



Internet of Things-Based Water Quality Control System for Hydroponic Plants

Sistem Kendali Kualitas Air pada Tanaman Hidroponik berbasis Internet of Things

Reza Fahlefi^{1*}, Damayanti²

¹Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer,
Universitas Teknokrat Indonesia, Indonesia

²Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer,
Universitas Teknokrat Indonesia, Indonesia

E-Mail: ¹reza_fahlefi@teknokrat.ac.id, ²damayanti@teknokrat.ac.id

Received May 21th 2025; Revised Sep 10th 2025; Accepted Sep 15th 2025; Available Online Oct 30th 2025

Corresponding Author: Reza Fahlefi

Copyright © 2025 by Authors, Published by Institut Riset dan Publikasi Indonesia (IRPI)

Abstract

The quality of the nutrient solution is a crucial factor in hydroponic systems, particularly in maintaining stable levels of dissolved solids (Total Dissolved Solids/ TDS) according to plant needs. This research aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based automatic control system capable of precisely regulating the provision of A/B nutrient solutions. The system was developed using an ESP32-S3 microcontroller, a TDS sensor, and a relay module to control the nutrient pump. Based on experimental data, a quadratic regression model was built to calculate the solution volume requirements based on the difference between the actual value and the target ppm. The system works automatically at certain time intervals and is integrated with a web dashboard for real-time monitoring. Test results show that the system is able to maintain TDS values within the target range (± 15 ppm) with an average difference between predictions of 2.17 ppm and a maximum difference of 4.1 ppm, which is still within the tolerance limits of the hydroponic system. With IoT integration, users can monitor and control the solution conditions efficiently from a distance. This system has the potential to be applied in household and small-scale hydroponic cultivation.

Keyword: A/B Nutrient, Automatic Control, ESP32, Hydroponics, Internet of Things, Total Dissolved Solids.

Abstrak

Kualitas larutan nutrisi merupakan faktor krusial dalam sistem hidroponik, terutama dalam menjaga kestabilan kadar zat terlarut (Total Dissolved Solids/TDS) sesuai kebutuhan tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kendali otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu mengatur pemberian larutan nutrisi A/B secara presisi. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32-S3, sensor TDS, dan modul *relay* untuk mengontrol pompa nutrisi. Berdasarkan data eksperimen, dibangun model regresi kuadratik untuk menghitung kebutuhan *volume* larutan berdasarkan selisih antara nilai aktual dan target ppm. Sistem bekerja otomatis pada interval waktu tertentu dan terintegrasi dengan *dashboard web* untuk pemantauan real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan nilai TDS dalam kisaran target (± 15 ppm) dengan selisih rata-rata prediksi sebesar 2,17 ppm, dan selisih maksimum 4,1 ppm, yang masih berada dalam batas toleransi sistem hidroponik. Dengan integrasi IoT, pengguna dapat memantau dan mengendalikan kondisi larutan dari jarak jauh secara efisien. Sistem ini berpotensi untuk diterapkan dalam budidaya hidroponik skala rumah tangga maupun industri kecil.

Kata Kunci: ESP32, Hidroponik, Internet of Things, Kendali Otomatis, Nutrisi A/B, Total Dissolved Solids.

1. PENDAHULUAN

Budidaya tanaman secara hidroponik merupakan salah satu metode pertanian modern yang semakin banyak diterapkan karena efisiensinya dalam penggunaan lahan dan air [1]. Dalam sistem hidroponik, tanaman tumbuh dalam larutan nutrisi yang menggantikan fungsi tanah, sehingga kualitas dan kestabilan larutan tersebut menjadi faktor penentu utama keberhasilan pertumbuhan tanaman [2]. Salah satu parameter

penting dalam larutan hidroponik adalah tingkat Total *Dissolved Solids* (TDS), yang menunjukkan konsentrasi zat terlarut dalam air [3], [4]. Nilai TDS yang tidak sesuai dapat menghambat penyerapan nutrisi oleh tanaman, menyebabkan stres, hingga menurunkan produktivitas [5].

