



Prototipe Hidroponik Pintar (*Smart-Hydroponic*) Tanaman Pakcoy Melalui Website Berbasis IoT dan Mikrokontroler ESP32 untuk Peningkatan Efisiensi Pertanian

Rivaldo Josua Jetrin Rolos ^{a,1,*}, Dwi Hastuti ^{b,2}

^a Universitas PGRI Adi Buana Surabaya, Jl. Dukuh Menanggal XII, Surabaya, Indonesia

^b Universitas PGRI Adi Buana Surabaya, Jl. Dukuh Menanggal XII, Surabaya, Indonesia

¹ rivaldojetrin@gmail.com*; ² dwi.hastuti@unipasby.ac.id

* rivaldojetrin@gmail.com

ARTICLE INFO	ABSTRAK
Article History Submission : 28-07-2025 Revision : 27-04-2026 Accepted : 07-09-2026 Kata Kunci: Internet of Things, Hidroponik, Microcontroller ESP32, Budidaya pakcoy, Sensor DHT11, Sensor PH4502C, Sensor JSN-SR04T, EC Sensor.	Pertanian hidroponik konvensional, terutama dalam budidaya pakcoy, menghadapi tantangan seperti fluktuasi konsentrasi nutrisi dan pH serta kebutuhan pengecekan air secara manual. Ketidakstabilan ini dapat menurunkan kualitas dan hasil panen. Untuk mengatasi masalah ini, dikembangkan sistem smart hidroponik berbasis <i>Internet of Things (IoT)</i> menggunakan mikrokontroler ESP32. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan merancang prototipe yang mengintegrasikan sensor suhu (DHT11), pH (PH-4502C), EC (TDS), dan ultrasonik (JSN-SR04T). Data yang dikumpulkan oleh sensor diproses oleh ESP32 dan dikirimkan secara real-time ke antarmuka web untuk pemantauan jarak jauh dan pengendalian pompa secara otomatis. Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu membaca parameter lingkungan dengan akurat dan mengontrol pompa dengan baik. Sensor pH menunjukkan akurasi tinggi (error ± 0.1), dan sensor ultrasonik akurat pada rentang 20–100 cm (error $\pm 1-2$ cm), meskipun kurang optimal di bawah 20 cm. Sensor TDS bekerja baik pada konsentrasi rendah hingga menengah, namun akurasinya menurun drastis di atas 800 ppm. Fitur kontrol manual disediakan untuk mengatasi gangguan akibat koneksi Wi-Fi yang tidak stabil. Kesimpulannya, sistem smart hidroponik ini efektif dalam pemantauan dan pengendalian otomatis budidaya pakcoy. Sistem mempercepat deteksi dan penanganan kondisi lingkungan secara real-time. This is an open access article under license CC-BY-SA. 

1. Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat menuntut ketersediaan pangan yang berkelanjutan dan efisien. Di tengah keterbatasan lahan pertanian, sistem hidroponik muncul sebagai solusi modern dalam budidaya tanaman tanpa tanah, dengan media air yang diperkaya nutrisi [1]. Salah satu tanaman yang umum dibudidayakan secara hidroponik adalah pakcoy (*Brassica rapa subsp. chinensis*), yang memiliki nilai gizi tinggi serta tingkat permintaan pasar yang stabil.

Namun, sistem hidroponik konvensional masih menghadapi tantangan signifikan, khususnya dalam aspek pemantauan dan pengendalian kondisi lingkungan [2]. Parameter penting seperti pH air dan konsentrasi nutrisi (PPM/EC) sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan kualitas hasil panen. Pakcoy termasuk tanaman yang sensitif terhadap fluktuasi parameter tersebut, sehingga pemantauan yang tidak akurat atau penyesuaian yang terlambat dapat menyebabkan penurunan hasil panen atau bahkan kegagalan budidaya [3]. Di banyak kasus, pada banyak sistem konvensional, pemantauan dan penyesuaian parameter tersebut masih dilakukan secara manual. Hal ini tidak hanya menyita waktu dan tenaga, tetapi juga rentan terhadap kesalahan manusia dan keterlambatan dalam pengambilan tindakan korektif. Dalam konteks budidaya skala rumahan atau kecil-menengah, ketergantungan pada pemantauan manual menjadi hambatan utama dalam menjaga konsistensi hasil panen.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan peluang besar untuk mengatasi keterbatasan tersebut. Teknologi ini memungkinkan pemantauan dan pengendalian sistem secara real-time melalui integrasi sensor dan mikrokontroler yang dapat mengotomatisasi proses budidaya [4]. IoT memungkinkan pengumpulan data dan pemantauan lingkungan secara real-time melalui sensor yang terintegrasi dengan sistem kontrol otomatis [5]. Dengan dukungan mikrokontroler seperti ESP32, sistem ini dapat mengatur berbagai parameter penting dalam pertumbuhan tanaman, seperti suhu, pH, konsentrasi nutrisi, dan ketinggian air secara otomatis. Sensor-sensor seperti PH4502C (untuk pH), EC Sensor (untuk PPM), JSN-SR04T (untuk ketinggian air), dan DHT11 (untuk suhu) dapat dipasang untuk membentuk sistem hidroponik pintar (smart hydroponic system) yang efisien dan presisi [6][7]. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem hidroponik pintar berbasis IoT dan ESP32 yang difokuskan pada tanaman pakcoy dalam skenario budidaya terbuka (outdoor). Dengan sistem ini, petani dapat memantau kondisi lingkungan dan mengatur parameter penting tanpa perlu intervensi manual yang intensif. Kontribusi utama penelitian ini adalah memberikan solusi terintegrasi yang mudah direplikasi, efisien, dan mampu meningkatkan akurasi serta efisiensi pengelolaan sistem hidroponik. Hal ini diharapkan menjadi langkah nyata dalam mendorong adopsi teknologi modern dalam pertanian, khususnya bagi pelaku budidaya hidroponik skala kecil hingga menengah. Penelitian juga dibatasi hanya pada jenis tanaman pakcoy, dan dirancang untuk lingkungan hidroponik terbuka (outdoor), sehingga parameter seperti intensitas cahaya tidak dianalisis secara mendalam karena diasumsikan tanaman mendapat sinar matahari secara alami yang cukup [12].

