



PENGEMBANGAN SISTEM HIDROPONIK MENGGUNAKAN ALGORITMA RULE-BASED UNTUK KENDALI pH DAN NUTRISI, DENGAN MONITORING SUHU AIR MENGGUNAKAN ESP32 BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT)

Aryasatya Tamaputra Iwaja¹, Martiano²

Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Jurusan Teknologi Informasi
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
aryasatya230803@gmail.com

ABSTRAK

Sistem hidroponik memerlukan pengendalian kualitas larutan nutrisi agar kondisi pertumbuhan tanaman tetap optimal. Parameter pH dan Total Dissolved Solids (TDS) perlu dijaga pada rentang tertentu, sedangkan suhu air merupakan parameter pendukung yang perlu dipantau. Pemantauan dan pengendalian secara manual memiliki keterbatasan karena membutuhkan waktu dan perhatian secara terus-menerus. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem hidroponik menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan penerapan algoritma rule-based untuk mengendalikan parameter pH dan TDS serta melakukan monitoring suhu air secara real-time melalui platform berbasis web. Sensor pH 4502C dan sensor TDS digunakan untuk mengukur kondisi larutan nutrisi, sedangkan sensor DS18B20 digunakan untuk mengukur suhu air. Data pH dan TDS diproses menggunakan aturan IF-THEN untuk menentukan tindakan pengendalian sesuai dengan kondisi parameter yang terukur. Sementara itu, pengendalian suhu dilakukan secara terpisah menggunakan W1209 thermostat dan Peltier chiller. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor pH 4502C memiliki rata-rata persentase error sebesar 2,80%, sedangkan sensor TDS memiliki rata-rata persentase error sebesar 2,25% terhadap alat ukur pembanding. Pengujian sistem menunjukkan bahwa nilai pH berada pada rentang 6,16-6,59, sedangkan nilai TDS berada pada rentang 576-587 ppm, yang masih berada dalam rentang parameter yang ditetapkan, yaitu pH 6-7 dan TDS 560-840 ppm. Sensor DS18B20 juga mampu melakukan monitoring suhu air dengan hasil pembacaan yang mendekati termometer digital. Sistem monitoring berbasis web berhasil menampilkan data pH, TDS, dan suhu air secara real-time, sehingga kondisi sistem hidroponik dapat dipantau dari jarak jauh. Berdasarkan hasil tersebut, sistem yang dikembangkan dapat digunakan sebagai prototipe untuk monitoring dan pengendalian pH serta TDS secara otomatis pada sistem hidroponik.

Kata kunci: *Hidroponik, Rule-Based, ESP32, pH, TDS, Suhu Air, Internet of Things, Monitoring Web*

Article History

Received: September 2026
Reviewed: September 2026
Published: September 2026

Plagiarism Checker
No 237.u873247.fh8374

Copyright : Author
Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

PENDAHULUAN

Budidaya hidroponik merupakan metode produksi tanaman tanpa tanah, di mana akar tanaman memperoleh air dan nutrisi terlarut dari larutan yang dikendalikan. Metode ini sesuai diterapkan pada lahan terbatas dan dapat mengurangi penggunaan air apabila larutan nutrisi dikelola dengan baik [1]. Selada merupakan salah satu tanaman yang umum dibudidayakan secara hidroponik karena kebutuhan nutrisinya relatif rendah dan pertumbuhannya dapat dikelola pada lingkungan yang terkontrol. Dalam penelitian ini, acuan operasional untuk tanaman selada adalah pH 6-7, TDS 560-840 ppm, dan suhu air 18-24 °C [2]-[4].



Kualitas larutan nutrisi merupakan salah satu faktor penting dalam budidaya hidroponik. Rivana et al. mengembangkan sistem monitoring konsentrasi nutrisi dan pH hidroponik berbasis IoT yang menunjukkan pemanfaatan sensor terhubung untuk pemantauan jarak jauh [5]. Marisa et al. melaporkan pengendalian nutrisi otomatis menggunakan NodeMCU ESP8266, sedangkan Muriyatmoko membahas monitoring dan pengendalian pH jarak jauh pada tanaman selada [2], [6]. Penelitian yang lebih baru oleh Mardiansah et al. membahas monitoring suhu air dan nutrisi pada tanaman selada, sedangkan Muhammad et al. mengkaji pengendalian dan monitoring nutrisi otomatis pada menara hidroponik berbasis IoT [3], [7]. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa sensor dan konektivitas jaringan dapat mendukung pengelolaan hidroponik yang lebih responsif.

