

Pengembangan Irigasi Cerdas Budidaya Aquahydroponik Menggunakan System Iot Di Taman Cangkruan²⁵

Ach.Maulidani Ubaidillah Solichin ^{1)*} , Moh.Firman Hidayat ²⁾ 

¹⁾²⁾ *Unifersitas Madura, Pamekasan, Indonesia*

¹⁾ ubaidillah2266@gmail.com ²⁾ firmanhyuga95@gmail.com

Abstract

Aquahydroponik merupakan integrasi sistem akuakultur dan hidroponik yang mengandalkan sirkulasi air sebagai pembawa nutrisi tanaman. Namun, parameter kualitas air seperti pH, suhu, dan ketinggian air sering mengalami fluktuasi sehingga berdampak pada kesehatan ikan dan pertumbuhan tanaman. Sistem manual yang digunakan oleh petani kerap menyebabkan keterlambatan deteksi anomali serta ketidakkonsistenan dalam irigasi. Penelitian ini mengembangkan sistem irigasi cerdas berbasis Internet of Things (IoT) untuk mengotomasi monitoring kualitas air dan pengaturan aliran nutrisi pada instalasi Aquahydroponik di Taman Cangkruan²⁵. Sistem memanfaatkan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor pH, sensor suhu air DS18B20, sensor kelembapan udara DHT22, sensor level air ultrasonik HC-SR04, serta modul RTC DS3231 sebagai pengatur jadwal irigasi. Pengujian dilakukan melalui pemantauan parameter air dan evaluasi pertumbuhan tanaman pakcoy serta ikan lele. Hasil menunjukkan bahwa sistem dapat menjaga pH pada rentang optimal 6.5–7.5, menurunkan konsumsi air hingga 40%, dan meningkatkan pertumbuhan tanaman sebesar 20–30% dibandingkan sistem manual. Tingkat kelangsungan hidup ikan mencapai 93.33%. Implementasi sistem ini membuktikan potensi teknologi IoT dalam meningkatkan efisiensi budidaya berkelanjutan melalui otomasi dan monitoring berbasis data.

Kata Kunci: IoT, irigasi cerdas, aquahydroponik, monitoring kualitas air, ESP32.

Article history: Received 5 April 2025, first decision 22 April 2025, accepted 22 August 2025, available online 28 October 2025

I. PENDAHULUAN

Aquahydroponik merupakan sebuah sistem budidaya terpadu yang menggabungkan prinsip akuakultur dan hidroponik dalam satu rangkaian aliran air berkelanjutan[1], [2]. Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan limbah metabolik ikan sebagai sumber nutrisi bagi tanaman, sehingga tercipta hubungan simbiotik yang saling menguntungkan. Tanaman bertindak sebagai filter biologis yang menurunkan kadar amonia, nitrit, dan nitrat dalam air, sementara ikan menjadi produsen limbah organik yang kemudian diubah oleh mikroorganisme menjadi unsur hara yang dapat diserap tanaman. Kombinasi ini membuat Aquahydroponik menjadi alternatif pertanian modern yang efisien dalam penggunaan air, ramah lingkungan, dan mampu beroperasi pada lahan terbatas[3], [4], [5].

Meskipun menjanjikan banyak keunggulan, sistem Aquahydroponik menuntut pengelolaan kualitas air yang sangat ketat. Setiap fluktuasi yang terjadi pada parameter seperti pH, suhu air, oksigen terlarut, dan ketinggian air dapat berdampak langsung pada kesehatan ikan maupun pertumbuhan tanaman[6], [7], [8]. Tanaman membutuhkan ketersediaan nutrisi yang stabil untuk mempertahankan proses fotosintesis dan metabolisme, sedangkan ikan sangat sensitif terhadap perubahan pH dan suhu. Ketidakseimbangan kecil saja dapat menyebabkan terganggunya proses nitrifikasi, menurunkan kualitas air, dan pada akhirnya mempengaruhi keseluruhan hasil produksi[9], [10], [11].

Pada praktik budidaya skala kecil dan menengah, termasuk di Taman Cangkruan²⁵, pengelolaan kualitas air dan irigasi masih mengandalkan metode manual. Operator harus melakukan pengecekan pH, mengukur suhu air, memperhatikan ketinggian air, dan menyalakan pompa sesuai kebutuhan. Cara ini tidak hanya memakan waktu, tetapi juga sangat bergantung pada kehadiran dan ketelitian operator. Ketidakteraturan jadwal pengukuran, keterbatasan frekuensi pemeriksaan, serta tidak adanya pencatatan data secara sistematis membuat perubahan kondisi air sering terlambat diketahui. Selain itu, pengaturan irigasi berdasarkan perkiraan atau intuisi menyebabkan nutrisi tidak selalu tersalurkan secara tepat waktu. Kondisi tersebut menyebabkan pertumbuhan tanaman sering tidak optimal, sementara ikan rentan mengalami stres lingkungan[12], [13], [14], [15].

Perkembangan teknologi digital, khususnya Internet of Things (IoT), memberikan peluang besar untuk menjawab tantangan tersebut. IoT memungkinkan perangkat sensor, mikrokontroler, dan aktuator bekerja dalam satu jaringan

* Ubaidillah

yang mampu mengumpulkan data secara real-time, melakukan analisis dasar, serta mengeksekusi tindakan otomatis berdasarkan kondisi aktual. Dalam konteks Aquahydroponik, IoT dapat berfungsi sebagai sistem yang mengawasi kualitas air secara terus-menerus, mengatur aliran nutrisi, dan mengoptimalkan irigasi tanpa bergantung pada interaksi manusia secara langsung. Data yang terkumpul kemudian dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan, baik pada pengaturan sistem saat ini maupun dalam perbaikan rancangan budidaya di masa mendatang[7], [16], [17], [18].

Pemanfaatan IoT dalam pertanian modern bukan hanya menawarkan efisiensi, tetapi juga menciptakan sistem yang lebih presisi, stabil, dan adaptif terhadap perubahan lingkungan. Berbagai penelitian menunjukkan peningkatan kualitas budidaya ketika proses monitoring dan irigasi dilakukan secara otomatis. Namun, sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada hidroponik atau aquaponik secara terpisah. Penggabungan keduanya dalam konteks Aquahydroponik masih relatif jarang menjadi fokus kajian, terutama ketika mempertimbangkan integrasi multi-sensor, mekanisme irigasi otomatis, dan evaluasi simultan terhadap performa tanaman dan ikan. Dengan demikian, penerapan IoT pada sistem Aquahydroponik bukan hanya menjadi inovasi praktis, tetapi juga memberikan kontribusi signifikan terhadap literatur ilmiah yang membahas pertanian presisi berbasis data[6], [19], [20], [21], [22].

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pengelolaan kualitas air merupakan inti dari keberhasilan sistem budidaya berbasis air, termasuk aquaponik dan Aquahydroponik. Dalam sistem terpadu seperti ini, air berfungsi tidak hanya sebagai media hidup ikan tetapi juga sebagai pembawa nutrisi bagi tanaman[23]. Literatur agronomi dan akuakultur secara konsisten menekankan bahwa keseimbangan kualitas air harus dijaga secara presisi karena parameter seperti pH, suhu, ketinggian air, kadar oksigen terlarut, dan total nutrisi menentukan kelangsungan hidup ikan serta kecepatan pertumbuhan tanaman. Ketika parameter-parameter tersebut mengalami fluktuasi di luar batas ideal, tanaman dapat mengalami defisiensi nutrisi sementara ikan rentan terhadap stres lingkungan yang dapat berakhir pada kematian[13], [18], [19].