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, metodologi yang digunakan berfokus pada pendekatan perancangan dan pembangunan sistem (design and development). Pendekatan ini umum digunakan dalam bidang rekayasa dan teknologi, dengan tujuan utama bukan hanya untuk menguji hipotesis, tetapi untuk merancang solusi fungsional yang mampu menyelesaikan permasalahan praktis [8]. Metode ini umumnya bersifat iteratif, mencakup tahapan perancangan, implementasi,

pengujian, dan penyempurnaan sistem secara berulang. Keberhasilan pendekatan ini sangat bergantung pada validasi fungsional sistem yang dibangun, bukan semata-mata pada analisis data statis. Artinya, sistem yang dirancang harus dapat berfungsi secara efektif dan andal dalam

Rivaldo Josua Jetrin Rolos (Prototipe Hidroponik Pintar(Smart-Hydroponic) Tanaman Pakcoy Melalui Website Berbasis IoT dan Mikrokontroler ESP32 untuk Peningkatan Efisiensi Pertanian)

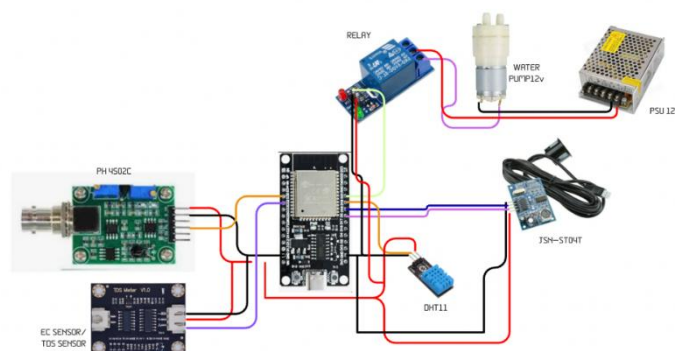
kondisi operasional sebenarnya, dalam hal ini pada instalasi hidroponik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring serta kontrol otomatis berbasis Internet of Things (IoT) untuk mendukung kinerja instalasi hidroponik secara real-time dan presisi.

2.1. Perancangan Sistem

Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini dirancang untuk memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan pada instalasi hidroponik secara otomatis. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi dan bekerja secara sinergis. Komponen-komponen tersebut meliputi:

- Sensor DHT11, yang digunakan untuk membaca suhu dan kelembapan udara;
- Sensor PH-4502C, berfungsi mengukur tingkat keasaman (pH) air dalam larutan nutrisi;
- Sensor EC/TDS V1.0, digunakan untuk memantau konsentrasi nutrisi (elektrokonduktivitas) dalam larutan;
- Sensor JSN-SR04T, yakni sensor ultrasonik tahan air yang berfungsi mendeteksi ketinggian air dalam wadah hidroponik;
- Mikrokontroler ESP32, sebagai unit pemrosesan utama yang menerima data dari sensor dan mengendalikan aktuator;
- Modul relay, digunakan untuk mengontrol pompa air 12V secara otomatis berdasarkan data sensor; serta
- Power supply 12V yang didukung oleh modul step-down XL4015 untuk menyuplai daya yang stabil ke seluruh rangkaian.

Semua komponen tersebut dihubungkan menggunakan kabel jumper dan disusun sesuai dengan wiring diagram yang dirancang secara sistematis. Penyusunan ini bertujuan untuk memastikan kestabilan operasional serta keandalan sistem dalam lingkungan kerja yang sesungguhnya.



Gambar 1. Wiring Diagram Alat

Gambar 1 menunjukkan diagram pengkabelan lengkap sistem otomasi hidroponik yang dikembangkan. Sistem ini mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses utama [11]. Berbagai sensor seperti sensor pH (PH 4502C), sensor EC/TDS (TDS Meter V1.0), sensor suhu dan kelembaban udara (DHT11), serta sensor jarak ultrasonik tahan air (JSN-SR04T) terhubung ke pin-pin GPIO ESP32 untuk akuisisi data parameter lingkungan dan air [10]. Untuk kontrol aktuator, sebuah modul relai digunakan untuk mengatur daya ke pompa air 12V, yang mendapatkan suplai daya dari PSU 12V. Koneksi antar komponen dirancang untuk memastikan stabilitas dan fungsionalitas sistem secara keseluruhan [13].

2.2. Kalibrasi Sensor

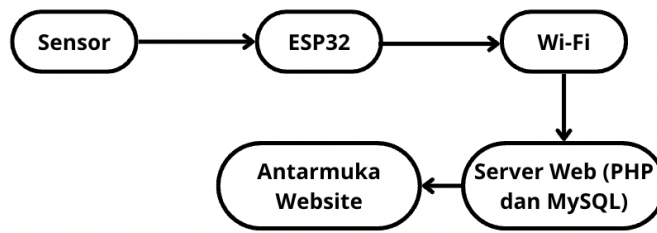
Untuk memastikan sistem bekerja secara akurat dan andal, dilakukan proses kalibrasi terhadap seluruh sensor utama sebelum implementasi. Kalibrasi dilakukan dengan metode perbandingan terhadap alat ukur standar maupun larutan referensi, guna memperoleh nilai pembacaan yang mendekati kondisi sebenarnya. Beberapa tahapan kalibrasi yang dilakukan meliputi:

- a) **Sensor pH (PH-4502C)** dikalibrasi menggunakan larutan buffer standar dengan nilai pH 4.0 dan 7.0. Setelah pembacaan dilakukan, nilai tegangan keluarannya disesuaikan melalui konversi ADC (Analog to Digital Converter) pada ESP32, dan koreksi diterapkan pada program jika diperlukan.
- b) **Sensor EC/TDS V1.0** dikalibrasi menggunakan larutan standar dengan konsentrasi 1000 ppm, kemudian hasilnya dibandingkan dengan alat TDS meter digital untuk mengukur deviasi nilai.
- c) **Sensor DHT11** (suhu dan kelembaban) serta **JSN-SR04T** (ultrasonik) divalidasi melalui pembacaan dari termometer digital dan pengukuran manual menggunakan penggaris untuk mengetahui keakuratan data yang dihasilkan.

