

Sistem Kontrol Nutrisi dan Suhu Pada Tanaman Hidroponik Pakcoy Menggunakan Metode Threshold

Nutrition And Temperature Control System In Hydroponic Pakcoy Plants Using The Threshold Method

Sitti Hawa^{*1}, Musyrifah², Muh.Imam Quraissy³

^{1, 2, 3}Prodi Teknik Informatika, Universitas Sulawesi Barat

E-mail : ¹sittihawa010@gmail.com , ²musyrifah@unsulbar.ac.id , ³imam27@unsulbar.ac.id

**Corresponding author*

Received 24 June 2026; Revised 30 July 2026; Accepted 31 July 2026

Abstrak - Budidaya tanaman pakcoy menggunakan sistem hidroponik memerlukan pengawasan parameter nutrisi dan suhu udara, namun proses pemantauan nilai nutrisi dan suhu udara secara konvensional sering kali tidak konsisten dan tidak efisien waktu oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem kontrol nutrisi dan suhu pada tanaman hidroponik pakcoy menggunakan metode *threshold*, sistem ini menggunakan sensor TDS dan DHT22 sebagai input parameter dimana *threshold* diterapkan untuk mengaktifkan dan menonaktifkan aktuator secara otomatis melalui protokol komunikasi MQTT agar dapat di akses dimanapun, Pendekatan yang diterapkan dalam penelitian ini menggunakan metode Penelitian dan Pengembangan atau *Research and Development* (R&D), yang terdiri dari beberapa tahap, yaitu analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, dan pengujian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma *threshold* telah berhasil di terapkan pada sistem ini, sistem kontrol nutrisi membutuhkan durasi waktu selama 59 detik untuk menaikkan kepekatan dari 25 PPM menuju target 900 PPM pada volume 3 liter air. Sementara itu, sistem pendingin berhasil menurunkan suhu udara dari 32 °C ke target ideal 27 °C dengan durasi selama 1416 detik, dan pengujian komunikasi MQTT menunjukkan semua data berhasl dikirim dengan persentase keberhasilan 100%. Hasil penelitian menunjukan bahwa sistem yang dibuat dapat memantau dan mengontrol nutrisi dan suhu secara otomatis, *real time*, dan lebih efisien sehingga dinilai mampu memberikan kontribusi positif dalam mendongkrak kapasitas produksi budidaya hidroponik pakcoy.

Kata Kunci: Internet of Things (IoT);Threshold; Nutrisi; Suhu; Hidroponik Pakcoy.

Abstract - Cultivation of pakcoy plants using a hydroponic system requires monitoring of nutritional parameters and air temperature, but the process of monitoring nutritional values and air temperature conventionally is often inconsistent and inefficient in time therefore this study aims to create a nutritional and temperature control system in pakcoy hydroponic plants using the threshold method, this system uses TDS and DHT22 sensors as input parameters where the threshold is applied to activate and deactivate the actuator automatically via the MQTT communication protocol so that it can be accessed anywhere, The approach applied in this study uses the *Research and Development* (R&D) method, which consists of several stages, namely needs analysis, system design, implementation, and testing. The test results show that the threshold algorithm has been successfully applied to this system, the nutrient control system requires a duration of 59 seconds to increase the concentration from 25 PPM to the target of 900 PPM in a volume of 3 liters of water. Meanwhile, the cooling system successfully lowered the air temperature from 32°C to the ideal target of 27°C in 1416 seconds, and MQTT communication testing demonstrated 100% successful data transmission. The research findings demonstrate that the system can monitor and control nutrients and temperature automatically, in real time, and more efficiently, thus contributing positively to boosting the production capacity of hydroponic bok choy cultivation.

Keywords Internet of Things (IoT); Threshold; Nutrition; Temperature; Hydroponic Pakcoy.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan masyarakat terhadap sayuran segar dan berkualitas terus meningkat seiring dengan kesadaran akan pola hidup sehat. Salah satu komoditas sayuran yang diminati secara luas adalah pakcoy (*Brassica rapa L.*) [1]. Ada banyak jenis makanan yang menggunakan pakcoy sebagai bahan utama maupun sebagai bahan pelengkap untuk suatu hidangan. Selain itu, pakcoy juga bermanfaat untuk kesehatan tubuh manusia karena pakcoy memiliki kandungan yang dibutuhkan manusia seperti vitamin, mineral, dan serat [2].

Hidroponik adalah metode penanaman tanpa menggunakan tanah, melainkan memanfaatkan larutan nutrisi yang mengandung unsur esensial yang dibutuhkan oleh tanaman. Metode penanaman dengan menggunakan teknik hidroponik adalah cara untuk mengatasi masalah kurangnya lahan pertanian dengan memanfaatkan ruang kosong yang tidak digunakan di daerah padat penduduk, seperti atap rumah, balkon, teras rumah, dinding rumah, dan lainnya. [3].

Pemberian nutrisi dan kepekatan nutrisi ditulis dengan satuan PPM (parts per million). PPM adalah satuan untuk mengukur kepekatan pada larutan cair. Ukuran kepekatan nutrisi ideal pada tanaman pakcoy yaitu sekitar 500–1500 PPM [4]. Suhu di sekitar tanaman hidroponik dapat mempengaruhi kualitas panen pada tanaman hidroponik [5]. Namun pemberian nutrisi pada tanaman masih dilakukan dengan cara yang manual berdasarkan pengalaman dan petunjuk yang ada tanpa adanya sistem yang mendeteksi secara *real time*. Budidaya pakcoy pada hidroponik memerlukan pemantauan setiap harinya terkait pemberian nutrisi, dan kondisi suhu udara namun adakalanya pembudidaya tidak memiliki cukup waktu untuk datang ke lokasi penanaman dan melakukan pemantauan dan perawatan tanaman secara berkala, pembudidaya tanaman hidroponik biasanya masih menggunakan alat manual untuk mengukur kadar nutrisi yang ada pada air, dan suhu yang masih sulit untuk di kontrol, untuk itu diperlukan adanya sistem kontrol yang mampu membantu para pembudidaya untuk mengontrol nutrisi serta suhu pada tanaman hidroponik.