Pengelolaan air yang dilakukan secara manual sering kali tidak mampu memenuhi kebutuhan monitoring yang bersifat dinamis[24], [25]. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa perubahan kualitas air dapat terjadi dalam hitungan menit, terutama pada sistem budidaya dengan kepadatan tanaman dan ikan yang tinggi. Oleh karena itu, pendekatan manual cenderung menghasilkan data yang tidak kontinu dan kurang akurat, sehingga tindakan korektif sering terlambat dilakukan. Literatur modern mengarahkan budidaya berbasis air menuju pemanfaatan teknologi otomatis berbasis sensor agar pemantauan dapat dilakukan secara real-time, berkelanjutan, dan minim kesalahan manusia[26], [27].

Perkembangan Internet of Things (IoT) memberi kontribusi besar terhadap industri pertanian modern dan menjadi fondasi bagi konsep pertanian presisi[28]. IoT menghubungkan berbagai perangkat fisik seperti sensor, modul mikrokontroler, dan aktuator dalam satu ekosistem digital yang mampu memproses data secara otomatis dan mengambil tindakan berdasarkan logika tertentu. Dalam konteks teknologi pertanian, IoT telah banyak digunakan untuk mengatur penyiraman tanaman, memantau kelembapan tanah, menganalisis intensitas cahaya, serta mengontrol suhu ruang tanam. Keberadaan IoT tersebut memungkinkan sistem budidaya beroperasi secara lebih efisien karena setiap keputusan penyiraman atau pemberian nutrisi didasarkan pada kondisi aktual, bukan pada perkiraan operator[22], [29], [30], [31], [32].

Dalam sistem irigasi cerdas, parameter lingkungan menjadi penentu utama kapan dan seberapa banyak air harus dialirkan kepada tanaman. Studi eksperimental menunjukkan bahwa irigasi berbasis sensor dapat menghemat air hingga lebih dari 40% dibandingkan metode konvensional yang mengandalkan timer atau penyiraman manual. Irigasi cerdas juga membantu menjaga tanaman agar tetap berada pada kondisi optimal karena nutrisi dan air diberikan hanya ketika diperlukan. Pada sistem berbasis air seperti Aquahydroponik, irigasi tidak hanya terkait dengan suplai air untuk tanaman, tetapi juga berhubungan langsung dengan stabilitas kolam ikan. Oleh karena itu, teknologi irigasi otomatis yang presisi sangat dibutuhkan untuk memastikan kontinuitas nutrisi tanpa mengganggu keseimbangan biologis dalam kolam[25], [26], [27], [33].

Penggunaan sensor dalam sistem Aquahydroponik telah menjadi aspek fundamental dalam penelitian-penelitian terdahulu. Sensor pH digunakan untuk memantau derajat keasaman air, yang sangat menentukan kesehatan organisme akuatik. Rentang pH 6.0 hingga 7.5 sering disebut sebagai batas ideal bagi ikan air tawar sekaligus cukup stabil untuk proses nitrifikasi. Sensor suhu air seperti DS18B20 banyak digunakan karena kemampuannya bekerja dalam media berair tanpa terpengaruh korosi dan memiliki akurasi yang baik. Sensor kelembapan udara DHT22 mendukung pemantauan lingkungan sekitar tanaman untuk menjaga kondisi mikroklimat. Sementara sensor ultrasonik HC-SR04 sering diadopsi untuk memantau ketinggian air guna mencegah terjadinya kekeringan pompa. Integrasi keempat jenis sensor ini memungkinkan monitoring multi-parameter yang saling melengkapi sehingga gambaran utuh mengenai kondisi ekosistem dapat diperoleh[7], [34], [35], [36], [37].

Di samping itu, teknologi mikrokontroler seperti ESP32 semakin banyak digunakan karena memiliki kemampuan komputasi yang lebih baik dibandingkan generasi sebelumnya. ESP32 mendukung konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth, sehingga data sensor dapat dikirimkan ke dashboard atau aplikasi pemantauan secara online. Perangkat ini juga mampu menjalankan beberapa proses secara bersamaan, seperti membaca sensor, mengatur aktuator, mengirim data, dan memproses logika irigasi otomatis. Keunggulan inilah yang menjadikan ESP32 sebagai pilihan utama dalam berbagai penelitian terkait IoT di bidang pertanian dan perikanan[38], [39], [40], [41].

Literatur mengenai aquaponik dan Aquahydroponik menjelaskan bahwa keberhasilan sistem sangat bergantung pada proses biologis nitrifikasi, yaitu perubahan amonia menjadi nitrit dan kemudian menjadi nitrat oleh bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*[31]. Amonia berasal dari limbah metabolik ikan, sedangkan nitrat merupakan bentuk nutrisi yang diserap tanaman. Proses ini sangat rentan terhadap perubahan pH dan suhu. Jika pH meningkat terlalu tinggi, amonia berubah menjadi bentuk toksik yang berbahaya bagi ikan. Sebaliknya, jika pH terlalu rendah, proses nitrifikasi menjadi lambat sehingga nutrisi untuk tanaman berkurang[42], [43]. Oleh karena itu, monitoring otomatis berbasis IoT mampu memberikan keuntungan karena dapat mendeteksi perubahan lebih cepat dan menjaga parameter tetap stabil.

Beberapa studi juga mengungkapkan bahwa tanaman daun seperti pakcoy dan selada sangat responsif terhadap kualitas air yang stabil. Pertumbuhan daun, tinggi tanaman, dan biomassa terbukti lebih optimal ketika nutrisi disuplai secara merata melalui irigasi yang terjadwal dan dikontrol secara otomatis. Dalam sistem manual, fluktuasi debit air menyebabkan ketidakseimbangan pasokan nutrisi, yang kemudian berpengaruh pada tingkat fotosintesis dan perkembangan jaringan tanaman[44], [45]. Sistem otomatis berbasis IoT mengatasi kendala tersebut melalui integrasi antara sensor kualitas air dan aktuator irigasi, sehingga aliran nutrisi lebih konsisten dan sesuai kebutuhan tanaman[46], [47].

Meskipun penerapan IoT pada hidroponik dan akuakultur telah banyak diteliti, masih terdapat kesenjangan studi pada integrasi penuh IoT dalam sistem Aquahydroponik, khususnya yang menggabungkan monitoring multi-sensor dan irigasi otomatis pada skala kecil dan menengah. Banyak penelitian sebelumnya hanya menitikberatkan pada satu aspek, misalnya pemantauan pH atau pengaturan pompa air berbasis waktu[48]. Kajian yang menggabungkan pemantauan kualitas air secara komprehensif dengan sistem irigasi otomatis dan analisis performa biologi tanaman dan ikan secara bersamaan masih relatif terbatas[49]. Dengan demikian, penelitian mengenai pengembangan irigasi cerdas untuk Aquahydroponik berbasis IoT menjadi relevan untuk diangkat, baik dari aspek implementasi teknis maupun kontribusi ilmiahnya dalam pengembangan pertanian modern.

III. METODE

1) Pengumpulan Data

Proses awal penelitian dilakukan melalui dua pendekatan pengumpulan data, yaitu wawancara terstruktur dan studi literatur. Kedua metode ini dipilih karena mampu memberikan pemahaman mendalam mengenai kondisi lapangan sekaligus menyediakan landasan teori yang kuat untuk merancang sistem irigasi cerdas berbasis IoT.

1.1 Wawancara Terstruktur

Wawancara terstruktur digunakan agar data yang diperoleh lebih terarah dan sesuai kebutuhan perancangan sistem. Wawancara merupakan bentuk komunikasi langsung antara peneliti dan responden, yang bertujuan menggali informasi secara mendalam mengenai proses budidaya aquaponik dan hidroponik di Taman Cangkruman²⁵.