Proses kalibrasi ini dilakukan secara berulang dalam beberapa siklus waktu yang berbeda untuk memastikan bahwa hasil pembacaan sensor bersifat konsisten. Jika ditemukan perbedaan signifikan antara hasil sensor dan alat pembanding, maka dilakukan penyesuaian melalui pemberian nilai offset di dalam program mikrokontroler.

2.3. Desain Antarmuka Web dan Komunikasi Data

Untuk mendukung pemantauan dan pengendalian sistem hidroponik secara jarak jauh, dirancang sebuah antarmuka web yang terintegrasi dengan perangkat IoT. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang diprogram melalui Arduino IDE untuk membaca data dari sensor-sensor yang terhubung. Data yang diperoleh kemudian dikirimkan secara periodik ke server menggunakan koneksi Wi-Fi melalui protokol HTTP GET. Di sisi server, data diterima oleh skrip PHP dan disimpan ke dalam database MySQL untuk keperluan pencatatan dan analisis.



Gambar 2. Arsitektur Komunikasi Sistem

Antarmuka web dikembangkan menggunakan kombinasi teknologi web seperti PHP untuk logika sisi server, MySQL sebagai sistem manajemen basis data, serta HTML dan CSS untuk merancang tampilan halaman pengguna. Melalui halaman ini, pengguna dapat memantau kondisi lingkungan sistem hidroponik secara real-time, dengan data ditampilkan dalam bentuk tabel maupun grafik visual yang informatif. Selain itu, antarmuka juga dilengkapi dengan tombol kontrol yang memungkinkan pengguna menyalakan atau mematikan perangkat seperti pompa atau sistem penyiram secara manual, memberikan fleksibilitas dalam pengelolaan sistem secara daring.

2.4. Alur Kerja Sistem

Sistem diawali dengan pembacaan parameter lingkungan oleh berbagai sensor yang terpasang. Nilai-nilai yang diperoleh kemudian dikirim ke mikrokontroler ESP32 sebagai data input [14]. Setelah menerima data, sistem akan memeriksa apakah nilai tersebut berada dalam rentang ambang batas yang telah ditentukan. Jika terdapat penyimpangan—misalnya pH terlalu tinggi, tingkat PPM terlalu rendah, atau ketinggian air tidak sesuai—ESP32 akan mengaktifkan aktuator yang relevan, seperti pompa nutrisi atau pompa penurun pH, untuk menyesuaikan kondisi agar kembali ke rentang yang diinginkan.

Terlepas dari status kerja aktuator, seluruh data hasil pengukuran sensor akan secara rutin dikirimkan dan ditampilkan melalui antarmuka web, sehingga memudahkan pengguna

dalam memantau kondisi sistem secara real-time. Proses ini menggunakan bahasa pemrograman PHP untuk menangani data di sisi server, sementara MySQL digunakan sebagai sistem manajemen basis data [15].

Komunikasi data antara ESP32 dan server dilakukan melalui protokol HTTP GET, di mana data sensor dikirim ke server web melalui jaringan Wi-Fi. Skrip PHP pada server menerima data tersebut dan menyimpannya ke dalam database MySQL untuk ditampilkan dalam bentuk tabel maupun grafik. Proses ini berjalan secara berulang selama sistem aktif dan hanya akan berhenti ketika sistem dinonaktifkan.

2.5. Metode Analisis Data

Metode analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan membandingkan hasil sensor dengan alat ukur standar untuk menilai akurasi sistem [7]. Data diambil melalui langkah-langkah berikut:

1. Pengukuran dilakukan menggunakan alat standar seperti TDS meter, pH meter, termometer digital, humidity meter, dan meteran.
2. Sensor membaca parameter yang sama dalam waktu berdekatan.
3. Hasil dari sensor dan alat ukur dicatat dan dibandingkan untuk melihat deviasi nilainya.
4. Pengujian dilakukan berulang kali dalam kondisi dan waktu berbeda untuk menguji konsistensi.
5. Dari perbandingan tersebut, dinilai apakah sistem mampu membaca parameter dengan akurat dan stabil.
6. Evaluasi juga dilakukan untuk melihat respons sistem terhadap input, seperti pada kontrol pompa dan pemberian nutrisi otomatis.

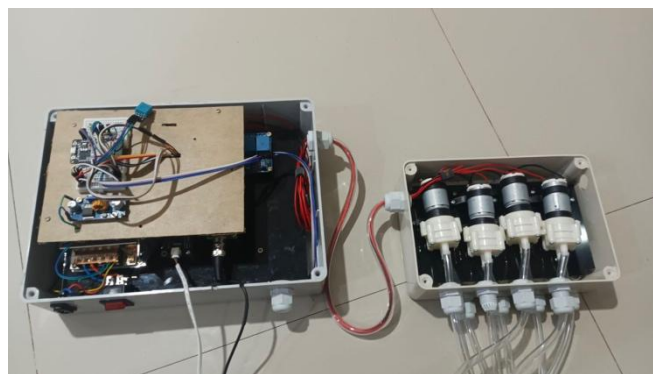
3. Hasil dan Pembahasan

Bagian Hasil dan Pembahasan ini merinci temuan-temuan yang diperoleh dari implementasi dan pengujian sistem otomasi hidroponik berbasis mikrokontroler ESP32. Pada bagian akan disajikan produk yang dihasilkan dan data hasil pengujian yang dilakukan untuk memverifikasi akurasi sensor serta analisis mendalam terhadap performa sistem dalam mencapai tujuan otomatisasi yang telah ditetapkan.