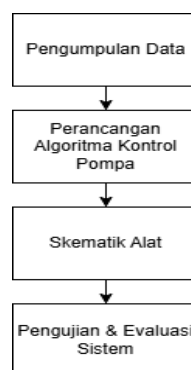
Dalam budidaya hidroponik kurangnya pemantauan dan pengendalian kualitas air secara *real-time* yang menyebabkan ketidak seimbangan nutrisi serta fluktuasi *potential of Hydrogen* (Ph) dan TDS akan berdampak pada penurunan hasil panen dan stres tanaman sehingga menjadi permasalahan yang sering terjadi dalam budidaya hidroponik [6], [7]. seiring dengan meningkatnya pertumbuhan populasi urban dan keterbatasan lahan pertanian yang mendorong adopsi sistem hidroponik sebagai bentuk pertanian berkelanjutan [8]. Meskipun demikian sebagian besar sistem yang digunakan masih bersifat manual atau semi-otomatis sehingga belum mampu menjawab kebutuhan otomasi dan presisi dalam pengelolaan kualitas air [9]. Oleh karena itu *Internet of Things* (IoT) dipilih sebagai solusi karena kemampuannya dalam menyediakan pemantauan otomatis, akurat, dan berbasis data waktu nyata serta dapat diakses dari jarak jauh [10]. IoT memungkinkan integrasi sensor pH, suhu, dan TDS yang dikendalikan oleh mikrokontroler seperti ESP32 serta antarmuka berbasis *web* atau *mobile* sebagai pusat pemantauan dan kendali [11]. Dalam Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam menciptakan sistem pemantauan kualitas air hidroponik yang lebih cerdas, efisien, dan berkelanjutan serta menjadi rujukan dalam pengembangan pertanian presisi berbasis IoT di Indonesia yang saat ini masih minim eksplorasi dibandingkan negara lain.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menyoroti pentingnya pengendalian TDS secara otomatis. Misalnya, [12]. mengembangkan sistem kontrol berbasis Arduino untuk pemantauan TDS, namun masih bersifat semi-otomatis tanpa fitur penambahan nutrisi secara langsung. Penelitian lain oleh [13]. merancang sistem otomatis untuk memantau dan mengontrol pH dalam sistem hidroponik di dalam rumah kaca. Meskipun efektif dalam menjaga kestabilan pH, sistem ini tidak mengintegrasikan pemantauan atau kontrol TDS secara otomatis. Sementara itu, [14]. mengembangkan sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT menggunakan ESP32 dan platform Blynk untuk memantau parameter seperti suhu, pH, kekeruhan, dan TDS secara *real-time*. Namun, sistem ini hanya berfungsi sebagai alat pemantau tanpa kemampuan untuk melakukan kontrol atau penyesuaian otomatis terhadap parameter yang dipantau. Ketiga studi tersebut menunjukkan adanya celah dalam hal integrasi penuh antara pengukuran, pengolahan data, aksi korektif, dan konektivitas IoT dalam satu kesatuan sistem otomatis yang komprehensif.

Permasalahan-permasalahan tersebut menjadi latar belakang dalam penelitian ini. Sistem yang dikembangkan bertujuan untuk tidak hanya memantau nilai TDS secara *real-time*, tetapi juga mampu melakukan aksi otomatis berupa penambahan larutan nutrisi A/B menggunakan aktuator pompa yang dikontrol melalui perhitungan model matematis. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32-S3, sensor TDS, serta modul *relay*, dan terintegrasi dengan *dashboard web* berbasis IoT. Model regresi kuadratik dibangun dari data eksperimen untuk menghitung kebutuhan *volume* larutan berdasarkan selisih antara nilai aktual dan target ppm. Melalui pendekatan ini, sistem diharapkan mampu menjaga kestabilan TDS pada larutan hidroponik secara otomatis dan akurat, sekaligus memungkinkan pemantauan jarak jauh oleh pengguna. Dengan demikian, sistem ini diharapkan menjadi solusi efektif dan efisien dalam mendukung praktik pertanian presisi berbasis teknologi IoT.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis untuk membangun dan menguji sistem kendali otomatis kualitas larutan nutrisi hidroponik berbasis IoT. Metodologi mencakup proses pengumpulan data eksperimen, perancangan algoritma kontrol berbasis regresi, perakitan sistem perangkat keras (skematik alat), serta pengujian dan evaluasi performa sistem dalam kondisi nyata yang dapat dilihat pada Gambar 1. Setiap tahapan dirancang untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan mampu bekerja secara akurat, stabil, dan dapat dipantau secara *real-time* melalui koneksi internet.