Wawancara dilakukan dengan pemilik taman sebagai pengelola utama budidaya. Informasi yang diperoleh mencakup:

- Pola perawatan ikan dan tanaman yang dilakukan secara manual.
- Frekuensi penyiraman dan pemberian nutrisi, yang masih mengandalkan perkiraan.
- Masalah umum seperti perubahan kualitas air yang tidak terdeteksi.
- Kebutuhan sistem yang dapat bekerja otomatis tanpa harus diawasi terus-menerus.
- Permintaan fitur yang praktis, seperti monitoring kesehatan air secara real-time.

Data ini sangat penting karena menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan fungsional dari sistem IoT yang akan dikembangkan.

1.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan secara sistematis untuk mempelajari penelitian-penelitian terkait irigasi cerdas, aquaponik, hidroponik, dan teknologi IoT. Literatur memberikan pemahaman mengenai:

- Prinsip dasar IoT dalam otomasi pertanian.
- Teknik integrasi sensor kualitas air.
- Mekanisme pengaturan irigasi berbasis data.
- Tantangan penerapan IoT di lingkungan budidaya.

Hasil kajian pustaka memperkuat keputusan pemilihan komponen seperti ESP32, sensor pH, DS18B20, serta relay sebagai pengendali pompa dan solenoid valve. Selain itu, literatur menjadi rujukan dalam menentukan arsitektur sistem yang paling efisien untuk kondisi lapangan di Taman Cangkruman²⁵.

2) Analisis Kebutuhan Sistem

Analisis kebutuhan dilakukan dengan menggabungkan hasil wawancara, observasi lapangan, dan kajian teori. Dalam proses analisis data mencakup pengelompokan dan pengkodean informasi untuk menentukan kebutuhan inti sistem. Adapun kebutuhan utama yang teridentifikasi adalah:

1. Kemudahan dalam melakukan pembudidayaan, terutama dalam hal penyiraman dan sirkulasi air.
2. Monitoring kesehatan air, khususnya parameter pH dan suhu air.
3. Monitoring tanaman dan ikan untuk memastikan proses budidaya berjalan optimal.

Selain tiga poin tersebut, hasil wawancara juga mengungkap kebutuhan tambahan, yaitu:

- Sistem harus bekerja otomatis agar tidak bergantung pada kehadiran operator.
- Segala proses, terutama aliran air, harus aman bagi ikan dan tanaman.
- Perangkat harus mudah dipasang dan tidak mengganggu alur budidaya yang sudah ada.

Analisis kebutuhan ini menjadi pondasi bagi desain sistem IoT selanjutnya.

3) Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan secara top-down, dimulai dari Alat dan Bahan yang akan digunakan sistem, Arsitektur sistem serta flowchart irigasi otomatis.

3.1 Alat dan Bahan

Tabel 1 Alat dan Bahan

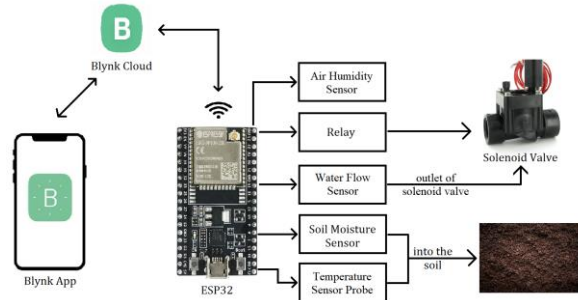
Alat/Bahan	Fungsi
ESP32	Mikrokontroler utama
Sensor pH SEN0161	Pengukur pH air
DS18B20	Pengukur suhu air
DHT22	Pengukur suhu & kelembapan
HC-SR04	Pengukur level air
Relay 4 Channel	Pengendali pompa & solenoid
Power Supply	Penyedia daya stabil
Pompa Air	Mengalirkan air ke hidroponik
Solenoid Valve	Pengatur buka-tutup aliran air

Untuk proses perakitan, breadboard dan jumper wires digunakan sebagai media koneksi komponen agar fleksibel saat pengujian rangkaian. Power supply switching dipilih karena memiliki efisiensi tinggi dan daya yang stabil.

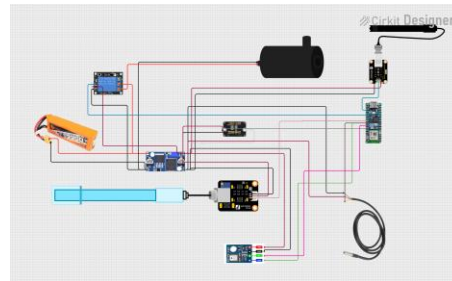
3.2 Asitektur Sistem

Arsitektur terdiri dari:

- Sensor pH SEN0161 → ADC ESP32
- Sensor Suhu DS18B20 → OneWire pin
- DHT22 → Digital pin
- HC-SR04 → Trig & Echo ke pin digital
- RTC DS3231 → I2C (SDA/SCL)
- Relay 4 Channel → GPIO ESP32
- LCD I2C → SDA/SCL



Gambar 1 Arsitektur Sistem



Gambar 2 Arsitektur Sistem

Arsitektur ini memastikan setiap sensor berfungsi sebagai input data kualitas air, sedangkan komponen seperti pompa dan solenoid valve berperan sebagai aktuator yang dikendalikan secara otomatis.

3.3 Flowchart Sistem

Flowchart ini menjelaskan alur kerja sistem mulai dari pembacaan sensor, pemrosesan data, pemberian perintah kepada pompa/solenoid, hingga monitoring kondisi air.



Gambar 3 Flowchart Sistem



Gambar 4 Flowchart Alur Kerja Sistem

Flowchart ini menunjukkan bahwa sistem berjalan secara kontinu dan membuat keputusan otomatis berdasarkan nilai ambang yang ditentukan.

4) Prosedur Implementasi Sistem IoT

Prosedur implementasi sistem IoT pada budidaya Aquahidroponik dimulai dengan tahap persiapan perangkat dan area budidaya. Pada tahap awal, peneliti menyiapkan kolam ikan, jalur hidroponik, serta buffer tank yang menjadi titik kontrol utama sebelum air dialirkan ke instalasi tanaman. Tahap persiapan ini mencakup pengaturan ulang posisi instalasi untuk memastikan bahwa sensor dan aktuator dapat dipasang pada titik yang tepat sehingga sistem mampu bekerja secara optimal. Penempatan sensor dilakukan secara strategis berdasarkan karakteristik parameter yang diukur. Sensor pH dipasang langsung pada kolam ikan untuk mengetahui tingkat keasaman air secara real-time, sedangkan sensor suhu DS18B20 ditempatkan di titik aliran air agar mampu mendeteksi perubahan suhu dengan cepat dan akurat. Sensor ultrasonik ditempatkan pada buffer tank untuk menghindari kondisi pompa berjalan tanpa air, sementara sensor DHT22 diposisikan di area tanaman guna memonitor suhu dan kelembapan udara sekitar tanaman[27], [50], [51], [52].

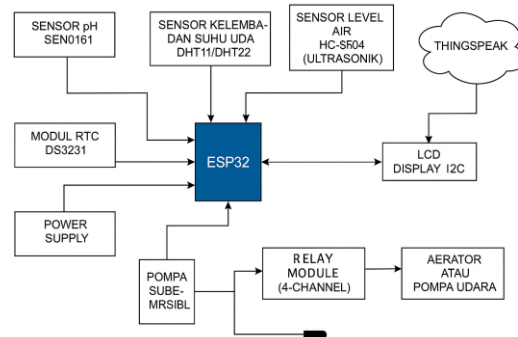
Setelah proses persiapan area selesai, peneliti mulai melakukan integrasi antara sistem aquaponik dan hidroponik dengan menghubungkan jalur aliran air secara langsung ke instalasi hidroponik. Air dari kolam ikan tidak dialirkan begitu saja ke tanaman, melainkan melewati proses pemantauan kualitas terlebih dahulu melalui pembacaan sensor-sensor yang telah terpasang. Integrasi ini bertujuan memastikan bahwa suplai nutrisi yang diterima tanaman tetap aman dan tidak mengganggu kesehatan ikan. Sensor-sensor tersebut mengukur pH, suhu air, dan parameter lain sebelum pompa mengalirkan air ke instalasi hidroponik. Dengan mekanisme ini, sistem mampu memastikan bahwa hanya air dengan kondisi stabil yang diteruskan sebagai nutrisi bagi tanaman hidroponik. Proses ini secara langsung menggantikan metode manual yang sebelumnya dilakukan operator dengan mengandalkan intuisi dan pengamatan visual terhadap kualitas air[10], [22], [53].

