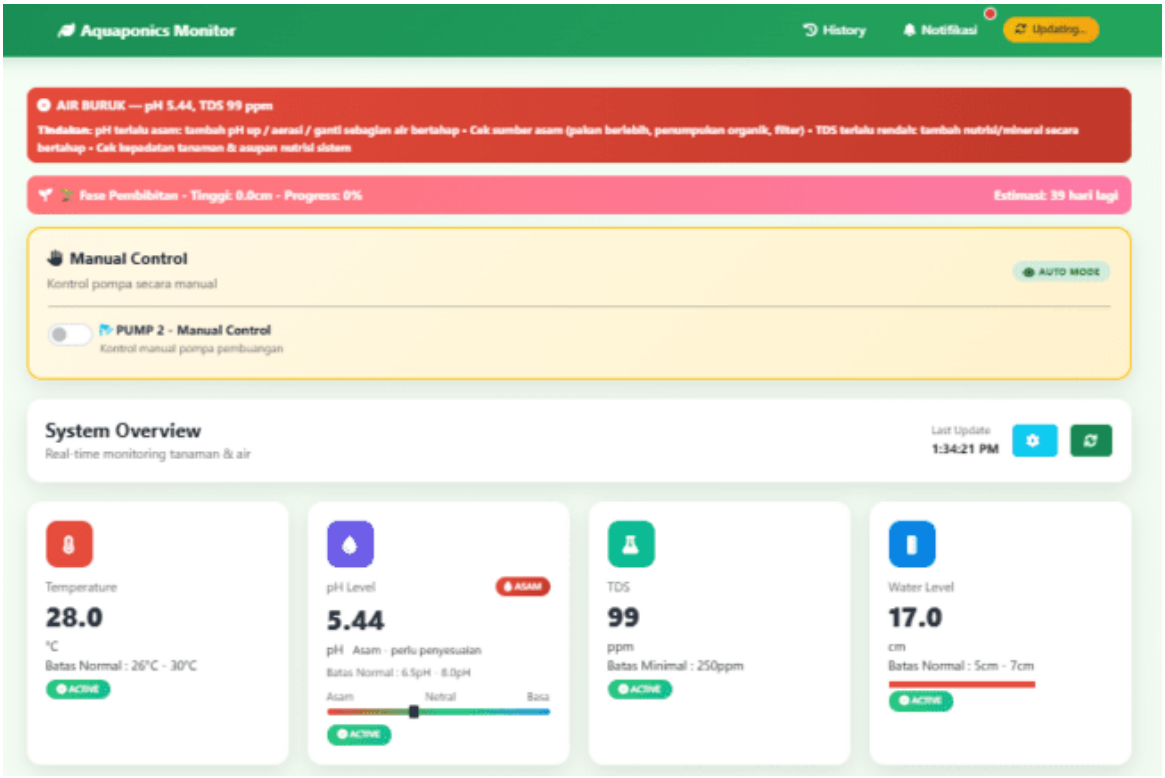
Komponen-komponen yang digunakan dalam sistem pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 5 Komponen yang digunakan dalam sistem

No	Komponen	Fungsi
1	ESP32	Mikrokontroler sebagai pengendali utama sistem untuk membaca data sensor, mengontrol pompa air, serta mengirim data ke platform IoT melalui koneksi WiFi
2	Relay	Saklar elektronik untuk mengontrol pompa air secara otomatis maupun manual berdasarkan perintah dari sistem
3	Baterai	Sumber daya listrik untuk menghidupkan pompa air
4	Sensor pH	Mengukur tingkat keasaman air yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman dan kesehatan ikan
5	Sensor Suhu	Memantau suhu air agar tetap berada pada kondisi optimal bagi sistem akuaponik
6	Sensor TDS	Mengukur kadar zat terlarut dalam air sebagai indikator tingkat nutrisi pada sistem akuaponik
7	Sensor Ultrasonik Level Air	Mengukur ketinggian air sebagai dasar pengendalian pompa air secara otomatis
8	Sensor Ultrasonik Tanaman	Memantau perkembangan dan pertumbuhan tinggi tanaman
9	LCD	Menampilkan informasi kondisi sistem secara langsung, seperti nilai sensor dan status pompa
10	Paralon Tanaman	Media tempat tumbuh tanaman sekaligus jalur aliran air dalam sistem akuaponik
11	Kabel Jumper	Menghubungkan ESP32 dengan sensor, relay, dan komponen pendukung lainnya
12	Kabel USB	Menghubungkan ESP32 ke komputer saat pemrograman serta sebagai sumber daya listrik sementara