Dengan kecanggihan teknologi saat ini yang memungkinkan kita untuk dapat mengontrol benda secara manual atau secara otomatis menggunakan perangkat tambahan seperti *smartphone*, konsep pengendalian jarak jauh ini dapat diterapkan pada sistem pertanian, baik itu pertanian konvensional (menggunakan media tanah). Maupun pertanian hidroponik [6]. Salah satu contoh perkembangan teknologi saat ini adalah Internet of Things (IoT). Salah satu protokol yang mendukung IoT adalah MQTT (Message Queue Telemetry Transport), yang dapat diimplementasikan untuk melakukan pemantauan sekaligus pengontrolan perangkat secara langsung (*real-time*) [7]. Dengan adanya teknologi ini dapat memudahkan kita untuk melakukan kegiatan sehari-hari, salah satu penerapan IoT ini adalah sistem kontrol nutrisi dan suhu tanaman hidroponik, untuk mengontrol pemberian nutrisi dan juga menjaga kestabilan suhu pada tanaman sesuai dengan ambang batas tetap yang telah ditentukan.

Dalam pengambilan batas nilai dari sensor DHT22 dan sensor TDS menggunakan metode ambang batas (*Threshold*) dengan histeresis, penggunaan logika *Threshold* dengan histeresis ini sebagai penunjang usia dari perangkat yang dibuat, karena logika threshold dengan histeresis ini dapat memastikan agar perangkat tidak bekerja (ON-OFF) dalam rentang nilai yang hanya selisih sedikit [7]. Metode threshold adalah metode yang digunakan untuk menentukan nilai ambang batas pada suatu kejadian [8].

Beberapa penelitian terkait Smart Greenhouse sudah pernah dilakukan, salah satunya adalah oleh Eni Dwi Wardihani dan timnya pada tahun 2024 yang mempelajari pemantauan dan pengendalian parameter di dalam greenhouse menggunakan teknologi IoT. Parameter yang diamati dalam penelitian sebelumnya meliputi suhu di greenhouse, tingkat kelembapan di greenhouse, serta intensitas cahaya yang masuk ke dalam greenhouse. Parameter yang dikontrol dalam sistem ini meliputi suhu dan kelembapan udara di dalam greenhouse. Pengaturan kelembapan dilakukan menggunakan exhaust fan, sedangkan jika parameter suhu turun di bawah

ambang batas yang ditentukan, sistem secara otomatis akan mengaktifkan drum-fan hingga suhu kembali mencapai nilai minimal yang ideal. Pengujian performa sistem kontrol ini berjalan dengan baik, di mana hasil pengujian QoS (Quality of Service) menunjukkan nilai rata-rata data loss pada pemantauan gateway-server sebesar 10,6%, rata-rata delay pemantauan gateway-server sebesar 1,9 detik, serta rata-rata delay pada pengendalian server-gateway sebesar 7,1 detik. Penelitian lainnya dilakukan oleh Renny Eka Putri et al.(2023) yang mengembangkan sistem kontrol nutrisi untuk budidaya hidroponik tanaman sawi somhong (*Brassica sinensis* L.) menggunakan sistem hidroponik rakit apung dan NODEMCU. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi operasional proses budidaya sekaligus mengoptimalkan produktivitas serta kualitas hasil panen tanaman pakcoy. Penelitian sebelumnya menggunakan aplikasi Blynk untuk menampilkan data dari sensor, dan dari penelitian tersebut diperoleh hasil yang sangat memuaskan. Ketepatan pembacaan sensor selama penelitian dan pengamatan menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,9653 yang menunjukkan sistem mendekati nilai 1, sehingga sistem kontrol dapat dikatakan berjalan baik dan akurat[9].

Berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, diketahui bahwa penelitian terdahulu yang menggunakan dua parameter, yaitu suhu dan intensitas cahaya, sudah berhasil dan berjalan dengan baik, dan melakukan pengujian QoS mendapatkan nilai rata-rata data loss pada pemantauan gateway-server sebesar 10,6%, rata-rata delay pada pemantauan gateway-server sebesar 1,9 detik, serta rata-rata delay pada pengendalian server-gateway sebesar 7,1 detik. Saat parameter suhu greenhouse kurang dari ambang batas yang ditentukan, maka sistem akan menyalakan drum-fan yang akan aktif sampai suhu mencapai nilai minimal pada ambang batas. Dan penelitian lainnya hanya menggunakan sensor TDS untuk pemberian nutrisi dan NODEMCU sebagai sistem kontrolnya. Oleh karena itu, penelitian ini melakukan penggabungan antara dua parameter, yaitu suhu dan nutrisi, dan penelitian ini hanya berfokus pada Sistem Kontrol Nutrisi dan Suhu pada Tanaman Hidroponik Pakcoy Menggunakan Metode *Threshold*.