Meskipun telah terdapat berbagai perkembangan tersebut, pemeriksaan manual masih relevan pada instalasi hidroponik skala kecil karena operator tetap perlu mengukur kondisi larutan dan menentukan kapan tindakan koreksi diperlukan. Intervensi manual juga sulit dilakukan secara terus-menerus. Mekanisme kendali yang menerjemahkan kondisi sensor menjadi tindakan yang telah ditentukan dapat mengurangi ketergantungan pada keputusan manual yang berulang. Pendekatan rule-based sesuai untuk tujuan tersebut karena keputusan dapat direpresentasikan secara eksplisit dalam bentuk aturan IF-THEN dan dijalankan langsung oleh mikrokontroler [8].

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana menerapkan pengendalian pH dan TDS secara otomatis dengan tetap menyediakan monitoring suhu air secara real-time. Sistem yang diusulkan menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama dan konfigurasi hidroponik NFT (Nutrient Film Technique) untuk tanaman selada. Nilai pH dan TDS diproses menggunakan kendali rule-based, sedangkan suhu air dipantau menggunakan DS18B20 dan dikendalikan secara terpisah menggunakan termostat W1209 dengan pendingin Peltier. Pemisahan tersebut dilakukan secara sengaja: algoritma rule-based dievaluasi secara khusus untuk pH dan konsentrasi nutrisi, sedangkan suhu digunakan sebagai parameter pendukung yang dipantau.

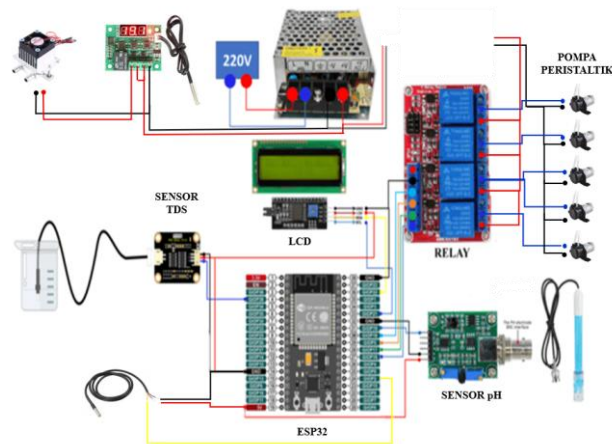
Kontribusi penelitian ini adalah integrasi pengendalian pH dan TDS secara otomatis, monitoring suhu air, serta pemantauan jarak jauh berbasis web dalam satu prototipe NFT skala kecil. Penelitian berfokus pada implementasi dan evaluasi fungsional, bukan pada produktivitas biologis jangka panjang. Oleh karena itu, hasil penelitian digunakan untuk menentukan apakah prototipe yang dikembangkan mampu membaca parameter yang ditargetkan, menjalankan aturan kendali yang telah ditentukan, dan mengirimkan data monitoring melalui dashboard IoT.

Tujuan penelitian ini adalah (1) merancang dan mengimplementasikan sistem hidroponik berbasis ESP32 menggunakan kendali rule-based untuk pH dan TDS; (2) mengimplementasikan monitoring IoT berbasis web untuk pH, TDS, dan suhu air; serta (3) mengevaluasi hasil pembacaan sensor dan kondisi parameter yang dihasilkan terhadap rentang acuan yang digunakan untuk tanaman selada. Penelitian ini tidak menyatakan bahwa prototipe merepresentasikan kinerja hidroponik skala komersial; pengujian lebih lanjut pada skala yang lebih besar dan dalam durasi yang lebih panjang masih diperlukan.