3.1. Produk dan Sistem

A. Produk

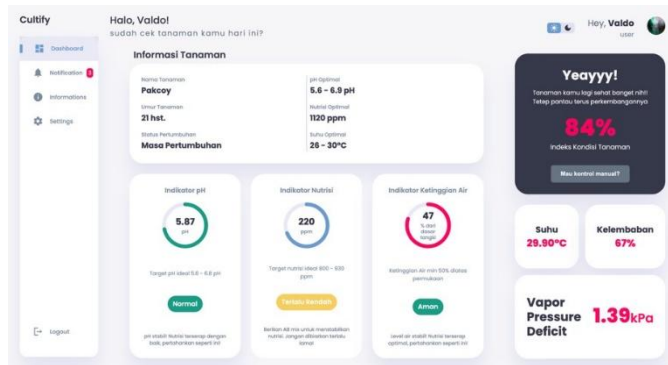
Produk ini merupakan sistem otomasi hidroponik yang terdiri dari dua komponen utama: sistem kontrol berbasis mikrokontroler ESP32 dan antarmuka web untuk pemantauan. Sistem ESP32 bertindak sebagai otak kendali, secara otomatis membaca data dari berbagai sensor seperti suhu, pH, PPM (EC), dan ketinggian air, lalu mengendalikan aktuator seperti pompa nutrisi dan pH untuk menjaga kondisi ideal.



Gambar 3. Tampilan Fisik Bagian Dalam Alat

Seluruh data yang terkumpul akan dikirimkan ke antarmuka web, memungkinkan pengguna memantau kondisi hidroponik secara real-time, melihat grafik data historis, mengatur parameter target (misalnya, pH dan PPM), serta menerima notifikasi jika ada

kondisi yang tidak sesuai. Dengan demikian, sistem ini menyediakan solusi lengkap untuk pemantauan dan kontrol hidroponik yang efisien dan otomatis.



Gambar 4. Tampilan Dashboard Website

Selain fungsi inti tersebut, desain produk ini juga mempertimbangkan kemudahan instalasi dan modularitas. Modul kontrol utama, yang berisi mikrokontroler dan rangkaian sensor, dikemas terpisah dari modul pompa dosing, memungkinkan fleksibilitas dalam penempatan dan perawatan. Koneksi antar modul dirancang sederhana, memastikan sistem dapat diintegrasikan dengan mudah ke dalam instalasi hidroponik yang sudah ada maupun yang baru.

B. Penjelasan Sistem

Sistem ini dirancang untuk memantau dan mengontrol kondisi pada instalasi hidroponik secara otomatis dan real-time. Dengan menggabungkan sensor-sensor utama seperti suhu, pH, EC (TDS), dan ultrasonik, sistem ini mampu memberikan data yang akurat untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Pengguna dapat memantau kondisi tersebut dari jarak jauh melalui web yang telah disediakan.

Sistem ini menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali untuk membaca data dari sensor suhu, pH, EC (TDS), dan sensor ultrasonik. Data dari sensor dikirimkan secara real-time ke database melalui koneksi Wi-Fi. Web dibuat menggunakan PHP dan MySQL, dengan tampilan frontend berbasis HTML dan JavaScript. Web menampilkan nilai-nilai pembacaan sensor secara langsung (real-time) dalam bentuk angka. Selain menampilkan data, web ini juga menyediakan dua mode kontrol: otomatis dan manual. Dalam mode otomatis, pompa akan bekerja sesuai dengan nilai sensor yang terdeteksi. Sedangkan dalam mode manual, pengguna bisa mengaktifkan atau menonaktifkan pompa secara langsung lewat web.

Contoh logika sistem otomatis:

Jika nilai PPM < 600 ppm → pompa nutrisi aktif. J

ika nilai pH > 7.5 → pompa penurun pH aktif.

Jika tinggi air < ambang batas → sistem memberi notifikasi

3.2. Penyajian dan Analisis Data

A. Uji Coba Pengukuran Sensor pH

Untuk menguji akurasi dan kinerja sensor pH yang digunakan dalam sistem, serangkaian uji coba pengukuran telah dilakukan. Pengujian ini melibatkan perbandingan nilai pH standar dari larutan referensi dengan nilai yang terukur langsung oleh sensor. Hasil dari uji coba tersebut disajikan dalam tabel dan grafik berikut, menunjukkan seberapa dekat pembacaan sensor dengan nilai pH yang seharusnya:

Tabel 1: Pengukuran Sensor pH

No	pH standar	pH Sensor ESP32	Error
1	11.1	11.1	0
2	10.3	10.4	+0.1
3	7.6	7.5	-0.1
4	6.9	7.0	+0.1
5	6.6	6.5	-0.1
6	6.2	6.2	0
7	5.8	5.8	0
8	5.2	5.3	+0.1

Berdasarkan hasil pengujian delapan titik, sensor pH menunjukkan akurasi dan presisi tinggi dengan tiga titik tanpa error dan lima titik lainnya hanya memiliki deviasi ± 0.1 , yang tergolong sangat kecil dan dapat diterima. Pengujian mencakup rentang pH luas (5.2–11.1) dan hasil tetap konsisten, baik di kondisi asam maupun basa. Meski arah error bervariasi sedikit, besarnya tetap seragam, menandakan keandalan sensor. Dengan demikian, sensor ini dinilai cocok untuk sistem monitoring seperti hidroponik yang memerlukan pembacaan pH akurat.