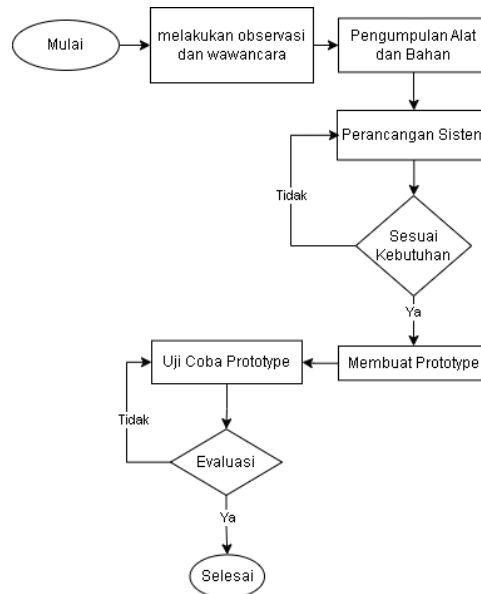
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode Penelitian dan Pengembangan atau *Research and Development* (R&D), yang merupakan sebuah pendekatan untuk menghasilkan produk baru maupun menyempurnakan produk yang telah ada sebelumnya [10]. Pada tahap desain produk, dirancang sebuah sistem kontrol otomatis yang menerapkan metode *threshold* dengan histeresis sebagai parameter acuan kontrol nilai ambang batas yang telah ditentukan untuk sensor TDS adalah 500-900PPM dan sensor DHT22 adalah 27 °C - 30 °C [5].

A. Tahapan Pengembangan Sistem (Metode R&D)

1. Tahapan Penelitian

Pada Gambar 1. Dimulai dengan mengamati kondisi lingkungan hidroponik, terutama pada proses pemberian nutrisi dan kondisi suhu di lingkungan hidroponik. Lalu, mengumpulkan alat dan bahan apa saja yang akan digunakan dalam penelitian. Kemudian, mulai merancang rangkaian sistem untuk Arduino IDE dan ESP32 dalam membaca sensor serta rangkaian yang lainnya. Setelah selesai dan sudah sesuai dengan kebutuhan, dilakukan uji coba untuk mengetahui bahwa program berjalan dengan semestinya dan sesuai dengan yang diharapkan.



Gambar 1. Flowchart Metode Penelitian

2. Pengumpulan Alat dan Bahan

Tahap ini dilakukan dengan mengumpulkan alat dan bahan apa saja yang digunakan dalam perancangan sistem, Berikut adalah komponen-komponen yang dibutuhkan dalam penelitian.

a. Mikrokontroler ESP32 WROOM 32

ESP32-WROOM-32 adalah sebuah modul mikrokontroler yang menggunakan prosesor dual-core Xtensa® 32-bit LX6 yang diproduksi oleh Espressif Systems. Perangkat ini memiliki kemampuan koneksi nirkabel berupa Wi-Fi dan Bluetooth versi 4.2, sudah dilengkapi berbagai fitur perangkat keras seperti GPIO, ADC, DAC, dan protokol komunikasi antarmuka seperti SPI, I2C, serta UART[12]. Mikrokontroler ESP32 adalah versi baru dari mikrokontroler ESP8266. Perbedaan nya adalah ESP32 menggunakan dua inti prosesor, sedangkan ESP8266 hanya memiliki satu inti. Mikrokontroler ESP32 harganya cukup murah, juga memiliki konsumsi daya yang rendah. Chip ini telah dilengkapi dengan modul Wi-Fi terintegrasi serta fitur Bluetooth yang mendukung operasional dalam dua mode, yaitu Bluetooth Classic dan Bluetooth Low Energy (BLE). Selain itu, ESP32 memiliki kemampuan hemat daya yang membuatnya lebih fleksibel dalam penggunaan[10].

b. Sensor DHT22

Sensor DHT22 merupakan perangkat pengukur suhu dan kelembapan yang menghasilkan keluaran berupa sinyal digital terkalibrasi. Proses konversi dan komputasi data pada sensor ini diakomodasi oleh MCU 8-bit terintegrasi, di mana tingkat akurasi nya dijamin melalui koefisien kalibrasi kompensasi suhu ruang yang tersimpan di dalam memori OTP (One-Time Programmable) internal [13]. Sensor suhu yang digunakan adalah DHT22 yang bekerja dengan tegangan 3.3v – 6v DC dan rentang pengukuran -40°C hingga +80°C

c. Sensor TDS

Sensor TDS (*Total Dissolved Solids Meter*) adalah sensor yang digunakan untuk mengetahui nilai *Electrical Conductivity* (EC) yang terkandung dalam larutan nutrisi[11]. Sensor ini bekerja dengan tegangan 3.3 V sampai 5.5v, output berupa tegangan analog 0 v sampai 2.3 V, dan dengan rentang pengukuran 0 – 1000 PPM.

d. Relay

Relay merupakan perangkat elektromekanikal yang bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, di mana medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan digunakan untuk menginduksi logam feromagnetik guna menggerakkan kontak sakelar [12]. Relay digunakan

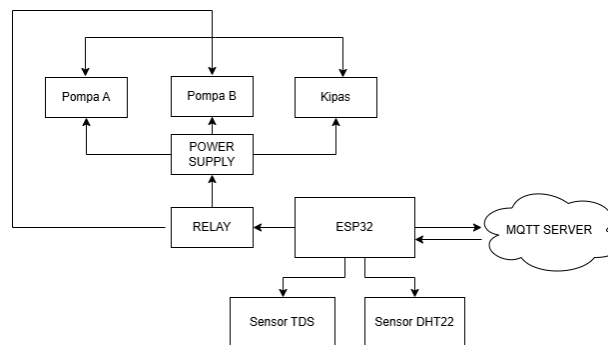
sebagai penghubung atau pemutus arus beban listrik. dengan beban maksimum AC 250V/10A, DC30V/10A, jumlah channel ada 6, dan relay ini bekerja dengan tegangan 5v *active LOW* dan *active HIGH*.