Penerapan sistem ini juga memperhatikan aspek keamanan bagi perangkat dan organisme budidaya. Mekanisme keamanan dirancang untuk mencegah terjadinya kerusakan perangkat maupun risiko bagi ikan. Salah satu fitur yang diimplementasikan adalah penggunaan sensor level air pada buffer tank untuk mendeteksi ketinggian air secara terus-menerus. Jika air berada di bawah batas minimum, sistem akan secara otomatis menonaktifkan pompa guna menghindari kondisi dry run yang dapat menyebabkan kerusakan pada pompa. Selain itu, penambahan nutrisi tanaman tidak dilakukan langsung pada kolam ikan, melainkan pada buffer tank untuk menghindari perubahan komposisi air yang dapat membahayakan ikan[54]. Langkah ini memastikan bahwa ekosistem ikan tetap stabil meskipun sistem mengalami proses penyesuaian kualitas air secara berkala. Sistem otomatis juga dirancang untuk berhenti bekerja jika parameter air tidak berada dalam kondisi ideal sehingga menghindari potensi kerusakan tanaman maupun stres pada ikan akibat aliran air yang tidak layak bagi budidaya.

Tahap terakhir dalam implementasi adalah proses kontrol otomatis yang dilakukan oleh mikrokontroler ESP32. Sistem membaca data dari seluruh sensor yang terhubung, lalu memprosesnya untuk menentukan tindakan yang perlu dilakukan. Jika pH dan suhu air berada pada tingkat stabil dan ketinggian air mencukupi, pompa akan diaktifkan untuk mengalirkan air ke instalasi tanaman sesuai jadwal atau kebutuhan. Solenoid valve akan membuka atau menutup tergantung pada hasil pembacaan sensor dan logika kontrol yang telah diprogram sebelumnya. Proses ini menjadikan sistem irigasi tidak hanya bergantung pada waktu, tetapi juga pada kondisi aktual kualitas air sehingga lebih adaptif dibandingkan sistem manual. Selain itu, sistem menampilkan seluruh informasi tersebut pada LCD I2C agar pengguna dapat melakukan pemantauan secara visual terhadap kondisi air dan status perangkat. Tahap ini merupakan inti dari implementasi sistem IoT karena seluruh perangkat bekerja secara otomatis berdasarkan algoritma yang telah dirancang dan kondisi lingkungan budidaya yang terus berubah[18], [55].

5) Diagram Blok Sistem

Sistem irigasi cerdas ini dirancang untuk membantu petani dalam mengatur penyiraman tanaman secara otomatis dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT). Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk mengurangi pemborosan air dan energi, sekaligus mendukung konsep pertanian berkelanjutan.

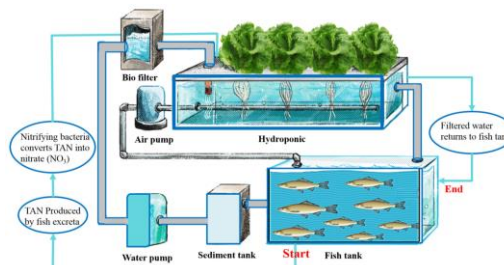


Gambar 5 Diagram Blok

IV. HASIL

Hasil Implementasi sistem IoT irigasi cerdas pada budidaya aquahidroponik di Taman Cangkruman²⁵ dilakukan secara langsung pada lahan aktif budidaya untuk memastikan bahwa pengujian mencerminkan kondisi operasional yang sesungguhnya. Lokasi penelitian dipilih karena sebelumnya pengelolaan aquaponik dan hidroponik masih dilakukan secara manual, terutama dalam pengaturan penyiraman, pemberian nutrisi, dan pemantauan kualitas air. Dengan menerapkan perangkat IoT secara langsung di lapangan, penelitian ini berhasil mengevaluasi kemampuan sistem dalam melakukan sinkronisasi sensor, mikrokontroler, aktuator, serta mekanisme filtrasi sehingga seluruh proses irigasi dapat berjalan otomatis tanpa bergantung pada pengawasan terus-menerus dari operator. Proses implementasi bertujuan tidak hanya memastikan alat dapat menyala atau terhubung ke internet, tetapi lebih jauh untuk menguji koordinasi antar-komponen dan konsistensi respon sistem terhadap perubahan parameter lingkungan yang terjadi secara real-time

Gambaran umum implementasi sistem aquaponik–hidroponik otomatis dapat divisualisasikan melalui struktur sistem berikut, yang menggambarkan alur dari kolam ikan menuju instalasi hidroponik serta peran sensor dalam pengambilan keputusan otomatis.



Gambar 6 Gambaran Implementasi

Hasil implementasi menunjukkan bahwa integrasi antara aquaponik dan hidroponik mampu berjalan dengan stabil setelah sensor-sensor bekerja memantau kondisi air secara kontinyu. Sistem mampu mengalirkan air kolam yang kaya nutrisi ke tanaman hidroponik secara teratur tanpa mengganggu keseimbangan ekosistem di dalam kolam. Air hanya dialirkan setelah melalui proses pemantauan otomatis yang memastikan parameter seperti pH dan suhu berada pada ambang normal. Hal ini meningkatkan efisiensi nutrisi dan memastikan tanaman memperoleh suplai yang konsisten sesuai kebutuhan. Dengan mekanisme otomatis tersebut, proses irigasi menjadi lebih terjadwal, efisien, dan minim risiko kesalahan manusia.

1) Hasil Pertumbuhan Ikan Lele

Pertumbuhan ikan lele diamati selama dua minggu menggunakan sistem IoT yang telah dirancang. Parameter pertumbuhan yang diukur mencakup jumlah ikan hidup, berat ikan, dan panjang ikan. Tingkat kelangsungan hidup ikan mencapai 93,33%, dengan 28 dari 30 ikan tetap hidup hingga akhir observasi. Pertumbuhan ikan juga menunjukkan peningkatan yang signifikan, di mana kenaikan berat dan panjang tubuh ikan sejalan dengan lingkungan budidaya yang lebih stabil berkat pemantauan pH dan suhu air yang lebih akurat dibandingkan metode manual.

Tabel 2 Hasil Pertumbuhan Ikan Lele

Parameter	Nilai Awal	Nilai Akhir	Keterangan
Jumlah Ikan Hidup	30 ekor	28 ekor	SR = 93.33%
Berat Ikan	20 g	40 g	Rata-rata meningkat 100%
Panjang Ikan	9.2 cm	12.1 cm	Pertumbuhan signifikan

2) Hasil Pertumbuhan Tanaman Sawi

Pengamatan terhadap tanaman sawi dilakukan pada tanaman berumur 13 hari setelah tanam (HST), kemudian dipantau selama dua minggu. Parameter yang diamati meliputi panjang daun, lebar daun, jumlah daun, tinggi tanaman, dan bobot tanaman. Hasil pengamatan menunjukkan adanya peningkatan nyata pada setiap parameter, yang menandakan lingkungan budidaya hidroponik dengan suplai nutrisi otomatis memberikan dampak signifikan terhadap pertumbuhan tanaman.