METODE

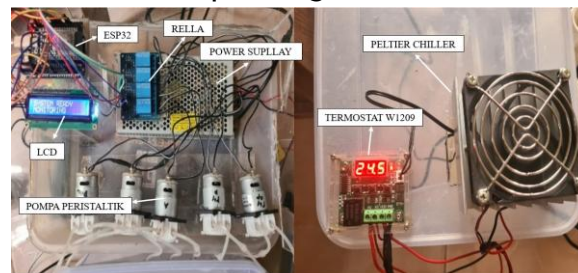
Objek Penelitian dan Arsitektur Sistem

Objek penelitian adalah sistem hidroponik NFT skala kecil untuk tanaman selada. Sistem terdiri atas reservoir nutrisi, saluran NFT, sirkulasi air, unit sensor, rangkaian kendali elektronik, pompa penambah larutan, dan antarmuka monitoring IoT. ESP32 berfungsi sebagai pengendali utama. ESP32 menerima data pH, TDS, dan suhu, memproses kondisi pH dan TDS menggunakan aturan yang telah ditentukan, mengendalikan pompa melalui relay, menampilkan informasi pada LCD, dan mengirimkan data monitoring melalui Wi-Fi.



Gambar 1. Integrasi Kelistrikan dan Kendali pada Prototipe Hidroponik.

Sensor pH 4502C digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan larutan nutrisi. Sensor TDS merepresentasikan konsentrasi nutrisi terlarut dalam satuan ppm. DS18B20 menyediakan pengukuran suhu air secara digital. Aktuator untuk pH dan TDS terdiri atas pompa peristaltik untuk pH Up, pH Down, larutan nutrisi, dan air bersih. Subsistem pengendalian suhu bekerja secara terpisah dari pengendali rule-based ESP32 dan menggunakan termostat W1209 untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pendingin Peltier.



Gambar 2. Prototipe Hidroponik dan Perangkat Kendali yang Diimplementasikan.

Kebutuhan Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Kebutuhan perangkat keras dipilih berdasarkan fungsi yang diperlukan dalam prototipe. ESP32 berfungsi sebagai pengendali utama dan unit komunikasi karena memiliki sumber daya GPIO yang dapat diprogram serta konektivitas Wi-Fi. Antarmuka pH 4502C menyediakan sinyal pH, sedangkan sensor TDS menyediakan sinyal konsentrasi nutrisi yang digunakan oleh pengendali rule-based. DS18B20 menyediakan pengukuran suhu air. Relay empat channel memisahkan sinyal kendali berdaya rendah dari beban pompa, sedangkan pompa peristaltik menyediakan tindakan penambahan larutan.

Pemisahan antara pengendali dan subsistem suhu juga mengurangi ketergantungan algoritma rule-based terhadap logika khusus suhu.

Sisi perangkat lunak menggunakan Arduino IDE untuk memprogram ESP32. Urutan program terdiri atas inisialisasi, pembacaan sensor, pemrosesan keputusan, pengendalian aktuator, pembaruan tampilan lokal, dan pengiriman data. Dashboard web menerima data yang dikirimkan dan menampilkan nilai saat ini serta tren historis. Struktur perangkat lunak mengikuti alur operasional perangkat keras dan menjaga agar pembacaan sensor, keputusan kendali, serta komunikasi monitoring tetap terhubung secara logis.

Tabel 1. Komponen Utama Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Komponen	Peran dalam Sistem
ESP32	Pengendali utama, pemrosesan aturan, komunikasi Wi-Fi
pH 4502C	Mengukur pH larutan nutrisi
TDS sensor	Mengukur konsentrasi zat terlarut
DS18B20	Mengukur suhu air
Relay 4-channel	Mengaktifkan beban pompa sesuai keputusan kendali
Peristaltic pumps	Memberikan dosis pH Up, pH Down, nutrisi, dan air bersih
LCD 16×2	Menampilkan nilai pengukuran dan status secara lokal
W1209 + Peltier	Pengendalian suhu air secara independen
Arduino IDE	Pemrograman dan pengembangan firmware
Web dashboard	Monitoring jarak jauh dan tampilan data historis

Alur Operasional dan Protokol Pengujian

Saat beroperasi, sistem dimulai dengan melakukan inisialisasi ESP32, sensor, keluaran relay, LCD, dan koneksi jaringan. Setelah inisialisasi, pengendali membaca nilai pH, TDS, dan suhu. Nilai pH dan TDS kemudian dievaluasi berdasarkan ambang aturan. Jika suatu nilai berada di luar rentang yang diizinkan, pompa yang sesuai diaktifkan melalui relay. Jika nilai berada di dalam rentang, aktuatur koreksi tetap tidak aktif. Nilai suhu dibaca dan dikirimkan untuk monitoring, sedangkan subsistem W1209 secara independen mengatur pengaktifan Peltier.