e. *Power supply*

Power Supply Unit (PSU) atau catu daya merupakan komponen perangkat keras elektronik yang berfungsi mengubah arus listrik bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC), serta melakukan regulasi tegangan agar sesuai dengan kebutuhan spesifikasi voltase pada setiap komponen sistem

3. *Perancangan dan Integrasi Perangkat Keras (Hardware)*

Perancangan alat adalah langkah yang dilakukan. Skema rangkaian perangkat terintegrasi ini dirancang sesuai dengan analisis kebutuhan komponen yang ada. Implementasi desain dari sistem yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Blok Diagram Sistem

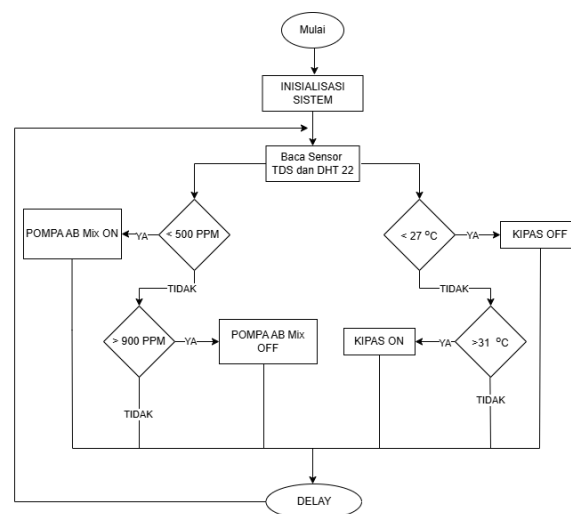
Integrasi perangkat keras dilakukan dengan menghubungkan seluruh instrumen sensor ke pin spesifik pada ESP32 yang telah dikonfigurasi sebelumnya. Pada rancangan ini, mikrokontroler ESP32 difungsikan untuk membaca data dari sensor TDS guna memantau tingkat konsentrasi atau kepekatan larutan nutrisi secara langsung, serta sensor DHT22 yang berfungsi untuk mengukur suhu udara di sekitar area instalasi hidropnik., sistem ini juga menggunakan relay sebagai driver untuk mengaktifkan atau menonaktifkan akuator seperti pompa untuk mengatur pemberian nutrisi jika terjadi kekurangan nutrisi pada tanaman dan kipas untuk menstabilkan area sekitar, untuk suplai daya semua komponen menggunakan power supply dengan output 12V 30A



Gambar 3 Integrasi Hardware

4. Flowchart Sistem

Pada sambar 4 adalah *flowchart* sistem, proses diawali dengan menginisialisasi pin, komponen dan sensor saat alat pertama kali dinyalakan, kemudian sistem membaca kondisi dari sensor TDS dan sensor DHT 22, jika nilai sensor TDS < 500 PPM maka sistem akan menyalakan pompa AB Mix untuk menambah nutrisi, jika tidak maka sistem akan memeriksa apakah nilai sensor TDS > 1500 PPM jika iya maka sistem akan mematikan pompa AB Mix, jika nilai TDS berada di antara 500 – 1500 PPM sistem tidak melakukan aksi apapun, dan jika nilai sensor DHT22 < 27 °C maka sistem akan mematikan kipas, jika tidak kurang dari 27 °C sistem akan memeriksa apakah nilai sensor DHT22 > 31°C, jika iya maka sistem akan menyalakan kipas untuk mendinginkan ruangan, jika suhu erada antara 27 – 31 °C maka sistem tidak melakukan aksi apapun status kipas tidak berubah, setelah melalui semua percabangan logika sistem akan mengalami jeda waktu lalu akan otomatis kembali ketahap pembacaan sensor untuk memantau kondisi secara terus menerus.



Gambar 4 Flowchart Sistem

B. Algoritma Kontrol Berbasis Threshold dengan Histeresis

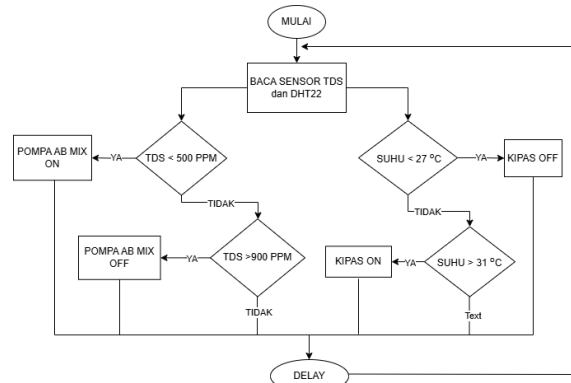
Pusat kendali otomatis pada sistem ini adalah metode *threshold* dengan histeresis, nilai parameter tanaman dikunci berdasarkan standar kebutuhan tanaman pakcoy, merujuk pada penelitian terdahulu[5]. Poin logika kontrol sistem adalah sebagai berikut.

1. Parameter Batas Suhu Lingkungan

Sistem mengunci batas atas pada 31 °C dan batas bawah toleransi pada 27 °C dengan logika, jika sensor membaca nilai > 31 °C maka mikrokontroler mengirim sinyal ke relay untuk menyalakan kipas, dan kipas akan mati jika nilai sensor < 27 °C.

2. Parameter Batas Nutrisi (PPM)

Dikarenakan sensor TDS yang digunakan hanya mampu mengukur dari 0 – 1000 PPM maka penelitian ini menggunakan PPM di bawah 1000 sebagai ambang batasnya, Sistem mengunci batas bawah pada 500 PPM dan batas atas toleransi pada 900 PPM, dengan logika, jika sensor membaca nilai < 500 PPM maka relay akan mengaktifkan pompa A dan B untuk menambah nutrisi AB Mix secara otomatis, dan akan mati jika kepekatan mencapai > 900 PPM.