7. Setelah sistem monitoring akuaponik berjalan dengan stabil dan mampu mengirim data sensor ke *cloud* tanpa kendala, langkah selanjutnya adalah membuat sebuah dashboard interaktif. *Dashboard* ini dirancang untuk memudahkan pengguna dalam memantau kualitas air serta kondisi tanaman, sehingga pengelolaan sistem akuaponik menjadi lebih praktis dan efisien.

p-ISSN: 2252-5351
e-ISSN: 2656-0860



Gambar 7. Tampilan Dashboard Monitoring Akuaponik

Hasil penelitian membuktikan bahwa penerapan sistem monitoring akuaponik berbasis Internet of Things (IoT) mampu menjawab permasalahan keterbatasan pemantauan manual yang selama ini menjadi kendala utama dalam pengelolaan akuaponik. Monitoring real-time melalui platform ThingSpeak memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi kualitas air dan pertumbuhan tanaman secara kontinu tanpa harus berada di lokasi, sehingga meningkatkan efisiensi pengelolaan sistem.

Penerapan kontrol hysteresis pada mikrokontroler ESP32 terbukti efektif dalam mengendalikan kerja pompa air secara otomatis. Dibandingkan dengan metode kontrol on–off konvensional yang hanya menggunakan satu ambang batas, kontrol hysteresis menerapkan batas atas dan batas bawah sehingga mampu mengurangi fenomena chattering, yaitu kondisi pompa menyala dan mati secara berulang dalam waktu singkat. Pengurangan chattering ini berdampak langsung pada peningkatan umur pakai pompa air, pengurangan beban listrik, serta menjaga kestabilan lingkungan air yang lebih kondusif bagi ikan dan tanaman. Kestabilan level air dan sirkulasi yang lebih terkontrol juga berkontribusi pada minimnya stres pada ikan serta penyerapan nutrisi yang lebih optimal oleh tanaman, sehingga mendukung keseimbangan ekosistem akuaponik secara keseluruhan. Temuan ini sejalan dengan teori kontrol hysteresis yang menyatakan bahwa penggunaan dua batas kontrol mampu meningkatkan kestabilan sistem kontrol on–off (Harpawi et al., 2021).

Pertumbuhan tanaman pakcoy pada sistem akuaponik berbasis IoT menunjukkan laju pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan sistem konvensional. Hal ini berkaitan dengan kestabilan kualitas air, khususnya parameter pH dan Total Dissolved Solids (TDS),

yang dapat dipantau dan dikendalikan secara real-time. Lingkungan air yang lebih stabil memungkinkan tanaman menyerap nutrisi secara lebih konsisten, sehingga pertumbuhan berlangsung lebih optimal. Temuan ini memperkuat hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penerapan IoT pada sistem akuaponik mampu meningkatkan efisiensi dan produktivitas budidaya (Kris Widiantara et al., 2021) (Syaputra & Prawira, 2024), dengan tambahan kontribusi pada aspek kontrol otomatis yang lebih stabil.