Protokol pengujian dirancang untuk mengevaluasi kinerja pada tingkat komponen dan pengoperasian sistem secara terintegrasi. Untuk sensor pH dan TDS, keluaran sensor dibandingkan dengan alat referensi pada kondisi larutan yang sama. Untuk DS18B20, hasil pembacaan dibandingkan dengan termometer digital. Sepuluh pengamatan pada setiap perbandingan memberikan pemeriksaan konsistensi dasar, bukan karakterisasi statistik terhadap seluruh rentang operasi.

Pada pengujian kendali terintegrasi, nilai pH dan TDS yang diukur diamati dan diperiksa terhadap rentang target. Kolom status pada tabel pengujian mencatat kondisi monitoring. Pengujian dilengkapi dengan pemeriksaan dashboard web untuk memastikan bahwa nilai yang diukur dapat diterima pada antarmuka jarak jauh. Urutan ini memungkinkan evaluasi membedakan akurasi sensor, perilaku kendali, dan kinerja komunikasi, bukan memperlakukannya sebagai satu jenis pengukuran.

Kendali Rule-Based

Logika kendali menggunakan kondisi IF-THEN secara eksplisit. Untuk pH, nilai yang berada di bawah batas operasi bawah menyebabkan pompa pH Up diaktifkan, sedangkan nilai yang berada di atas batas operasi atas menyebabkan pompa pH Down diaktifkan. Untuk TDS, nilai di bawah 560 ppm menyebabkan pompa nutrisi diaktifkan, sedangkan nilai di atas 840 ppm menyebabkan pompa air bersih diaktifkan. Ketika suatu parameter berada dalam rentang operasi yang ditentukan, pompa koreksi yang sesuai tetap dalam kondisi mati.

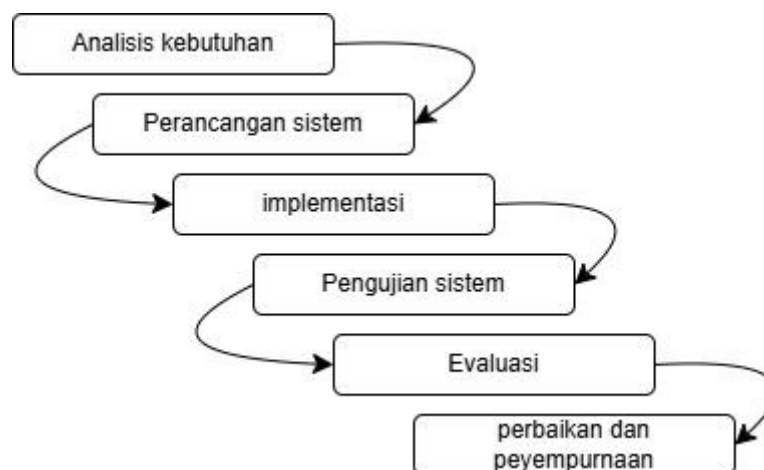
Tabel 2. Kondisi Kendali Rule-Based

Parameter	Kondisi	Tindakan
pH	$\text{pH} < 6$	Aktifkan pompa pH Up
pH	$6 \leq \text{pH} \leq 7$	Pompa mati / pertahankan
pH	$\text{pH} > 7$	Aktifkan pompa pH Down
TDS	$\text{TDS} < 560 \text{ ppm}$	Aktifkan pompa nutrisi
TDS	$560 \leq \text{TDS} \leq 840 \text{ ppm}$	Pompa mati / pertahankan
TDS	$\text{TDS} > 840 \text{ ppm}$	Aktifkan pompa air bersih

Aturan yang digunakan bersifat deterministik, yaitu kondisi sensor yang sama menghasilkan keputusan kendali yang sama. Karakteristik ini membuat proses kendali mudah diperiksa dan diterapkan pada mikrokontroler. Perilaku sistem juga dapat ditelusuri secara langsung berdasarkan ambang parameter yang digunakan dalam penelitian. Subsistem suhu tidak termasuk dalam aturan tersebut dan menggunakan mekanisme setpoint pada W1209.

Prosedur Pengembangan dan Pengumpulan Data

Sistem dikembangkan melalui tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, perakitan perangkat keras, implementasi perangkat lunak, pengujian, evaluasi, dan penyempurnaan. Pengembangan sistem dilakukan melalui pendekatan pembuatan prototipe secara iteratif. Pada artikel ini, prosedur disajikan sebagai urutan pengembangan praktis agar sistem yang diimplementasikan dapat direproduksi tanpa menambahkan klaim metodologis lain.