Gambar 5 Flowchart Kontrol Threshold dengan histeresis

Gambar 5 adalah *flowchart* dari logika kontrol *threshold* dengan histeresis, Program pertama kali dijalankan saat mikrokontroler mendapatkan suplai daya listrik, Mikrokontroler membaca data parameter lingkungan secara riil (*real-time*), yaitu kepekatan nutrisi dari sensor TDS dan suhu udara dari sensor DHT22. Setelah itu, alur data dipecah secara berurutan untuk memeriksa ambang batas masing-masing parameter. Logika *threshold* untuk nutrisi apakah nilai $TDS < 500$ PPM jika iya maka mikrokontroler mengirim instruksi untuk menyalakan pompa AB Mix untuk menampah nutrisi lalu alur berlanjut ke tahap delay, jika tidak maka sistem akan melakukan pengecekan kedua apakah nilai $TDS > 900$ PPM jika iya maka mikrokontroler akan mengirimkan intruksi untuk mematikan pompa AB Mix untuk mencegah kelebihan nutrisi, jika keduanya menghasilkan nilai tidak dalam artian sistem berada antara 500 – 900 PPM sistem tidak akan mengubah status pompa dan lanjut ke tahap delay, dan logika *threshold* untuk suhu jika nilai sensor < 27 °C maka mikrokontroler akan mengirim intruksi untuk mematikan kipas kemudian lanjut ke tahap delay, jika tidak maka sistem akan memeriksa kembali apakah nilai sensor > 31 °C jika iya maka kipas akan dinyalakan untuk menurunkan suhu udara jika tidak keduanya dalam artian suhu antara 27 – 31 °C maka status kipas tidak berubah dan lanjut ke tahap delay, setelah semua proses di eksekusi, aliran data bersatu kembali masuk ke blok proses delay, Kemudian melakukan perulangan.

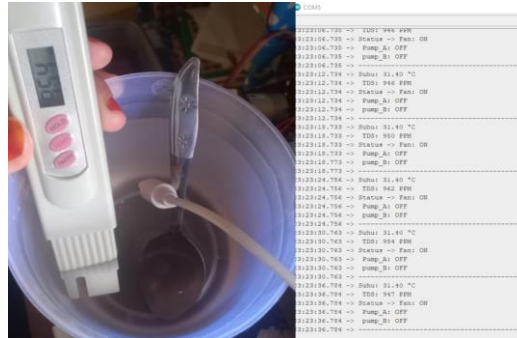
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Coba Alat

Setelah proses integrasi perangkat keras selesai, langkah selanjutnya adalah mengunggah program yang telah dirancang ke dalam mikrokontroler ESP32 menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Proses ini dilakukan guna mengaktifkan sistem kontrol secara keseluruhan. Selanjutnya, pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen elektronik berfungsi dengan optimal dan sistem dapat berjalan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Adapun serangkaian pengujian yang dilakukan terhadap alat dan sistem ini meliputi:.

1. Pengujian sensor TDS

Pada proses pengujian ini sensor TDS sebagai input dari mikrokontroler ESP32-WROOM-32, ini dilakukan untuk memvalidasi akurasi serta reliabilitas sensor dalam mendeteksi total padatan terlarut (TDS) di dalam air. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan larutan dengan nilai tds yang diketahui seperti air keran ($TDS = 320$ PPM), air mineral ($TDS = 152$ PPM) dan air dengan larutan nutrisi ($TDS > 500$ PPM), hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1



Gambar 6 Pengujian Sensor TDS

Tahap selanjutnya adalah pengujian beberapa jenis larutan dengan membandingkan nilai pembacaan sensor TDS terhadap TDS meter standar tingkat akurasi dan keandalan sensor yang digunakan. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh data yang menunjukkan bahwa sensor memiliki rata-rata tingkat akurasi sebesar 91% dengan nilai galat (*error*) pembacaan sebesar 9%, serta deviasi selisih sebesar 49 PPM. Data hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1. Dapat disimpulkan bahwa sensor masih layak untuk digunakan untuk mengukur nutrisi yang terlarut dalam air.

Tabel 1. Pengujian Sensor TDS

Larutan Uji	Nilai TDS	TDS Referensi	Selisih	Eror	Akurasi
Air Keran	341	320	21	7%	93%
Air Mineral	135	152	17	11%	89%
Larutan Nutrisi 930 PPM	1055	930	125	13%	87%
Larutan Nutrisi 500 PPM	477	510	33	6%	94%
Rata-Rata			49	9%	91%

2. Pengujian Sensor Suhu (DHT22)

Pada tahap pengujian, sensor suhu berperan sebagai perangkat input yang terhubung ke mikrokontroller ESP32, hasil dari pengukuran sensor dikirimkan ke *serial monitor* dan dikirim ke *Dashboard WEB* melalui protokol MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) menggunakan broker *HiveMQ*, setiap perubahan suhu dari lingkungan yang dibaca oleh sensor akan diproses oleh mikrokontroller sehingga tampilan datanya pada sistem pemantauan dapat diperbarui secara *real time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor suhu telah berhasil terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32-WROOM-32 dan mampu mengukur suhu lingkungan secara akurat. Penyajian data hasil pembacaan sensor tersebut membuktikan kemampuan sistem dalam mendeteksi fluktuasi suhu di sekitarnya.