Dari sisi implikasi praktis, sistem yang dikembangkan memiliki potensi untuk diterapkan pada skala kecil hingga menengah, khususnya bagi petani akuaponik di Indonesia. Penggunaan mikrokontroler ESP32, sensor yang relatif terjangkau, serta platform cloud ThingSpeak yang mudah diakses menjadikan biaya implementasi sistem ini relatif rendah. Selain itu, arsitektur sistem bersifat modular sehingga dapat dikembangkan atau diskalakan sesuai kebutuhan, baik dengan penambahan jumlah sensor maupun integrasi fitur lanjutan, tanpa memerlukan perubahan mendasar pada sistem utama.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Sensor ultrasonik yang digunakan untuk memantau pertumbuhan tanaman dan level air berpotensi mengalami penurunan akurasi pada lingkungan dengan tingkat kelembapan tinggi atau adanya percikan air. Selain itu, penggunaan ESP32 dengan koneksi WiFi yang aktif secara terus-menerus dapat meningkatkan konsumsi daya, sehingga pada implementasi jangka panjang diperlukan perancangan manajemen daya yang lebih efisien. Pengujian sistem juga dilakukan dalam durasi dan skala yang terbatas, sehingga penelitian lanjutan dengan periode pengamatan yang lebih panjang dan kondisi lingkungan yang lebih beragam masih diperlukan untuk menguji keandalan sistem secara menyeluruh.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengonfirmasi teori yang telah ada mengenai manfaat IoT dan kontrol hysteresis dalam sistem pertanian cerdas, tetapi juga menunjukkan penerapan praktisnya pada sistem akuaponik skala kecil yang berfungsi secara nyata, stabil, dan berpotensi dikembangkan lebih lanjut sesuai kebutuhan pengguna.

D. Kesimpulan

Berdasarkan temuan penelitian, dapat disimpulkan beberapa poin sebagai berikut:

1. Sistem monitoring akuaponik berbasis IoT telah berfungsi sesuai dengan tujuan perancangan, mampu melakukan monitoring real-time dan kontrol otomatis dengan baik. Meskipun masih terdapat keterbatasan seperti ketergantungan pada koneksi internet dan perlunya kalibrasi sensor, sistem dinilai layak digunakan serta berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut.
2. Penerapan metode kontrol hysteresis pada sistem akuaponik terbukti mampu mengendalikan kerja pompa air secara otomatis berdasarkan batas atas dan batas bawah yang telah ditentukan. Metode ini mampu menjaga kestabilan kondisi air, mengurangi frekuensi *switching* pompa, serta mendukung lingkungan akuaponik yang lebih optimal bagi pertumbuhan ikan dan tanaman.

Daftar Pustaka

Aravind, S. (2022). *The Role of HTML5 and CSS3 in Creating Optimized Graphic Prototype Websites and Application Interfaces*. *20*(12), 4522–4536. https://doi.org/10.48047/NQ.2022.20.12.NQ77775

Daniesar, M. N., Dewi, T., Oktarina, Y., Terapan, S., Elektro, T., Teknik, J., Sriwijaya, E.-P. N., & Elektronika, T. (2023). Aplikasi Sensor Ultrasonik Dalam Pembacaan Level Air Pada Sistem Pertanian Aquaponic. *Jurnal Teliska*, *02*(03), 91–102.

Dauhan, R. E. S., Efendi, E., & Suparmono. (2014). Efektifitas Sistem Akuaponik Dalam Mereduksi Konsentrasi. *E-Journal Rekayasa Dan Teknologi Budidaya Perairan*, *3*(1), 298–302.

Djauhari, R., Rizali, A., Rozik, M., Rosita, R., Sylvia Monalisa, S., & Noor Yasin, M. (2024). Kinerja Pertumbuhan Ikan Lele (Clarias Sp) Yang Diberikan Pakan Dengan Campuran Ekstrak Batang Pisang (Musa Sp). *Journal Of Tropical Fisheries*, *19*(2), 1–6. Https://Doi.Org/10.36873/Jtf.V19i2.15539

Efendi, Y. (2018). Internet Of Things (Iot) Sistem Pengendalian Lampu Menggunakan Raspberry Pi Berbasis Mobile. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, *4*(2), 21–27. https://doi.org/10.35329/jiik.v4i2.41

Harpawi, N., Susantok, M., & Triyani, Y. (2021). *Penerapan Voltage Level Detector (VLD) With Hysteresis Untuk Kontrol Level Air*. *7*(2), 127–135.