Gambar 3. Tahapan Pengembangan yang Digunakan dalam Implementasi Sistem.

Implementasi perangkat keras dimulai dengan ESP32, sensor, modul relay, LCD, pompa, dan catu daya pendukung. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE. Program melakukan inisialisasi sensor dan perangkat keluaran, membaca nilai sensor, menerapkan kondisi rule-based pada pH dan TDS, memperbarui tampilan lokal, serta mengirimkan data ke dashboard web melalui Wi-Fi. Subsistem W1209-Peltier bekerja secara independen untuk pengendalian suhu.



Pengujian mencakup empat aspek utama, yaitu (1) pengamatan kendali rule-based, (2) perbandingan sensor pH dan TDS dengan alat ukur referensi, (3) perbandingan DS18B20 dengan termometer digital, dan (4) monitoring web. Sepuluh pengamatan digunakan untuk perbandingan pH, TDS, dan suhu. Pada evaluasi sensor, persentase error dihitung menggunakan selisih absolut antara pembacaan sensor dan alat referensi yang dibagi dengan nilai referensi, seperti ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$\text{Error (\%)} = |\text{Sensor} - \text{Referensi}| / \text{Referensi} \times 100 \quad (1)$$

Kinerja sistem diinterpretasikan dengan membandingkan nilai pH dan TDS yang diamati terhadap rentang operasi yang digunakan dalam penelitian. Pengujian suhu diinterpretasikan sebagai kinerja monitoring karena pengaturan suhu dilakukan secara terpisah oleh termostat W1209 dan pendingin Peltier. Pengujian web dianggap berhasil apabila data sensor dapat dikirim oleh ESP32 dan ditampilkan pada dashboard, termasuk informasi grafik historis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Kendali Rule-Based

Data kendali yang diamati dirangkum pada Tabel 2. Pengukuran pH berada pada rentang 6,16-6,59, sedangkan TDS berada pada rentang 576-587 ppm. Seluruh nilai yang diamati berada dalam rentang penelitian, yaitu pH 6-7 dan TDS 560-840 ppm. Karena data yang tercatat tidak mencakup kondisi di luar rentang yang sengaja dibuat secara luas, hasil ini perlu diinterpretasikan sebagai bukti bahwa sistem mempertahankan kondisi operasi yang diamati, bukan sebagai karakterisasi kinerja kendali secara lengkap pada setiap kemungkinan gangguan.

Tabel 3. Nilai pH dan TDS yang Diamati Selama Pengujian Sistem

No.	pH	TDS (ppm)	Status
1	6.33	578	Monitoring
2	6.33	576	Monitoring
3	6.35	578	Monitoring
4	6.30	577	Monitoring
5	6.42	578	Monitoring
6	6.31	576	Monitoring
7	6.38	585	Monitoring
8	6.59	585	Monitoring
9	6.16	579	Monitoring
10	6.51	587	Monitoring

Struktur rule-based memberikan pemetaan langsung antara kondisi yang diukur dan keputusan aktuator. Ketika parameter berada dalam rentang operasi, tidak diperlukan penambahan larutan koreksi. Ketika parameter melewati batas, pompa yang sesuai dipilih berdasarkan tabel aturan. Hal ini sesuai dengan karakteristik deterministik sistem keputusan berbasis aturan. Dalam pengoperasian nyata, efektivitas tindakan koreksi juga bergantung pada dosis pompa, pencampuran, sirkulasi, respons sensor, dan interval antar-pengukuran; faktor-faktor tersebut tidak hanya ditentukan oleh aturan keputusan.