Gambar 7 Pengujian Sensor Suhu dengan alat TDS/TEMP meter

Selanjutnya, dilakukan pengujian untuk mengetahui selisih nilai pembacaan antara sensor TDS/Suhu dengan TDS/TEMP meter standar. Visualisasi grafik atau dokumentasi dari proses perbandingan parameter tersebut disajikan secara detail pada Gambar 6, pengujian ini dilakukan di berbagai tempat dengan kondisi lingkungan yang berbeda untuk mengetahui tingkat ketepatan sensor suhu dari mikrokontroller yang digunakan. Untuk mengetahui selisih pembacaan, nilai eror, dan tingkat akurasi sensor, data yang telah diperoleh dari hasil pengukuran diproses menggunakan persamaan matematis, dari hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 2, Data menunjukkan rata-rata akurasi sensor sebesar 96,79% dengan tingkat eror pembacaan sebesar 3,21%, dan selisih pembacaan sebesar 0,99. Berdasarkan data yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa sensor tersebut memiliki tingkat keandalan yang cukup baik dalam mendeteksi suhu lingkungan.

Tabel 2. Perbandingan Sensor Suhu Dengan Alat Ukur

NO	Suhu °C	Suhu Referensi	Selisih Pembacaan	Error	Akurasi
1	31,6	31,1	0,5	1,61%	98,39%
2	29,9	30,4	0,5	1,64%	98,36%
3	30,0	30,4	0,4	1,32%	98,68%
4	30,2	30,4	0,2	0,66%	99,34%
5	31,7	30,0	1,7	5,67%	94,33%
6	31,2	31,5	0,3	0,95%	99,05%
7	32,9	31,4	1,5	4,78%	95,22%
8	32,8	31,4	1,4	4,46%	95,54%
9	32,6	30,7	1,9	6,19%	93,81%
10	32,6	31,1	1,5	4,82%	95,18%
Rata-Rata			0,99	3,21%	96,79%

B. Analisis Logika Kontrol Threshold dengan Histeresis dan Waktu Respon Alat

Pengujian metode *threshold* ini bertujuan untuk menguji keselarasan antara pembacaan sensor (input) dengan aksi perangkat keras (output). Skenario pengujian dilakukan dengan memberikan variasi nilai kondisi air untuk melihat ketepatan sistem dalam menyalakan atau mematikan perangkat kontrol secara otomatis. Adapun data hasil skenario pengujian beserta respon fungsional sistem kontrol menggunakan metode *threshold* dengan histeresis dicantumkan secara rinci pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Pengujian Algoritma Threshold dengan Histeresis

No	Nilai Terbaca	Batas Threshold	Status Aktuator (Pompa/Kipas)	Keterangan
1	1093 PPM	> 900 PPM	Pompa OFF	Berhasil
2	588 PPM	Rentang: 500 - 900 PPM	Pompa ON/OFF	Berhasil
3	150 PPM	< 500 PPM	Pompa ON	Berhasil
4	32°C	> 31 °C	Kipas ON	Berhasil
5	28 °C	Rentang: 27 °C - 31 °C PPM	Kipas ON/OFF	Berhasil
6	26°C	< 27 °C	Kipas OFF	Berhasil

Berdasarkan data hasil pengujian pada tabel 3, dapat dianalisis bahwa sistem kontrol otomatis yang dirancang telah berhasil mengeksekusi seluruh skenario logika *threshold* dengan histeresis dengan tingkat keberhasilan 100%. Pembahasan mengenai respon sistem dibagi menjadi dua fokus parameter kontrol, yaitu pengendalian kepekatan nutrisi (TDS) dan pengendalian suhu lingkungan.

1. Analisis Logika Threshold Parameter Nutrisi (TDS)

Kondisi Berlebih (Data No. 1) Pengujian ini dilakukan dengan memberikan nilai di atas batas atas (1093 PPM > 900 PPM), dan sistem memberikan respons yang tepat dengan mematikan pompa. Hal ini membuktikan algoritma berhasil mencegah terjadinya malafungsi berupa *overflowing* cairan nutrisi pekat ke dalam bak penampungan, kondisi ideal (Data No. 2) Saat nilai TDS berada di dalam rentang *setpoint* (500 - 900 PPM), sistem mempertahankan kondisi sebelumnya hingga PPM mencapai batas atas agar tidak terjadi kelebihan kepekatan larutan (*overnutrition*), dan kondisi kurang (Data No. 3) Ketika sensor TDS mendeteksi nilai kepekatan larutan berada di bawah ambang batas (150 PPM < 500 PPM), mikrokontroler secara responsif langsung mengirimkan sinyal digital untuk menyalakan pompa. Aksi ini membuktikan bahwa fungsi *intervensi* sistem berjalan dengan baik untuk mengembalikan nilai PPM ke rentang optimal.

2. Analisis Logika Threshold Parameter Suhu Lingkungan

Kondisi suhu tinggi (Data No. 4) Ketika sensor suhu membaca nilai mencapai 32.°C, yang berarti telah melewati ambang batas aman (> 31°C), mikrokontroler berhasil mengeksekusi perintah untuk menyalakan kipas secara otomatis, kondisi suhu normal dan ideal (Data No. 5 dan 6) jika termasuk data NO 5 maka sistem mempertahankan kondisi sebelumnya hingga sampai pada kondisi data NO 6 sistem segera memutus arus ke aktuator sehingga kipas pendingin kembali mati. Respons ini penting untuk memastikan efisiensi konsumsi daya listrik pada sistem kontrol.