Tabel 3 Hasil Pertumbuhan Tanaman Sawi

Parameter	Nilai Awal	Nilai Akhir	Keterangan
Panjang Daun	12.1 cm	19.2 cm	Peningkatan 7.1 cm
Lebar Daun	5 cm	7 cm	Peningkatan 2 cm
Jumlah Daun	5	7	Penambahan 2 daun
Tinggi Tanaman	16.2 cm	21.5 cm	Peningkatan 5.3 cm
Berat Tanaman	45 g	75 g	Peningkatan signifikan 30 g

3) Efektivitas Budidaya Sebelum dan Sesudah Sistem IoT

Sebelum menggunakan IoT, proses pendeteksian kualitas air dilakukan secara manual sehingga sangat bergantung pada intuisi dan kedisiplinan operator. Namun setelah menggunakan IoT, monitoring dan penyiraman berlangsung otomatis sehingga kesalahan manusia dapat diminimalkan. Sistem mampu memberikan data secara real-time dan menjaga parameter pertumbuhan berada dalam batas aman.

Menurut hasil kajian, keunggulan utama sistem IoT terletak pada kemudahan dalam pengelolaan nutrisi dan kualitas air secara otomatis, yang berdampak langsung pada peningkatan produktivitas serta efisiensi energi dan air dalam budidaya tanaman maupun ikan.

4) Kinerja Sistem Irigasi dan Sensor IoT

Selama pengujian, sistem IoT menunjukkan respons yang baik terhadap perubahan nilai pH dan suhu air. Sensor pH, sensor suhu DS18B20, dan sensor ketinggian air bekerja secara konsisten untuk memberi data kepada mikrokontroler, yang kemudian digunakan untuk mengaktifkan atau menghentikan pompa. Kinerja ini membuat irigasi berlangsung lebih stabil dan menghindari kondisi kekurangan atau kelebihan air pada media tanam. Mekanisme filtrasi air juga bekerja secara optimal sehingga air yang dialirkan tetap aman bagi tanaman hidroponik.

V. PEMBAHASAN

Hasil implementasi sistem irigasi cerdas berbasis IoT pada budidaya aquahidroponik di Taman Cangkruman25 menunjukkan bahwa penerapan teknologi otomatisasi mampu memberikan dampak yang signifikan terhadap efisiensi proses budidaya, baik pada aspek pertumbuhan ikan maupun tanaman. Secara umum, koordinasi antara sensor, mikrokontroler ESP32, aktuator, serta alur air nutrisi menghasilkan sistem irigasi yang tidak hanya bekerja otomatis, tetapi juga responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Keberhasilan sinkronisasi komponen-komponen ini memperlihatkan bahwa IoT dapat diterapkan secara efektif pada lingkungan budidaya kecil hingga menengah tanpa memerlukan infrastruktur yang kompleks. Temuan ini sejalan dengan tujuan implementasi yang tidak hanya menekankan konektivitas perangkat, tetapi juga konsistensi kinerja sistem dalam jangka waktu pengujian yang dilakukan.

Penerapan sistem IoT memperbaiki proses irigasi yang sebelumnya dilakukan secara manual. Dengan menerapkan pembacaan sensor pH, suhu air, kelembapan udara dan level air secara real-time, sistem mampu menyesuaikan jadwal irigasi dan aliran nutrisi secara otomatis. Hal ini memberikan keuntungan signifikan karena operator tidak lagi perlu melakukan pengecekan manual yang sering kali tidak konsisten. Sistem otomatis juga mampu mengatasi variasi parameter air lebih cepat dibandingkan metode konvensional. Kondisi air yang stabil terbukti memberikan dampak positif terhadap budidaya ikan maupun tanaman. Data menunjukkan pertumbuhan ikan lele selama dua minggu penelitian meningkat dari rata-rata 20 gram menjadi 40 gram, sementara panjang ikan bertambah dari 9.2 cm menjadi

12.1 cm. Tingkat kelangsungan hidup sebesar 93,33% menjadi indikator bahwa kualitas air tetap berada dalam kondisi yang mendukung kehidupan ikan. Stabilitas ini tercapai karena sistem mampu menjaga pH air tetap mendekati kisaran optimal 6,5–8 sebagaimana dicantumkan dalam kebutuhan pH untuk ikan lele.

Dari sisi tanaman, pertumbuhan sawi menunjukkan peningkatan signifikan pada panjang daun, lebar daun, jumlah daun, tinggi tanaman, serta bobot akhir tanaman. Peningkatan parameter ini menunjukkan bahwa nutrisi dalam air yang berasal dari kolam aquaponik dapat dimanfaatkan secara efektif oleh tanaman hidroponik apabila distribusinya dilakukan secara teratur. Sistem IoT memungkinkan air kolam dengan kandungan unsur hara stabil dialirkan ke tanaman tanpa terjadi fluktuasi besar dalam volume maupun frekuensi. Perbaikan nutrisi yang terdistribusi secara proporsional juga menghindarkan tanaman dari kondisi stres akibat kekurangan atau kelebihan air. Hal ini menguatkan temuan penelitian lain yang menyatakan bahwa otomatisasi berbasis sensor dapat meningkatkan produktivitas tanaman sekaligus mengurangi risiko kesalahan manusia dalam proses irigasi.

Integrasi aquaponik dan hidroponik secara otomatis juga memperlihatkan bahwa kendala umum dalam budidaya manual—seperti ketidaktepatan waktu pengairan, kesalahan pemantauan pH, dan keterlambatan memberikan nutrisi—dapat diminimalkan. Dengan memanfaatkan sensor-sensor seperti SEN0161, DS18B20, DHT22, dan HC-SR04, sistem mampu menyediakan data akurat dan terus-menerus kepada mikrokontroler untuk menjalankan perintah logika kontrol. Penggunaan buffer tank sebagai perantara air nutrisi juga terbukti efektif dalam mencegah perubahan parameter air yang tiba-tiba, karena penambahan nutrisi tidak langsung dilakukan pada kolam ikan. Pendekatan ini memastikan bahwa ekosistem ikan tetap stabil meskipun terjadi penyesuaian kualitas air sebelum dialirkan ke tanaman. Model distribusi seperti ini memperlihatkan penerapan prinsip keberlanjutan dalam sistem aquahidroponik modern, yakni memaksimalkan pemanfaatan air dengan resirkulasi dan minim limbah.

Dari segi analisis pertumbuhan, kenaikan bobot ikan, panjang tubuh, serta peningkatan signifikan pada pertumbuhan tanaman menunjukkan bahwa sistem irigasi otomatis berhasil memberikan kondisi lingkungan yang lebih konsisten dibandingkan metode manual. Tanaman yang mendapatkan nutrisi teratur mengalami perkembangan yang lebih merata, sedangkan ikan hidup dalam kondisi pH yang lebih stabil dan suhu air yang terpantau akurat. Hal ini sejalan dengan prinsip dasar Internet of Things (IoT) yang memungkinkan pemantauan dan pengendalian sistem secara otomatis berdasarkan data lapangan yang terus diperbarui. Konsep ini mengubah paradigma budidaya tradisional menjadi budidaya yang berbasis data (*data-driven cultivation*), di mana keputusan sistem tidak lagi bergantung pada intuisi operator, tetapi pada nilai sensor yang objektif dan terukur.

Namun demikian, terdapat beberapa tantangan yang muncul dalam implementasi sistem IoT ini. Salah satunya adalah kebutuhan akan infrastruktur yang cukup stabil, seperti ketersediaan sumber listrik dan jaringan internet sebagai pendukung utama sistem monitoring. Berdasarkan hasil observasi lapangan, beberapa instalasi kabel dan perangkat perlu dibenahi untuk memastikan bahwa sinyal dan pasokan daya tidak terganggu selama proses pengujian. Tantangan lainnya adalah keterbatasan pengetahuan operator mengenai perangkat IoT yang menyebabkan perlunya pelatihan tambahan agar sistem dapat dipelihara dan dioperasikan secara mandiri. Hal ini sejalan dengan literatur yang menyebutkan bahwa adopsi teknologi irigasi cerdas sering kali dipengaruhi oleh faktor sosial dan budaya, termasuk kepercayaan terhadap teknologi baru dan kesiapan dalam menghadapi perubahan metode kerja yang lebih modern.