Evaluasi Sensor pH

Tabel 4. Perbandingan Sensor pH dengan pH Meter Referensi

No.	Sensor pH	pH Meter	Selisih	Error
1	6.33	6.46	0.13	2.01%
2	6.33	6.46	0.13	2.01%
3	6.35	6.55	0.20	3.05%



4	6.30	6.52	0.22	3.37%
5	6.42	6.63	0.21	3.17%
6	6.31	6.48	0.17	2.62%
7	6.38	6.63	0.25	3.77%
8	6.59	6.81	0.22	3.23%
9	6.16	6.31	0.15	2.38%
10	6.51	6.67	0.16	2.40%

Sensor 4502C menghasilkan rata-rata pembacaan sebesar 6,368, sedangkan pH meter referensi menghasilkan rata-rata 6,552. Selisih rata-rata sebesar 0,184 dan rata-rata persentase error sebesar 2,80%. Selisih yang tidak konstan pada setiap pengamatan menunjukkan bahwa respons sensor dan kondisi pengukuran dapat memengaruhi hasil. Faktor yang relevan dalam pengukuran pH meliputi kalibrasi, kondisi elektroda, suhu larutan, gangguan listrik, dan kondisi alat referensi.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa pembacaan sensor cukup dekat dengan nilai referensi untuk digunakan sebagai masukan monitoring dan kendali pada prototipe. Namun, hal tersebut tidak berarti bahwa sensor setara dengan alat referensi pada seluruh kondisi. Kalibrasi berkala dan perawatan elektroda tetap penting, terutama karena algoritma kendali mengambil keputusan berdasarkan nilai yang diukur.

Evaluasi Sensor TDS

Tabel 5. Perbandingan Sensor TDS dengan TDS Meter Referensi

No.	Sensor (ppm)	Meter (ppm)	Selisih (ppm)	Error
1	578	602	24	3.99%
2	576	587	11	1.87%
3	578	588	10	1.70%
4	577	592	15	2.53%
5	578	594	16	2.69%
6	576	587	11	1.87%
7	585	595	10	1.68%
8	585	592	7	1.18%
9	579	588	9	1.53%
10	587	608	21	3.45%

Sensor TDS menghasilkan nilai rata-rata 579,9 ppm, sedangkan TDS meter referensi menghasilkan 593,3 ppm. Selisih rata-rata sebesar 13,4 ppm dan rata-rata persentase error sebesar 2,25%. Dengan demikian, hasil pembacaan sensor menunjukkan kecenderungan yang sejalan dengan hasil pengukuran referensi, meskipun terdapat perbedaan pada beberapa pengamatan. Pengukuran TDS dipengaruhi oleh konduktivitas listrik larutan dan dapat dipengaruhi oleh suhu, konsentrasi ion terlarut, kondisi sensor, dan kalibrasi.

Monitoring Suhu Air

Tabel 6. Perbandingan Suhu DS18B20 dengan Termometer Digital

No.	DS18B20 (°C)	Termometer (°C)
1	22.6	23.3
2	22.6	23.3
3	22.6	23.3
4	22.7	24.2
5	22.8	23.5
6	22.8	23.5
7	23.3	24.2

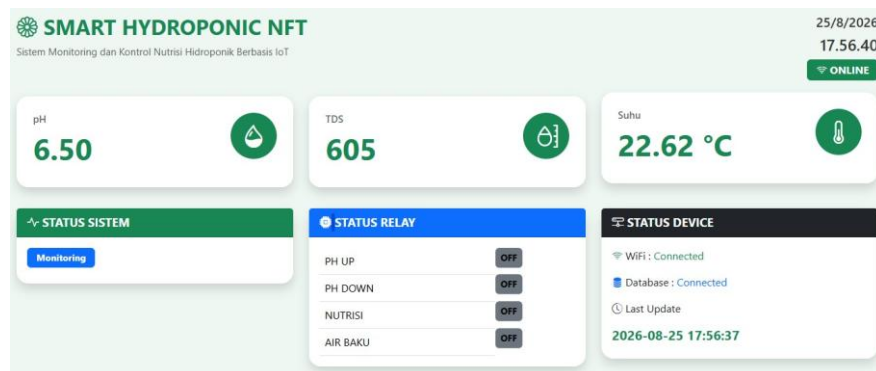
8	23.3	23.8
9	21.7	23.5
10	21.7	23.5

Pembacaan DS18B20 secara umum mendekati pembacaan termometer digital, meskipun terdapat perbedaan pada beberapa pengamatan. Perbedaan tersebut dapat dikaitkan dengan posisi sensor, waktu respons, perubahan suhu larutan, toleransi alat, dan sirkulasi air. Faktor-faktor tersebut relevan karena sensor suhu yang ditempatkan pada titik berbeda dalam reservoir nutrisi yang bersirkulasi tidak selalu mengalami kondisi termal yang sama dengan termometer referensi.