3. Waktu Respon Alat

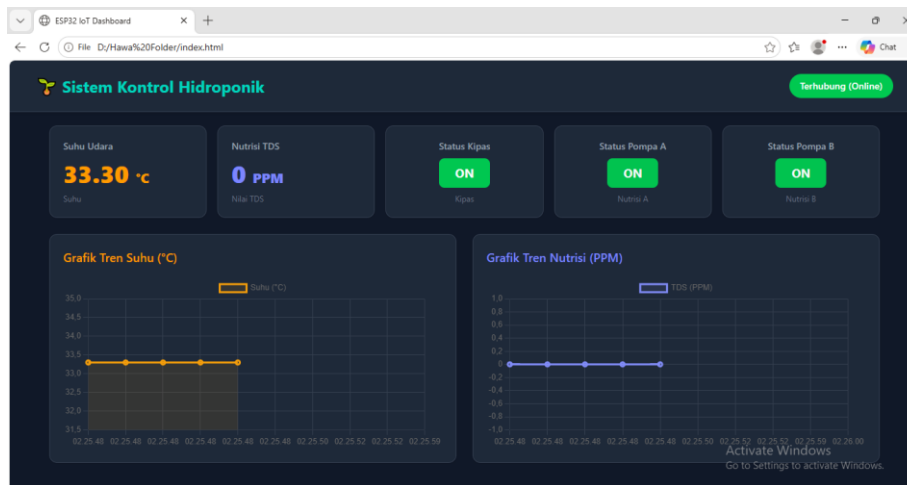
Pengujian waktu respons ini ditujukan untuk mengamati kecepatan aksi pemulihan kondisi air oleh sistem kontrol otomatis. Parameter yang diukur meliputi durasi waktu pengisian cairan nutrisi hingga mencapai batas atas *threshold* dan durasi waktu operasional kipas dalam mereduksi panas di lingkungan tanaman pakcoy.

Tabel 4. Waktu Respon Alat

Parameter	Kondisi Awal	Target Nilai	Waktu Mulai	Waktu Selsai	Durasi
Nutrisi	TDS = 25 PPM (3 liter air)	900 PPM	10:01:00	10:01:59	59s
Suhu	Suhu 32 °C	27 °C	02:39:10:683	03:00:30:899	1416s

Tabel di atas menunjukkan hasil pengujian waktu respons alat terhadap dua parameter utama, yaitu nutrisi dan suhu. Sistem kontrol nutrisi memiliki waktu respons yang sangat cepat, hanya memerlukan waktu 59 detik (dari pukul 10:01:00 hingga 10:01:59) untuk mencapai target 900 PPM dari kondisi awal 25 PPM. Sensor yang digunakan memiliki akurasi pengukuran 10% dari skala maksimum bawaan dari pabrik dan sudah melalui tahap uji kalibrasi. Di sisi lain, sistem pendingin suhu udara membutuhkan durasi 1416 detik untuk menurunkan suhu lingkungan dari 32 °C menjadi 27 °C, terhitung sejak pukul 02:39:10 hingga pukul 03:00:30.899 menggunakan kipas DC ukuran 8 x 8 x 25 mm bertegangan 12 v dengan dimensi ruang greenhouse 40 x 40 x 70 cm, prototipe ini sangat scalable untuk volume air yang besar, namun diperlukan penyesuaian perangkat keras seperti pompa, dan kipas yang sesuai dengan volume ruang.

4. Tampilan Dashboard Web



Gambar 8 Tampilan Halaman Web Sistem Kontrol

Gambar 7 adalah dashboard berbasis web yang digunakan untuk memantau keadaan. sistem ini menggunakan dashboard berbasis web untuk menampilkan nilai dari sensor, status aktuator dan juga grafik, nilai sensor, status aktuator dan grafik ini akan berubah secara otomatis saat sistem menerima data dari perangkat keras, proses pengujian ini guna untuk mengetahui apakah semua komponen yang ada dalam dashboard berbasis web ini sudah terintegrasi dengan ESP32-WROOM-32 dengan baik dan dapat berfungsi sebagaimana yang diharapkan.

Tabel 5. Pengujian Kinerja WEB Terintegrasi dengan MQTT

No	TDS (PPM)	Suhu (°C)	Waktu Publish (Pub)	Waktu terima (Sub)	Delay	Status
1	743 PPM	29.90 °C	20:28:34	20:28:34	00:00:00	Berhasil
2	771 PPM	30.00°C	20:28:40	20:28:40	00:00:00	Berhasil
3	14 PPM	32.70 °C	20:30:58	20:30:59	00:00:01	Berhasil
4	680 PPM	32.50 °C	20:31:28	20:31:29	00:00:01	Berhasil
5	700 PPM	32.60 °C	20:31:34	20:31:35	00:00:01	Berhasil
6	689 PPM	32.90 °C	20:31:46	20:31:47	00:00:01	Berhasil
7	703 PPM	33.60 °C	20:32:11	20:32:11	00:00:00	Berhasil
8	459 PPM	33.90 °C	20:32:29	20:32:29	00:00:00	Berhasil
9	159 PPM	34.20 °C	20:32:41	20:32:41	00:00:00	Berhasil
10	695 PPM	33.80 °C	20:33:29	20:33:29	00:00:00	Berhasil

Rata-Rata Delay = 00:00:00

Waktu *publish* (pub) adalah waktu pengiriman data dan waktu *subscribe* (Sub) adalah waktu menerima data dan delay adalah jeda atau selisih waktu saat *publish* dan *subscribe* data, dilakukan 10 kali percobaan dilakukan dan semua data dapat diterima dengan baik tanpa adanya delay antara *publish* dan *subscribe* berdasarkan tabel 5.