Efektivitas sistem IoT dalam meningkatkan produktivitas budidaya juga terlihat dari kemampuan sistem dalam mengurangi konsumsi air. Irigasi yang hanya dilakukan saat parameter memenuhi ambang optimal memungkinkan efisiensi penggunaan air yang lebih baik dibandingkan metode manual yang sering kali tidak terukur. Temuan ini mendukung berbagai penelitian internasional yang menyatakan bahwa IoT mampu meningkatkan efisiensi air dan energi secara signifikan, sekaligus mengurangi dampak lingkungan yang mungkin ditimbulkan oleh budidaya intensif.

Secara keseluruhan, pembahasan ini menunjukkan bahwa implementasi sistem irigasi cerdas berbasis IoT pada budidaya aquahidroponik memberikan hasil yang sangat positif. Baik pertumbuhan ikan maupun tanaman mengalami peningkatan signifikan, sedangkan efisiensi penggunaan air dan tenaga kerja mengalami perbaikan yang nyata. Dengan demikian, sistem IoT terbukti menjadi pendekatan yang efektif dan relevan untuk meningkatkan kualitas budidaya modern, terutama dalam menghadapi tantangan ketersediaan air dan kebutuhan akan efisiensi yang lebih tinggi.

VI. KESIMPULAN

Penelitian mengenai pengembangan sistem irigasi cerdas berbasis Internet of Things (IoT) pada budidaya aquahidroponik di Taman Cangkruan²⁵ menunjukkan bahwa teknologi otomatisasi mampu memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan efisiensi, stabilitas, dan produktivitas budidaya ikan serta tanaman. Implementasi sistem IoT yang mengintegrasikan sensor pH, sensor suhu air, sensor kelembapan udara, sensor ketinggian air, mikrokontroler ESP32, serta aktuator berupa pompa dan solenoid valve terbukti dapat menggantikan proses manual yang sebelumnya tidak konsisten dan sangat bergantung pada intuisi operator. Sistem ini mampu bekerja secara

otomatis berdasarkan nilai sensor real-time maupun jadwal irigasi yang ditentukan, sehingga menghasilkan pola irigasi yang lebih teratur dan adaptif terhadap perubahan lingkungan.

Hasil penelitian menunjukkan peningkatan yang nyata pada pertumbuhan ikan lele dan tanaman sawi. Pada ikan, peningkatan berat dan panjang tubuh disertai dengan tingkat kelangsungan hidup mencapai 93,33%, yang menunjukkan bahwa kondisi kualitas air dapat dijaga dalam batas optimal melalui pemantauan otomatis pH dan suhu air. Sementara itu, tanaman sawi mengalami peningkatan signifikan pada panjang daun, lebar daun, jumlah daun, tinggi tanaman, dan bobot, yang dihasilkan dari distribusi nutrisi yang lebih stabil dan sesuai kebutuhan tanaman. Dengan demikian, sistem IoT tidak hanya meningkatkan efektivitas irigasi, tetapi juga memberikan dampak langsung terhadap performa biologis tanaman dan ikan yang dibudidayakan.

Penelitian ini juga membuktikan bahwa integrasi antara aquaponik dan hidroponik dapat berjalan lebih efisien ketika dikendalikan oleh sistem digital. Keberadaan buffer tank sebagai media penyesuaian kualitas air dan sensor sebagai pengawas parameter lingkungan memungkinkan proses resirkulasi air berlangsung secara aman tanpa mengganggu keseimbangan ekosistem kolam. Selain itu, otomatisasi ini memberikan kemudahan bagi pengguna dalam melakukan pemeliharaan harian, mengurangi risiko kesalahan manusia, serta meningkatkan efisiensi penggunaan air dan energi.

Secara keseluruhan, pengembangan sistem irigasi cerdas berbasis IoT pada budidaya aquahidroponik terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas pengelolaan budidaya dan hasil produksi. Sistem ini relevan untuk diterapkan pada skala kecil maupun menengah, terutama bagi pelaku budidaya yang memerlukan solusi praktis, efisien, dan modern dalam pengelolaan tanaman dan ikan. Penelitian ini membuka peluang pengembangan lebih lanjut, seperti integrasi teknologi cloud untuk monitoring jarak jauh, penerapan machine learning untuk prediksi kualitas air, serta perluasan sistem pada jenis tanaman atau komoditas ikan lainnya.

Kontribusi Penulis: [Ach. Maulidani Ubaidillah Solichin]: Konseptualisasi, Metodologi, Penulisan - Draf Asli, Penulisan - Telaah & Penyuntingan, Supervisi. [Moh. Firman Hidayat]: Perangkat Lunak, Investigasi, Kurasi Data, Penulisan - Draf Asli.

Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang telah dipublikasikan.

Pendanaan: -

Ucapan Terima Kasih: -

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan.

Ketersediaan Data: -

Persetujuan Berdasarkan Informasi ORCID: Tidak tersedia.

Penulis Pertama: <https://orcid.org/0000-0001-9146-4444>

Penulis Kedua: <https://orcid.org/0000-0002-1234-5678>

Penulis Ketiga: -

REFERENSI

- [1] C. Maucieri, C. Nicoletto, R. Junge, Z. Schmautz, P. Sambo, and M. Borin, "Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review," *Ital. J. Agron.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–11, 2018, doi: 10.4081/ija.2017.1012.
- [2] Novita Ratnasari *et al.*, "Akuaponik dan Hidroponik Sederhana: Strategi Mencapai Ketahanan Pangan untuk Pencegahan Stunting," *Int. J. Community Serv. Learn.*, vol. 7, no. 4, pp. 377–383, 2024, doi: 10.23887/ijcsl.v7i4.69019.
- [3] E. S. Khater, A. Bahnasawy, S. Ali, W. Abbas, O. Morsy, and A. Sabahy, "Study on the plant and fish production in the aquaponic system as affected by different hydraulic loading rates," *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, 2023, doi: 10.1038/s41598-023-44707-1.
- [4] A. S. Hussain and P. B. Brown, "A Literature Review of Tilapia/Lettuce Aquaponics—Production Status, Varieties, and Research Gaps," *Aquac. Res.*, vol. 2024, 2024, doi: 10.1155/2024/2642434.
- [5] A. M. Elsbaay, N. K. Ismail, M. Y. Karawya, A. M. Ragab, and M. M. Kassem, "Performance analysis of aquaponics system for longifolia lettuce production in different growth media," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-97095-z.
- [6] F. Hidayat, A. Harijanto, and B. Supriadi, "RANCANG BANGUN ALAT UKUR SISTEM MONITORING pH DAN SUHU KOLAM IKAN LELE BERBASIS IoT DENGAN ESP8266," *J. Kumparan Fis.*, vol. 5, no. 2, pp. 77–84, 2022, doi: 10.33369/jkf.5.2.77-84.
- [7] D. A. Susilo, J. Maulindar, and M. E. Yuliana, "Perancangan Alat Monitoring Kualitas Air Kolam Ikan Lele Berbasis Internet Of Things," *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 3, no. 2, pp. 4703–4711, 2023, [Online]. Available: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/628>
- [8] K. S. Bu'u, N. Nachrowie, and E. Sonalitha, "Monitoring Kualitas Air pada Aquarium Berbasis Internet of Things (IoT)," *Blend Sains J. Tek.*, vol. 2, no. 2, pp. 184–190, 2023, doi: 10.56211/blendsains.v2i2.321.
- [9] Revida Iriana and Muh Ashley Mefgherry David, "Pembuatan Prototype Alat Monitoring Kualitas Air Berbasis Internet of Things (IoT)," *J. Ilm. Tek.*, vol. 3, no. 2, pp. 92–102, 2024, doi: 10.56127/juit.v3i2.1502.
- [10] B. P. L. Silitonga, Wagiono, E. Azzizah, and Emi Sugiartini, "Uji Efektivitas Budidaya Sistem Hidroponik dan Akuaponik pada Tiga Varietas Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.)," *J. Hortik. Indones.*, vol. 12, no. 3, pp. 204–210, 2023, doi: 10.29244/jhi.12.3.204-210.
- [11] M. Ula, T. Multazam, M. Hatta, E. Ezwarsyah, and F. A. Nasution, "PKM Pendampingan Monitoring Pengukuran Kualitas Air Laut Menggunakan Baumemeter di Kecamatan Dewantara," *J. Malikussaleh Mengabdi*, vol. 3, no. 1, p. 130, 2024, doi: 10.29103/jmm.v3i1.16697.
- [12] R. N. Suhanto, "Kajian Penggunaan Sensor dalam Sistem Pengujian dan Pemantauan Kualitas Air Minum Layak Konsumsi," *Polyg. J. Ilmu Komput. dan Ilmu Pengetah. Alam*, vol. 3, no. 1, pp. 59–68, 2025, doi: 10.62383/polygon.v3i1.396.
- [13] S. N. Azizah, H. Husnawati, R. R. Putra, I. Admirani, A. N. Tompunu, and N. Latifah, "Penerapan Sistem Pemantauan Kualitas Air Kolam Ikan Air Tawar Berbasis IoT," *J. Masy. Madani Indones.*, vol. 4, no. 4, pp. 1237–1246, 2025, doi: 10.59025/5efe5363.
- [14] H. R. Syamsi, B. Darmawan, and D. F. Budiman, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu Air Pada Kolam Pembesaran Ikan Nila Berbasis IoT," *J. Inf. Syst. Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 459–467, 2024, doi: 10.47065/josh.v6i1.6097.