Pada prototipe ini, DS18B20 digunakan untuk monitoring dan bukan sebagai masukan bagi pengendali rule-based ESP32. Pengaturan suhu dilakukan secara terpisah oleh termostat W1209 dan pendingin Peltier. Pemisahan ini menyederhanakan ruang lingkup algoritma rule-based sekaligus tetap menyediakan fungsi pendukung yang berkaitan dengan suhu pada sistem hidroponik.

Monitoring Web IoT

ESP32 berhasil mengirimkan data pH, TDS, dan suhu air melalui Wi-Fi ke dashboard monitoring berbasis web. Dashboard menampilkan nilai saat ini dan grafik riwayat sehingga pengguna dapat mengamati perubahan parameter dari waktu ke waktu. Fungsi ini penting untuk pemantauan jarak jauh karena operator tidak harus berada di dekat reservoir hidroponik untuk melihat hasil pembacaan terbaru.



Gambar 4. Dashboard Web untuk Monitoring Hidroponik Secara Real-Time.

Dashboard mengintegrasikan tiga parameter yang dipantau dalam satu antarmuka. pH memberikan informasi mengenai kondisi keasaman larutan nutrisi, TDS menunjukkan konsentrasi nutrisi terlarut, dan suhu air memberikan informasi pendukung mengenai kondisi termal reservoir. Grafik riwayat juga mendukung pengamatan terhadap kestabilan dan perubahan parameter yang diukur.

Hasil monitoring sejalan dengan literatur hidroponik berorientasi IoT, di mana sensor yang terhubung ke jaringan digunakan untuk menyediakan akses jarak jauh terhadap parameter budidaya. Implikasi praktis utama dari implementasi ini adalah data pengukuran dan kendali tidak lagi terbatas pada perangkat fisik. Namun, evaluasi saat ini berfokus pada keberhasilan pengiriman dan tampilan data; keandalan jaringan, ketersediaan server, dan konektivitas jangka panjang belum diukur secara khusus.

KESIMPULAN

Penelitian ini mengembangkan dan mengevaluasi prototipe hidroponik NFT skala kecil menggunakan ESP32, kendali pH dan TDS berbasis rule-based, pengendalian suhu air secara terpisah, serta monitoring IoT berbasis web. Prototipe berhasil mengintegrasikan komponen utama pembacaan sensor, kendali, dan komunikasi yang diperlukan sesuai tujuan penelitian.



Pengendali rule-based menyediakan keputusan IF-THEN yang eksplisit untuk pH dan TDS, sedangkan subsistem W1209-Peltier menangani pengendalian suhu secara terpisah.

Sensor pH 4502C menghasilkan rata-rata pembacaan 6,368 dibandingkan 6,552 dari pH meter referensi, dengan rata-rata persentase error sebesar 2,80%. Sensor TDS menghasilkan 579,9 ppm dibandingkan 593,3 ppm dari alat referensi, dengan rata-rata persentase error sebesar 2,25%. Selama pengamatan sistem, pH berada pada rentang 6,16-6,59 dan TDS pada rentang 576-587 ppm, yang berada dalam rentang penelitian pH 6-7 dan TDS 560-840 ppm. Pembacaan DS18B20 mendekati termometer digital, dan dashboard IoT berhasil menampilkan data pH, TDS, serta suhu melalui Wi-Fi.

Hasil penelitian mendukung penggunaan sistem yang dikembangkan sebagai prototipe untuk monitoring dan pengendalian pH serta TDS secara otomatis dan pemantauan hidroponik jarak jauh. Evaluasi berikutnya perlu mencakup kondisi yang lebih bervariasi di bawah dan di atas setpoint, pengoperasian dengan durasi lebih panjang, kalibrasi sensor secara berkala, dan pengujian pada instalasi hidroponik yang lebih besar seperti kebun komersial. Penelitian selanjutnya juga dapat menambahkan notifikasi dashboard untuk kondisi di luar rentang.