B. Uji Coba Pengukuran Sensor TDS (EC)

Pengujian terhadap sensor TDS (Total Dissolved Solids) juga dilakukan untuk mengevaluasi akurasi pembacaannya. Dalam uji coba ini, berbagai larutan dengan konsentrasi TDS standar yang bervariasi digunakan sebagai referensi. Hasil perbandingan antara nilai TDS standar dan nilai yang terukur oleh sensor disajikan pada tabel dan grafik di bawah ini, termasuk besaran error yang terjadi:

Tabel 2: Pengukuran Sensor TDS (EC Sensor)

No	TDS Standar (ppm)	TDS Sensor ESP32 (ppm)	Error (ppm)
1	172	154	12
2	265	251	-14
3	432	453	21
4	621	633	12
5	740	749	9
6	848	747	-101
7	1029	739	-290
8	1183	750	-433

Berdasarkan data perbandingan antara nilai TDS standar dan hasil pengukuran sensor, sensor menunjukkan akurasi yang cukup baik pada rentang TDS rendah hingga menengah (172–740 ppm), dengan error kecil antara -14 hingga +21 ppm. Namun, pada nilai di atas 800 ppm, akurasinya menurun drastis dengan error negatif signifikan, seperti -101 ppm pada 848 ppm dan -433 ppm pada 1183 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa sensor cenderung membaca nilai lebih rendah dari standar pada konsentrasi tinggi, sehingga penggunaannya pada rentang tersebut memerlukan kalibrasi ulang atau perlu dipertimbangkan kembali.

C. Uji Coba Pengukuran Sensor Ultrasonik

Untuk mengetahui kemampuan sensor ultrasonik dalam mengukur jarak, serangkaian pengujian telah dilakukan. Pengujian ini membandingkan jarak objek sebenarnya dengan pembacaan yang dihasilkan oleh sensor. Hasil akurasi pengukuran sensor ultrasonik pada berbagai jarak disajikan dalam tabel dan grafik berikut:

Tabel 3: Pengukuran Sensor Ultrasonik

No	Jarak terukur (cm)	Sensor Ultrasonic ESP32 (cm)	Error (cm)
1	5	20	-15
2	10	20	-10
3	15	20	-5
4	20	20	0
5	30	31	1
6	40	39	-1
7	50	52	2
8	75	74	-1
9	100	101	1

Dari tabel perbandingan antara jarak sebenarnya dan hasil pembacaan sensor, terlihat bahwa sensor ultrasonik kurang akurat pada jarak dekat (5–15 cm), dengan error negatif cukup besar. Artinya, sensor membaca jarak lebih jauh dari seharusnya—kemungkinan karena keterbatasan deteksi minimum. Mulai dari 20 cm, akurasi sensor membaik drastis. Pada 20 cm, error = 0, dan dari 30 hingga 100 cm, error hanya ± 1 –2 cm. Nilai ini masih dalam batas wajar dan dapat diterima.

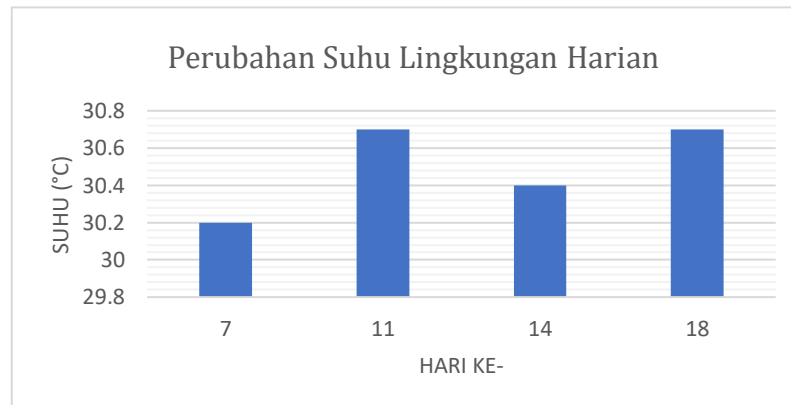
D. Analisis Monitoring Terhadap Kebutuhan Tanaman Pakcoy.

Analisis ini membahas kesesuaian parameter lingkungan seperti pH, TDS, suhu, dan tinggi air yang diukur oleh sistem terhadap kebutuhan pertumbuhan tanaman pakcoy pada fase awal hingga pertengahan (18 hari pertama). Meskipun pengujian ini tidak dilakukan hingga masa panen, analisis ini bertujuan untuk menilai kesesuaian sistem monitoring dan kontrol terhadap rentang nilai optimal yang dibutuhkan tanaman pakcoy agar tetap tumbuh secara sehat dan terukur.

Tabel 4: Hasil Observasi Pertumbuhan Tanaman Pakcoy

Hari ke-	Suhu (°C)	TDS (ppm)	pH	Volume air (%)	Jumlah Daun	Catatan Pertumbuhan
7	30.2	587	6.3	78	2	Warna daun hijau muda
11	30.7	595	6.1	72	3	Muncul daun ketiga, menandakan awal fase vegetatif lanjut.
14	30.4	723	6.4	82	4	Daun ketiga bertambah lebar, Munculnya daun keempat.
18	30.7	923	6.3	75	5	Tiga daun melebar warna daun juga menjadi semakin pekat, dua daun muda yang lain masih berwarna hijau cerah