Jain, R., Shrivastava, V., Pandey, A., & Sharma, A. (2024). *Modern Web Development using CSS & HTML*. *6378*(6), 13–16. https://doi.org/10.35940/ijese.G2574.12060524

Jain, S., Shrivastava, V., Pandey, A., & Mishra, P. M. (2024). *International Journal of Research Publication and Reviews The Evolution of Contemporary Web Development with JavaScript*. *5*(3), 1723–1729.

Kahfi, I., Fauzi, R., Sollu, T. S., & Alamsyah, A. (2024). Implementasi Algoritma Fuzzy Pada Sistem Kontrol Aquaponik Padi. *Foristek*, *14*(2). https://doi.org/10.54757/fs.v14i2.580

Kris Widiantara, I. M., Linawati, L., & Wiharta, D. M. (2021). Rancang Bangun Akuaponik Berbasis Internet of Things. *Jurnal SPEKTRUM*, *8*(1), 243. https://doi.org/10.24843/spektrum.2021.v08.i01.p27

Megawati, D., Masykuroh, K., & Kurnianto, D. (2020). Rancang Bangun Sistem Monitoring PH dan Suhu Air pada Akuaponik Berbasis Internet of Thing (IoT). *TELKA - Telekomunikasi Elektronika Komputasi Dan Kontrol*, *6*(2), 124–137. https://doi.org/10.15575/telka.v6n2.124-137

Nandika, R., & Amrina, E. (2021). SISTEM HIDROPONIK BERBASIS INTERNET of THINGS (IoT). *Sigma Teknika*, *4*(1), 1–8. https://doi.org/10.33373/sigmateknika.v4i1.3253

Pamungkas, L., Rahardjo, P., & Raka Agung, I. G. A. P. (2021). Rancang Bangun Sistem Monitoring Pada Hidroponik Nft (Nurtient Film Tehcnique) Berbasis Iot. *Jurnal SPEKTRUM*, *8*(2), 9. https://doi.org/10.24843/spektrum.2021.v08.i02.p2

Prihasworo, L., Fittrin, D. W., Oktiawati, U. Y., Nur, H., Wahyo, Y., Vokasi, S., & Mada, U. G. (2020). *Rancang Bangun Smart DC Current and Voltage Monitoring Dengan Thingspeak Pada Simulator PLN Laboratorium Teknik Tenaga Listrik UGM*. *1*(2), 39–48.

Saputri, M. I., Handayani, V. R., Rahmawati, E., & Kesuma, C. (2024). *Penerapan Metode Prototype Dalam Perancangan Sistem Informasi Service Pada Bengkel Sido Motor Berbasis Website*. *4*(2), 39–47.

Susianti. (2021). Pertumbuhan dan Produksi Pakcoy (Brassica rapa L.) Pada Berbagai Jenis Media Tanam dan Konsentrasi Air Kelapa Fermentasi dengan Sistem Hidroponik Rakit Apung. *Skripsi. Universitas Hasanuddin.*, 1–30.

Syaputra, A., & Prawira, N. S. (2024). Implementasi Teknologi IoT dalam Sistem Akuaponik dan Akuakultur Modern untuk Optimasi Pertumbuhan Ikan Lele. *Ilkomnika*, *6*(3), 383–392. https://doi.org/10.28926/ilkomnika.v6i3.692

W Ibrahim, W. H., Abdul Rasid, R., Hariyanto, N. S., Mohd Faizal, N. A., & Mazlan, N. N. (2023). Smart Home Aquaponic System Monitoring and Control with Internet of Things Using Mobile Application. *Journal of Chemical Engineering and Industrial Biotechnology*, *9*(1), 20–25. https://doi.org/10.15282/jceib.v9i1.8723