REFERENCES

- [1] P. Sambo, C. Nicoletto, A. Giro, Y. Pii, F. Valentinuzzi, T. Mimmo, P. Lugli, G. Orzes, F. Mazzetto, S. Astolfi, R. Terzano, and S. Cesco, "Hydroponic solutions for soilless production systems: Issues and opportunities in a smart agriculture perspective," *Frontiers in Plant Science*, vol. 10, p. 923, 2019, doi: 10.3389/fpls.2019.00923.
- [2] Marisa, Carudin, and Ramdani, "Otomatisasi sistem pengendalian dan pemantauan kadar nutrisi air menggunakan teknologi NodeMCU ESP8266 pada tanaman hidroponik," *Jurnal Teknologi Terpadu*, vol. 7, no. 2, pp. 127-134, 2021, doi: 10.54914/jtt.v7i2.430.
- [3] A. Mardiansah, T. H. Siregar, and I. Sumirat, "Sistem monitoring suhu air dan nutrisi kebun hidroponik untuk tanaman selada berbasis IoT," *JuTEKS (Jurnal Teknik Elektro dan Sains)*, vol. 12, no. 1, pp. 266-279, 2025, doi: 10.32832/juteks.v12i1.21583.
- [4] D. Muriyatmoko, "Sistem monitoring jarak jauh kontrol pH tanaman selada dengan media hidroponik," *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, vol. 11, no. 1, pp. 95-102, 2023, doi: 10.32487/jtt.v11i1.1707.
- [5] R. Rivana, M. Rahmawaty, Edilla, and J. Jaenudin, "Sistem monitoring nutrisi dan pH air pada tanaman hidroponik berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 10, no. 3, 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i3.3579.
- [6] A. Saputra, H. Nasbey, and M. Subekti, "Karakterisasi sensor TDS SEN-0244 dan sensor PH-4502C dalam implementasinya pada penanaman hidroponik," *Joint Prosiding IPS dan Seminar Nasional Fisika*, vol. 12, no. 1, pp. FA-145-FA-150, 2024, doi: 10.21009/03.1201.FA22.
- [7] W. Muhammad, L. Faridah, and Sutisna, "Automated nutrient control and monitoring system for Internet of Things (IoT)-based hydroponic towers," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 3S1, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3S1.8101.
- [8] S. J. Russell and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 3rd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2010.
- [9] M. Hidayatullah, S. Sofyan, P. A. Topan, T. Andriani, and N. Nurhairunnisah, "Monitoring system of water quality on hydroponic planting media using Total Dissolved Solid (TDS) sensor based Arduino Uno R3," *Jurnal Ilmu Fisika*, vol. 14, no. 2, pp. 108-115, 2022.
- [10] T. H. Rangkuti and Martiano, "Design of IoT-based electrical parameter monitoring system using NodeMCU V3 and PZEM-004T V3 sensor," *Tsabit Journal of Computer Science*, vol. 2, no. 1, pp. 1-8, 2025, doi: 10.56211/tsabit42.



- [11] W. S. J. Saputra and F. Muttaqin, "Pemantauan suhu air pada sistem tanaman hidroponik menggunakan sensor DS18B20 waterproof," *JEETech: Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 60-64, 2021, doi: 10.48056/jeetech.v2i2.165.
- [12] L. E. Maryanto, Basyirun, and S. Anis, "Pengaruh diameter roller terhadap debit pompa peristaltik," *Saintekno: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 16, no. 1, 2018, doi: 10.15294/saintekno.v16i1.13550.
- [13] S. Sofiah and A. Nugraha, "Sistem switching pada Automatic Transfer Switch (ATS) menggunakan Arduino UNO," *Jurnal Surya Energy*, vol. 7, no. 2, pp. 47-53, 2023, doi: 10.32502/jse.v7i2.5756.
- [14] Espressif Systems, ESP32 Series Datasheet, Version 5.3. Espressif Systems, 2023.
- [15] H. Andrianto and A. Darmawan, *Arduino Belajar Cepat dan Pemrograman*. Bandung, Indonesia: Informatika, 2017.
- [16] R. S. Pressman and B. R. Maxim, *Software Engineering: A Practitioner's Approach*, 9th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2020.
- [17] M. Zefi, A. Sugianto, and S. Asmaniyah, "Pengaruh jenis nutrisi dan media tanam terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman selada merah (*Lactuca sativa* L.) dengan metode hidroponik NFT," *Jurnal Agronisma*, vol. 11, no. 2, pp. 198-208, 2023.
- [18] A. M. Patawari, "Smart hydroponic monitoring dan control system," *Jurnal Media Elektronika*, vol. 1, no. 2, pp. 119-125, 2025, doi: 10.26858/nqh8v817.