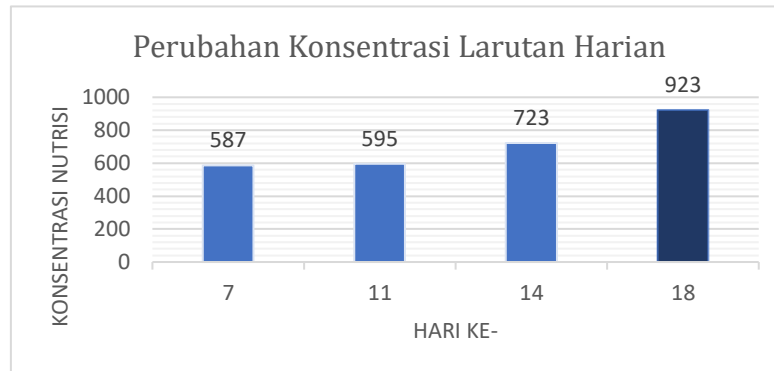
Tabel 4 menunjukkan hasil pemantauan pertumbuhan pakcoy selama 18 hari awal budidaya yang dikorelasikan dengan parameter lingkungan. Pada hari ke-7 hingga ke-18, terjadi peningkatan suhu, TDS, dan penurunan volume air yang mencerminkan penyerapan nutrisi oleh tanaman. Data ini menunjukkan bahwa sistem otomasi hidroponik berhasil menjaga parameter lingkungan dalam batas optimal untuk mendukung pertumbuhan pakcoy secara signifikan.



Gambar 5. Grafik Perubahan Suhu Lingkungan Harian pada Sistem

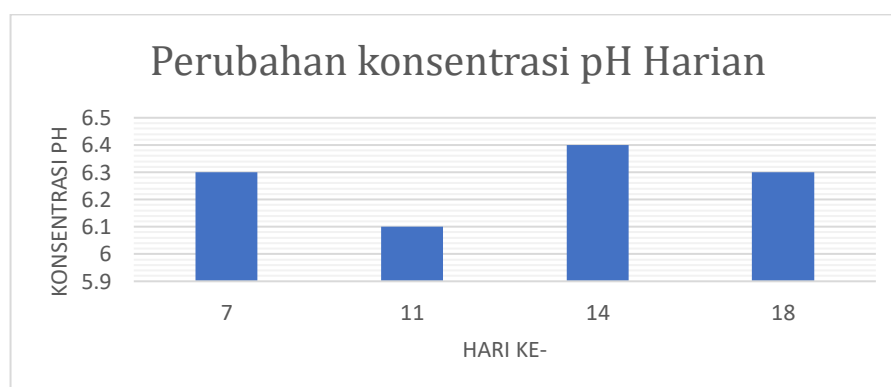
Berdasarkan grafik pada gambar 5, terlihat bahwa suhu lingkungan mengalami fluktuasi selama periode pengamatan. Pada hari ke-7, suhu tercatat sekitar 30.2°C. Kemudian, terjadi kenaikan signifikan pada hari ke-11, di mana suhu mencapai angka 30.7°C. Setelah itu, suhu mengalami penurunan pada hari ke-14 menjadi sekitar 30.4°C. Namun, pada hari ke-18, suhu kembali naik dan mencapai tingkat yang hampir sama dengan hari ke-11, yaitu sekitar 30.7°C. Fluktuasi ini menunjukkan adanya perubahan suhu lingkungan yang cukup dinamis dari waktu ke waktu dalam sistem yang diamati. Rentang suhu yang tercatat ini masih berada dalam kondisi yang normal dan sesuai untuk pertumbuhan pakcoy. Kenaikan dan penurunan suhu ini juga dapat dipengaruhi oleh

kondisi cuaca harian, seperti paparan sinar matahari yang dapat menyebabkan perubahan suhu lingkungan.



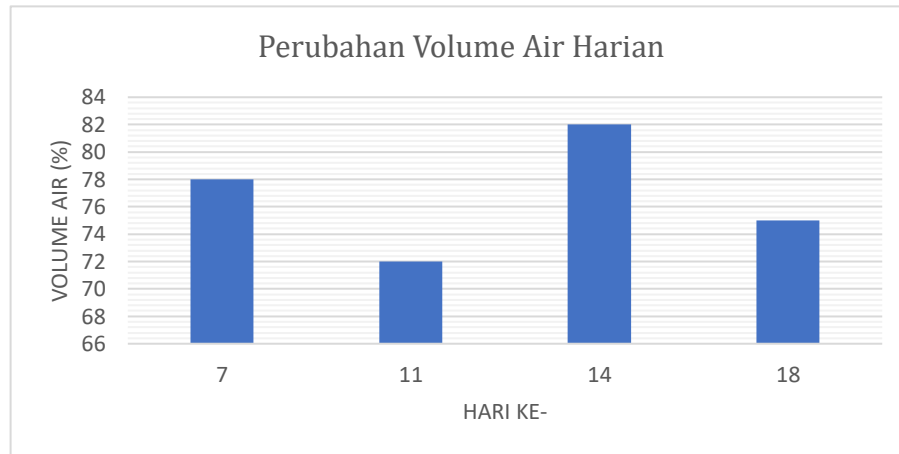
Gambar 6. Grafik Perubahan Konsentrasi Nutrisi Harian pada Sistem

Pada gambar 6 fluktuasi konsentrasi nutrisi pada larutan hidroponik dalam sistem ini menunjukkan adanya penyesuaian yang terencana sesuai dengan fase pertumbuhan tanaman pakcoy. Pada awal pertumbuhan, yaitu hari ke-7 hingga ke-11, konsentrasi nutrisi disetel secara manual pada kisaran 600 ppm menggunakan larutan AB Mix, dan hasil pembacaan sensor menunjukkan nilai yang konsisten dan akurat. Menginjak hari ke-14, seiring dengan bertambahnya usia tanaman, konsentrasi nutrisi ditingkatkan menjadi sekitar 700 ppm untuk memenuhi kebutuhan nutrisi yang lebih tinggi. Pada fase akhir pertumbuhan, yaitu hari ke-18, kebutuhan nutrisi tanaman mencapai 900 ppm. Karena keterbatasan jangkauan sensor yang hanya dapat membaca hingga 700 ppm, pengukuran pada hari tersebut dilakukan secara eksternal dengan menggunakan PPM meter standar. Hasil pengukuran manual ini menunjukkan konsentrasi 923 ppm, yang menegaskan bahwa kebutuhan nutrisi tanaman terpenuhi secara optimal meskipun data tidak terekam oleh sensor sistem. Perbedaan warna batang pada grafik hari ke-18 juga secara implisit memberikan informasi penting mengenai metode pengukuran yang berbeda, yang menunjukkan upaya untuk memastikan akurasi data di luar kapabilitas sensor yang tersedia.