- [15] Muhammad Yusri, Yani Maulita, and Hermansyah Sembiring, “Penerapan IoT dalam Monitoring dan Pengendalian Kualitas Air,” *Repeater Publ. Tek. Inform. dan Jar.*, vol. 2, no. 4, pp. 231–242, 2024, doi: 10.62951/repeater.v2i4.250.
- [16] P. S. Macheso and D. Thotho, “ESP32 Based Electric Energy Consumption Meter,” *Int. J. Comput. Commun. Informatics*, vol. 4, no. 1, pp. 23–35, 2022, doi: 10.34256/ijcci2213.
- [17] R. Satra, M. S. Hadi, Sujito, Febryan, M. H. Fattah, and S. R. Busaeri, “IoAT: Internet of Aquaculture Things for Monitoring Water Temperature in Tiger Shrimp Ponds with DS18B20 Sensors and WeMos D1 R2,” *J. Robot. Control*, vol. 5, no. 1, pp. 62–71, 2024, doi: 10.18196/jrc.v5i1.18470.
- [18] M. A. Kharim, T. Andrasto, A. F. Suni, K. Fathoni, M. Abdul, and K. 1✉, “Sistem Kontrol dan Monitoring Kualitas Air Reverse Osmosis (RO) Menggunakan Fuzzy Logic Metode Sugeno Berbasis Internet of Things,” *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 5, no. 3, pp. 124–148, 2025, [Online]. Available: <http://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/18904>
- [19] S. A. Wulandari, A. Sucipto, A. F. Rosyady, M. D. R. Ardana, O. D. P. Cahyono, and A. N. Khomarudin, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Untuk Mendeteksi Keadaan Tidak Normal atau Penyakit Pada Tambak Ikan Mujaer Menggunakan Fuzzy Logic Mamdani Berbasis Mobile,” *Technologica*, vol. 3, no. 1, pp. 42–54, 2024, doi: 10.55043/technologica.v3i1.153.
- [20] A. Herlina, M. S. Ardiansah, R. Fadilah, and S. A. H. M. Putra, “Sistem Monitoring Kualitas Air Kolam Lele Berbasis IOT Dengan Sistem Tenaga Hibrida,” 2024, *risbang.unuja.ac.id*. doi: 10.36706/jres.v6i1.136.
- [21] T. Multazam, Bakhtiar, C. Ita Erliana, A. Zulfia, W. Fuadi, and D. Irwansyah, “Pelatihan Penggunaan Alat Internet Of Things (IoT) untuk Monitoring Suhu dan kualitas Air Tambak di Kecamatan Dewantara,” *J. Malikussaleh Mengabdi*, vol. 3, no. 2, pp. 2829–6141, 2024, [Online]. Available: <https://ojs.unimal.ac.id/jmm/article/view/20480>
- [22] P. A. C. Setiawan, N. Indra ER, and G. Sukadarmika, “Pertanian Vertikal Pintar: Peran IoT dalam Mewujudkan Keberlanjutan dan Efisiensi Sumber Daya,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 24, no. 1, pp. 23–34, 2025, doi: 10.24843/mite.205.v24i01.p03.
- [23] S. Wibowo, “Aplikasi Sistem Aquaponik Dengan Hidroponik Dft Pada Budidaya Tanaman Selada (*Lactuca Sativa L.*),” *J. Penelit. dan Pengabdi. Kpd. Masy. UNSIQ*, vol. 8, no. 2, pp. 125–133, 2021, doi: 10.32699/ppkm.v8i2.1490.
- [24] dkk Dzulfian Syafrian, “PEMANFAATAN TEKNOLOGI CERDAS DALAM URBAN FARMING: TINJAUAN LITERATUR ATAS PERAN SENSOR, IRIGASI OTOMATIS, DAN MANAJEMEN LIMBAH ORGANIK Rita,” *Sustain.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–14, 2025, [Online]. Available: http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- [25] D. Yudiastono, N. Khuriyanti, and M. A. F. Falah, “Integrasi smart agriculture technology map dan model objective matrix untuk analisis key performance indicators (KPI) pengelolaan greenhouse,” *Agrointek J. Teknol. Ind. Pertan.*, vol. 18, no. 3, pp. 525–537, 2024, doi: 10.21107/agrointek.v18i3.20451.
- [26] P. E. Sasongko, H. F. Aditya, R. M. Kusuma, Y. N. Supriadi, and F. Pertanian, “Transformasi Hijau Di Pesisir Surabaya : Penerapan Teknologi Cerdas,” *Batara Wisnu ...*, vol. 4, no. 3, pp. 696–707, 2024, [Online]. Available: <https://www.gapenas-publisher.org/batarawisnu/index.php/home/article/view/285>
- [27] A. Arief, “Rancang Bangun Smart System Mini Aquaponik untuk Tanaman Subtropis Berbasis Internet Of Things IOT,” 2023, *academia.edu*. [Online]. Available:

https://www.academia.edu/download/111874903/Rancang_Bangun_Smart_System_Mini_Aquaponik_untuk_Tanaman_Subtropis_Berbasis_Internet_Of_Things_IOT_.pdf