5. Data Hasil Panen

Setelah panen dilakukan perbandingan antara hidroponik yang menggunakan sistem kontrol otomatis dengan yang menggunakan metode manual, data hasil panen tanaman pakcoy diperoleh dari beberapa parameter yaitu berat tanaman, tinggi tanaman dan jumlah helai daun saat panen,

untuk hasil perbandingan antara hidroponik menggunakan sistem kontrol otomatis dengan yang menggunakan metode manual dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Parameter Perbandingan

Parameter	Sistem Otomatis	Metode Manual
Berat	100 - 180 g	< 100 g
Tinggi	18 - 25 cm	< 18 cm
Jumlah Daun	10 - 15 Helai	≤ 9 Helai

Berdasarkan data pada tabel 6 dapat dilihat bahwa hidroponik yang menggunakan sistem kontrol otomatis lebih unggul dibandingkan dengan menggunakan metode manual, faktor utama yang menghambat pertumbuhan tanaman adalah konsentrasi nutrisi yang tidak sesuai dan suhu yang terlalu tinggi[9] sehingga pertumbuhan tanaman melambat.

4. KESIMPULAN

berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, sistem kontrol nutrisi dan suhu pada tanaman hidroponik pakcoy menggunakan metode *threshold* telah berhasil diimplementasikan dengan baik. Sistem kontrol otomatisasi terbukti andal dalam menjaga stabilitas parameter lingkungan secara *real-time* melalui protokol MQTT. Logika *threshold* mampu mengeksekusi aktuator secara responsif, di mana sistem kontrol nutrisi membutuhkan waktu respon selama 59 detik untuk menaikkan nilai kepekatan dari 25 PPM ke target ideal 900 PPM pada volume 3 liter air dengan nilai akurasi rata-rata 91%. Sementara itu, sistem pendingin suhu memiliki waktu respon selama 21 menit 20 detik untuk menurunkan suhu ekstrem 32 °C menuju batas aman 27 °C dengan nilai akurasi 96.79%. Dengan itu, penerapan metode *threshold* pada sistem rekayasa ini layak digunakan sebagai solusi otomatisasi yang efektif dan efisien untuk pemeliharaan kualitas air pada budidaya hidroponik pakcoy.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Maximus Seran and M. S. Pareira, "Peningkatan Ketahanan Pakcoy terhadap Cekaman Kekeringan Melalui Aplikasi Biochar dan Pupuk Guano," *Hidroponik: Jurnal Ilmu Pertanian Dan Teknologi Dalam Ilmu Tanaman*, vol. 2, no. 1, pp. 228–237, Feb. 2025, doi: 10.62951/hidroponik.v2i1.272.
- [2] Chairunisa T, "Sistem kontrol nutrisi hidroponik rakit apung pakcoy," 2022.
- [3] M. Adrian, J. Hidayat, and A. Z. Amrullah, "SISTEM KONTROL DAN MONITORING TANAMAN HIDROPONIK BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT) MENGGUNAKAN NODEMCU ESP32," Feb. 2022.
- [4] B. S. C. N. W. Riskyanto B, "Sistem Kontrol dan Monitoring Nutrisi Tanaman Hidroponik Indoor Berbasis IoT dengan Aplikasi Android Informasi Artikel A B S T R A K," Jul. 2025. Accessed: Jun. 22, 2026. [Online]. Available: <https://jurnal.mifandimandiri.com/index.php/jsit>
- [5] F. Putri Ramadhanti, J. Bintoro, and A. Diamah, "Sistem Monitoring Suhu, Kelembapan, dan Ketinggian Air Pada Tanaman Hidroponik Menggunakan Raspberry Pi Berbasis IoT".
- [6] S. E. H. N. A. B. Y. N. A. S. T. N. M. Wardihani E, "Eni Dwi Wardihani," *JURNAL INTERNASIONAL TEKNIK ELEKTRO DAN TEKNOLOGI INFORMASI*, vol. 13, 2024, doi: 10.22146/jnteti.v13i1.8564.
- [7] J. D. S. R. N. S. A. H. A. Y. A. Y. A. Akbar M, "Histeresis," *JURNAL IT Media Informasi IT STIMIK*, vol. 16, Aug. 2025.
- [8] P. R. Ristanti N, "ALGORITMA THRESHOLD DETEKSI ASAP DAN API," *TICOM: Technology of Informasi and Communication*, vol. 11, pp. 44–49, Sep. 2022.

- [9] R. E. Putri, H. M. Harahap, and I. Putri, “Pengembangan Sistem Kontrol Nutrisi Budidaya Hidroponik Berbasis IoT (Internet of Things) Sawi Samhong (*Brassicasinensis L.*),” *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, vol. 11, no. 2, pp. 197–206, Aug. 2023, doi: 10.21776/ub.jkptb.2023.011.02.09.
- [10] R. D. Prasetya and I. R. Widiyari, “Perancangan IoT Monitoring Lingkungan Berbasis Wireless Sensor Network (WSN) Dengan Menerapkan Multi Sensor Network (MSN),” *JUPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)*, vol. 10, no. 1, pp. 652–666, Jan. 2025, doi: 10.29100/jupi.v10i1.6040.
- [11] Z. I. I. Rouhillah, “Kontrol Nutrisi Tanaman Hidroponik Berbasis Monitoring Internet of Things(Autosaved),” *Elektron Jurnal Ilmiah*, vol. 4, Dec. 2022, doi: doi.org/10.30630/eji.14.2.306.
- [12] D. R. Tisna, T. Maharani, and K. T. Nugroho, “PEMANFAATAN CHATBOT TELEGRAM UNTUK MONITORING DAN KONTROL KUALITAS AIR MENGGUNAKAN ESP32,” *JUPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)*, vol. 9, no. 3, pp. 1292–1306, Aug. 2024, doi: 10.29100/jupi.v9i3.5329.