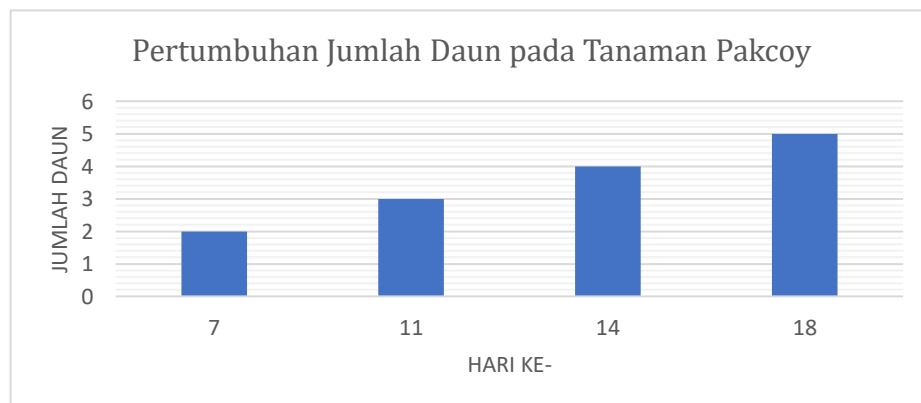
Gambar 7. Grafik Perubahan Konsentras pH Harian pada Sistem

kemudian pada grafik gambar 7, terlihat adanya fluktuasi nilai pH larutan nutrisi selama periode pengamatan. Pada hari ke-7, nilai pH tercatat 6.3, yang berada dalam rentang optimal untuk pertumbuhan tanaman pakcoy. Pada hari ke-11, terjadi penurunan pH menjadi 6.1, yang masih dalam batas toleransi pertumbuhan tanaman. Namun, pada hari ke-14, pH kembali meningkat ke angka 6.4. Perubahan ini mungkin disebabkan oleh penyesuaian yang dilakukan pada larutan nutrisi. Pada hari ke-18, nilai pH sedikit menurun kembali ke 6.3. Secara keseluruhan, nilai pH pada semua hari pengamatan tetap berada dalam rentang ideal untuk penyerapan nutrisi oleh tanaman, menunjukkan stabilitas lingkungan tumbuh yang baik meskipun terjadi fluktuasi kecil.



Gambar 8. Grafik Perubahan Volume Air Harian pada Sistem

Berdasarkan grafik perubahan volume air harian, terlihat adanya fluktuasi persentase volume air pada sistem. Pada hari ke-7, volume air tercatat sekitar 78%, yang kemudian menurun menjadi 72% pada hari ke-11 akibat penyerapan larutan nutrisi oleh tanaman. Kenaikan signifikan pada hari ke-14 hingga 82% menunjukkan adanya penambahan air oleh pengguna untuk menjaga ketersediaan air dalam sistem. Namun, volume air kembali menurun pada hari ke-18 menjadi sekitar 75%, mengindikasikan bahwa konsumsi air oleh tanaman terus berlanjut. Fluktuasi ini memperlihatkan pentingnya pemantauan dan penyesuaian volume air secara berkala untuk menjaga kondisi optimal bagi pertumbuhan tanaman.



Gambar 9. Grafik Pertumbuhan Jumlah Daun pada Tanaman Pakcoy

Kemudian pada grafik pertumbuhan jumlah daun pada tanaman pakcoy, terlihat adanya peningkatan jumlah daun secara konsisten dari waktu ke waktu. Pada hari ke-7,

tanaman memiliki 2 helai daun. Jumlah ini kemudian bertambah menjadi 3 helai daun pada hari ke-11. Peningkatan berlanjut pada hari ke-14, di mana jumlah daun mencapai 4 helai, dan pada hari ke-18, jumlah daun terus bertambah hingga mencapai 5 helai. Pola pertumbuhan ini menunjukkan bahwa tanaman pakcoy tumbuh dengan baik dan sehat dalam sistem yang diuji, dengan penambahan jumlah daun yang stabil seiring bertambahnya usia tanaman.

3.3. Pembahasan

Sistem otomasi hidroponik berbasis ESP32 dan antarmuka web berhasil memenuhi tujuan utama penelitian, yaitu pemantauan dan pengendalian variabel hidroponik secara real-time. Sensor pH, suhu, TDS, dan ketinggian air berfungsi baik dalam mengirim data ke database online untuk ditampilkan di website. Sistem juga mampu mengaktifkan pompa secara otomatis sesuai kondisi, misalnya untuk menyesuaikan pH atau menambah nutrisi. Namun, ditemukan kendala berupa keterlambatan respons pompa akibat gangguan koneksi Wi-Fi, sehingga ditambahkan fitur kontrol manual via website untuk menjaga fleksibilitas dan keandalan.

Sensor pH menunjukkan akurasi tinggi (± 0.1), sensor TDS cukup akurat di bawah 800 ppm, dan sensor ultrasonik efektif pada jarak 20–100 cm, meskipun memiliki keterbatasan di bawah 20 cm. Selama 14 hari awal pengamatan pertumbuhan pakcoy, sistem mampu menjaga parameter lingkungan tetap stabil dan dalam batas optimal, dengan fluktuasi ringan akibat faktor eksternal seperti sinar matahari dan penguapan. Penyesuaian volume air dilakukan pengguna berdasarkan data dari website.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal terkait prototipe sistem Hidroponik Pintar berbasis IoT dan mikrokontroler ESP32 sebagai berikut.