- [28] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, D. Mayangsari, and N. Hasanah, "Netvista Public Wireless Network Quality Analysis Using Quality Of Service Parameters," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 443–452, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4388.
- [29] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Maktsuful Ghummah, Moh. Amrullah, and Rafli Hidayatullah, "Studi Kinerja Mesh Network untuk Penerapan Internet of Things (IoT) di Lingkungan Perkotaan," 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.5895.
- [30] F. P. Eka Putra, F. Muslim, N. Hasanah, Holipah, R. Paradina, and R. Alim, "Analisis Komparasi Protokol Websocket dan MQTT Dalam Proses Push Notification," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, pp. 63–72, 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325.
- [31] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, R. N. Saputra, F. M. Haris, and S. N. R. Barokah, "Application of Internet of Things Technology in Monitoring Water Quality in Fishponds," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 356–361, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4231.
- [32] Djibran moh. muchlis, Andiani Paramita, Nurhasanah Dila Padila, and Mokoginta Meity Melani, *Pertanian Berkelanjutan*, vol. 02, N, no. Analisis Pengembangan Model Pertanian Berkelanjutan yang Memperhatikan Aspek Sosial dan Ekonomi di Jawa Tengah. books.google.com, 2023. [Online]. Available: <https://wnj.westscience-press.com/index.php/jmws>
- [33] R. Rohmah *et al.*, "Sistem Otomatisasi Hidroponik Budidaya Sayuran sebagai Upaya Pemberdayaan Mandiri Santri Pondok Pesantren Pacul Bojonegoro," *I-Com Indones. Community J.*, vol. 4, no. 2, pp. 711–723, 2024, doi: 10.33379/icom.v4i2.4316.
- [34] A. Salim and Edidas, "Sistem Monitoring Kualitas Air Pada Budidaya Bibit Ikan Nila Menggunakan Algoritma Decision Tree," 2023. [Online]. Available: <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/voteknika/>
- [35] A. S. Wardhana, M. Ferdiansyah, and S. K. K, "Desain dan Prototipe Integrasi IoT dalam Pertanian Hidroponik Cerdas Berbasis Energi Terbarukan," *J. Indones. Manaj. Inform. dan Komun.*, vol. 6, no. 1, pp. 105–114, 2025, doi: 10.35870/jimik.v6i1.1134.
- [36] S. Ansari, A. Ansari, A. Kumar, R. Kumar, and E. T. Nyamasvisva, "Environmental Temperature and Humidity Monitoring at Agricultural Farms using Internet of Things & DHT22-Sensor," *J. Indep. Stud. Res. Comput.*, vol. 21, no. 2, 2023, doi: 10.31645/jisrc.23.21.2.5.
- [37] Muhammad Zaenal Mutaqin, Ade Kurniawan, Samin, and Desvita Aguilera, "Perancangan Alat Pengukur Kedalaman Air Menggunakan Sensor Ultrasonik HC-SR04 Berbasis Web di Danau Duta Harapan," *CESS (Journal Comput. Eng. Syst. Sci.)*, vol. 10, no. 1, pp. 286–298, 2025, doi: 10.24114/cess.v10i1.65929.
- [38] N. Cameron, "ESP32 Microcontroller," ... *Appl. Commun. Protoc. with ESP32* ..., pp. 1–54, 2023, doi: 10.1007/978-1-4842-9376-8_1.
- [39] G. P. Pereira, M. Z. Chaari, and F. Daroge, "IoT-Enabled Smart Drip Irrigation System Using ESP32," 2023, *mdpi.com*. doi: 10.3390/iot4030012.
- [40] H. J. El-Khozondar *et al.*, "A smart energy monitoring system using ESP32 microcontroller," 2024, *Elsevier*. doi: 10.1016/j.prime.2024.100666.
- [41] A. Abu Sneineh and A. A. A. Shabaneh, "Design of a smart hydroponics monitoring system using an ESP32 microcontroller and the Internet of Things," 2023, *Elsevier*. doi: 10.1016/j.mex.2023.102401.

- [42] F. P. E. Putra, M. Irfan, M. Aziz, and R. N. Saputra, "Wireless Network Design at Pamekasan Regency Public Library," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 5, no. 1, pp. 144–150, 2025, doi: 10.47709/brilliance.v5i1.5876.
- [43] F. P. E. Putra, N. Ramadhani, F. Fauzan, and M. Mursidi, "Service Quality Analysis of RFID-Based Smart Door Lock in Front One Azana Style Hotel Area," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 372–381, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4292.
- [44] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, R. O. F. Kusuma, A. M. Syam, and S. A. Efendy, "Effect Of Distance On Wi-Fi Signal Quality In The Home Environment," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 391–398, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4319.
- [45] F. P. E. Putra and N. Saadah, "Interaktif dan Personalisasi Peningkatan Pembelajaran IoT di Sekolah," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, vol. 5, no. 2, pp. 175–181, 2023, [Online]. Available: <http://www.jsisfotek.org/index.php/JSisfotek/article/view/236%0Ahttps://www.jsisfotek.org/index.php/JSisfotek/article/download/236/166>
- [46] F. P. E. Putra, M. Dafid, and I. Syafi'i, "Firewall Implementation as a Computer Network Security Strategy for Data Protection," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 5, no. 1, pp. 291–297, 2025, doi: 10.47709/brilliance.v5i1.6162.
- [47] F. Prasetyo Eka Putra, S. Mellyana Dewi, and A. Hamzah, "Privasi dan Keamanan Penerapan IoT Dalam Kehidupan Sehari-Hari : Tantangan dan Implikasi," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, vol. 5, no. 2, pp. 26–32, 2023, doi: 10.60083.
- [48] N. Al-Fattah Erdiansyah, D. Andriya, M. Irfan, and H. Hanifadinna, "Sistem Akuaponik Cerdas Bertenaga Surya Untuk Ketahanan Pangan Mandiri," *Pros. TAU SNARS-TEK Semin. Nas. Rekayasa dan Teknol.*, vol. 2, no. 1, pp. 29–36, 2023, doi: 10.47970/snarstek.v2i1.499.
- [49] M. A. Setiawan and S. Sulistyasni, "Sistem Pertanian Hidroponik Padi Cerdas Berbasis Internet of Things pada Lahan Perkotaan Guna Menambah Ketahanan Pangan Masyarakat," *MALCOM Indones. J. Mach. Learn. Comput. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 118–129, 2024, doi: 10.57152/malcom.v4i1.973.
- [50] A. B. Kaswar, R. D. Mahande, and J. D. Malago, "a New Model for Hydroponic Lettuce Nutrition Adaptive Control System Based on Fuzzy Logic Sugeno Method Using Esp32," 2023, *core.ac.uk*. doi: 10.52436/1.jutif.2023.4.2.626.
- [51] E. Kusmiadi, *Pengantar Ilmu Pertanian*, no. March. books.google.com, 2013. [Online]. Available: <http://repository.ut.ac.id/4425/1/LUHT4219-M1.pdf>
- [52] W. Febria, "Teknologi Pertanian Organik," *Teknol. Pertan. Organik*, p. 74, 2025, [Online]. Available: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=e2RSEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA74&dq=ruang+terbuka+hijau+di+papua&ots=0Wm2LZCwEZ&sig=sz7HzZMX7VzMhX6fvNVtgVPR-FI>
- [53] D. Megawati, K. Masykuroh, and D. Kurnianto, "Rancang Bangun Sistem Monitoring PH dan Suhu Air pada Akuaponik Berbasis Internet of Thing (IoT)," *TELKA - Telekomun. Elektron. Komputasi dan Kontrol*, vol. 6, no. 2, pp. 124–137, 2020, doi: 10.15575/telka.v6n2.124-137.
- [54] A. Laksana, S. Alam, S. Purwiyanti, and E. Nasrullah, "Rancang Bangun Sistem Pemantau Ph Menggunakan Aplikasi Blynk Dan Kendali Ph Menggunakan Aktuator Pada Budidaya Akuaponik Berbasis Wemos D1 R2," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 11, no. 2, 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i2.3007.
- [55] P. V. C. Sanap, "Design and Implementation of Real Time Clock using RTC DS3231 and Arduino Uno," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 13, no. 2, pp. 1545–1551, 2025, doi: 10.22214/ijraset.2025.67162.