- A. Prototipe Smart-Hidroponik berbasis IoT dan ESP32 berhasil dirancang untuk monitoring dan kontrol otomatis tanaman pakcoy menggunakan sensor pH, TDS, suhu, dan ultrasonik.
- B. Sistem mampu mengirim data secara real-time ke website dan memberikan respon otomatis melalui pompa atau notifikasi saat terjadi ketidaksesuaian nilai sensor.
- C. Dibanding metode konvensional, sistem ini lebih efisien dan akurat karena mampu menjaga kestabilan lingkungan tanam secara otomatis dan minim intervensi manual.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Haq, M. S. N., Azizah, M. N., Alawiyah, Z. Z. L., Fitriyani, W. N., Tulloh, S. H., & Astuti, Y. S. "Optimalisasi Hidroponik Berbasis IoT untuk Pertanian Berkelanjutan di Desa Wanasigra Sindangkasih Ciamis". Jurnal Penelitian UPR, vol.5(1), pp.1-11, Apr. 2025
- [2] Wardhana, A. S., Ferdiansyah, M., & Kholifah, S.. "Desain dan Prototipe Integrasi IoT dalam Pertanian Hidroponik Cerdas Berbasis Energi Terbarukan". Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika Dan Komunikasi, Vol.6(1), pp.105-114, Jun. 2025
- [3] M. A. R. Siregar, "PENINGKATAN PRODUKTIVITAS TANAMAN PADI MELALUI PENERAPAN TEKNOLOGI PERTANIAN TERKINI", 29-May-2023. [Online]. Available: osf.io/g98xr_v1.

Rivaldo Josua Jetrin Rolos (Prototipe Hidroponik Pintar(Smart-Hydroponic) Tanaman Pakcoy Melalui Website Berbasis IoT dan Mikrokontroler ESP32 untuk Peningkatan Efisiensi Pertanian)

- [4] Nasution, F. A., Muthmainnah, M., Nanda, S. A., Fadliani, F., Ridwan, T. M., & ZA, N.. “Peran Internet Of Thing (Iot) Dalam Perkembangan Teknologi Untuk Petani Garam Tambak Ujung Pusong Jaya”. *Jurnal Malikussaleh Mengabdi*, Vol3(2), pp.410-420, Okt. 2024
- [5] Fikri, K.. “Peran Teknologi IoT dalam Meningkatkan Efisiensi Pertanian Modern”. *literacy notes*. Vol.2(1), Nov. 2024
- [6] Dhananjaya, D. A.. Smart Budikdamber Sistem Budidaya Ikan Terintegrasi Berbasis IoT Blynk Dengan Pemantauan dan Pengendalian Real-Time. *The Indonesian Journal of Computer Science*, Vol. 13(5), Okt. 2024
- [7] Kartika, K., Asran, A., Hasibuan, M. P., & Misriana, M.. “Implementation of Linear Regression Method for Calibration and Temperature Measurement on PT100 Temperature Sensor”. *Jurnal Elektronika Otomasi Industri*, Vol. 11(2), pp. 503-511, Juli. 2024
- [8] Judijanto, L., Muhammadijah, M. U., Utami, R. N., Suhirman, L., Laka, L., Boari, Y., ... & Yunus, M. *Metodologi Research and Development: Teori dan Penerapan Metodologi RnD*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2024 [E-books]
- [9] Asmbangnirwana, E. Endryansyah, P. W. Rusimamto, and M. S. Zuhrie, “Pengendalian Suhu Air Nutrisi Pada Hidroponik NFT (Nutrient Film Technique) Berbasis Fuzzy Logic Controller”, *JTE*, vol. 11, no. 1, pp. 108–116, Jun. 2022.
- [10] Atmiasri, Rani M. W. S. . “DESIGN & BUILD OF HOME AUTOMATION TRAINER USING MCU ESP8266 NODE MODUL BASED ON INTERNET OF THINGS (IOT)”. *Best : Journal of Applied Electrical, Science and Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 63-70, Nov. 2022,
- [11] S. Fuada, E. Setyowati, G. I. Aulia, and D. W. Riani, “NARATIVE REVIEW PEMANFAATAN INTERNET-OF-THINGS UNTUK APLIKASI SEED MONITORING AND MANAGEMENT SYSTEM PADA MEDIA TANAMAN HIDROPONIK DI INDONESIA”, *infotech*, vol. 9, no. 1, pp. 38–45, Jan. 2023.
- [12] Rahma F., Hidayanti F., Inna M “Penerapan Smart Sensor untuk Kendali pH dan Level Larutan Nutrisi pada Sistem Hidroponik Tanaman Pakcoy”, *JTIK*, vol. 6, no. 5, pp. 527–534, Oct. 2019
- [13] Rochman S., Musthofa A.N., Firmansyah M.R. “Design and Construction of Power Monitoring and Circuit Breaker Devices for PLN Customers based on IoT”, *BEST*, vol. 6, no. 2, pp. 69–74, Sep. 2024.
- [14] Hamidah, M., Safitri, N., Akbar, D., Uly, O., & Kurnianto, D. “Prototype Sistem Monitoring Nutrisi dan Tingkat pH Air pada Budidaya Hidroponik Sayur Pakcoy Menggunakan Teknologi Internet of Things (IoT)”. *Elektron : Jurnal Ilmiah*, Vol. 15(1), pp.13-20, Jun. 2023
- [15] Sitanggang R., Dachi T.U., Manurung I.H.G. “Rancang Bangun Sistem Penjualan Tanaman Hiasberbasis Web Menggunakan PHP Dan MySQL”. *Medan, Jurnal TEKESNOS* Vol. 4, No. 1. Pp. 84-90, Mei. 2022