Gambar 1. Alur Penelitian

2.1. Pengumpulan Data dan Regresi

Tahap awal dalam penelitian ini adalah melakukan eksperimen data untuk mengetahui hubungan antara *volume* larutan nutrisi A/B yang ditambahkan ke dalam air baku dengan nilai TDS (ppm) yang dihasilkan. Proses dilakukan dengan menambahkan larutan secara bertahap dalam jumlah yang telah ditentukan, kemudian mencatat hasil pembacaan sensor TDS setiap kali penambahan dilakukan. Tujuan dari tahapan ini adalah untuk memperoleh data empiris yang digunakan sebagai dasar pembentukan model matematis yang merepresentasikan perubahan ppm terhadap *volume* larutan yang ditambahkan. Model ini nantinya digunakan dalam algoritma pengendali otomatis untuk menghitung kebutuhan nutrisi berdasarkan selisih antara nilai aktual dan target ppm. Tabel 1 menunjukkan hasil pengumpulan data yang mencatat nilai ppm air baku setelah penambahan sejumlah larutan nutrisi A/B.

Tabel 1. Pengambilan Sample Data

No	Nutrisi A&B (ml)	Air Baku(ppm)
1	0	0
2	2	93
3	2	100
4	2	100
5	2	98
6	1,9	66
7	4	225

Dari hasil tersebut, dilakukan proses pembersihan dan rata-rata untuk nilai ppm dengan *volume* yang sama guna mengurangi noise pengukuran. Untuk *volume* 2 ml, nilai ppm berkisar antara 93–100, sehingga digunakan nilai rata-rata 97 ppm. Data bersih kemudian dianalisis menggunakan metode regresi kuadratik, yang paling sesuai dengan karakteristik kenaikan non-linear pada ppm akibat larutan. Hasil regresi menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta ppm = 4,99x^2 + 36,57x - 0,55 \quad (1)$$

di mana x adalah *volume* larutan dalam mililiter, dan Δppm adalah peningkatan nilai TDS dari titik awal. Persamaan ini digunakan dalam sistem untuk menghitung kebutuhan *volume* larutan secara otomatis berdasarkan selisih nilai TDS aktual dan nilai target yang telah ditetapkan yang dapat dilihat pada gambar 3.

2.2. Perancangan Algoritma Kontrol Pompa

Setelah model regresi diperoleh dari hasil eksperimen, tahap berikutnya adalah merancang algoritma yang memungkinkan sistem menghitung *volume* larutan nutrisi secara otomatis berdasarkan nilai TDS yang terbaca dari sensor. Algoritma ini diimplementasikan dalam mikrokontroler ESP32 dan bekerja dengan membandingkan nilai ppm saat ini dengan nilai target (misalnya 850 ppm). Jika nilai aktual lebih rendah dari target, maka sistem akan menghitung selisihnya (Δppm), menyelesaikan persamaan regresi kuadratik untuk mendapatkan *volume* larutan (ml), lalu mengonversinya menjadi durasi kerja pompa dalam satuan milidetik (ms).

Logika pengendali ini dirancang untuk bekerja secara otomatis dalam interval waktu tertentu (misalnya setiap 30 menit), sehingga sistem dapat menjaga stabilitas larutan secara berkala tanpa intervensi manual. Waktu kerja pompa dihitung dengan pendekatan empiris bahwa 1 ml setara dengan waktu aktif pompa selama 25 milidetik. Berikut contoh algoritmanya.

Sample of algorithm

```

Input: Pembacaan ADC0
Output: ml_dibutuhkan, ddurasi_pompa
Inisialisasi: FirstRun = false, TimerStart
Baca nilai ppm
Jika ppm < target:
    Hitung Δppm
    Selesaikan Persamaan. (1) untuk mendapatkan ml_dibutuhkan
    durasi_pompa = ml_dibutuhkan * 25
    Aktifkan relay selama durasi_pompa
    Tampilkan data pada OLED
Ulangi setiap 30 menit

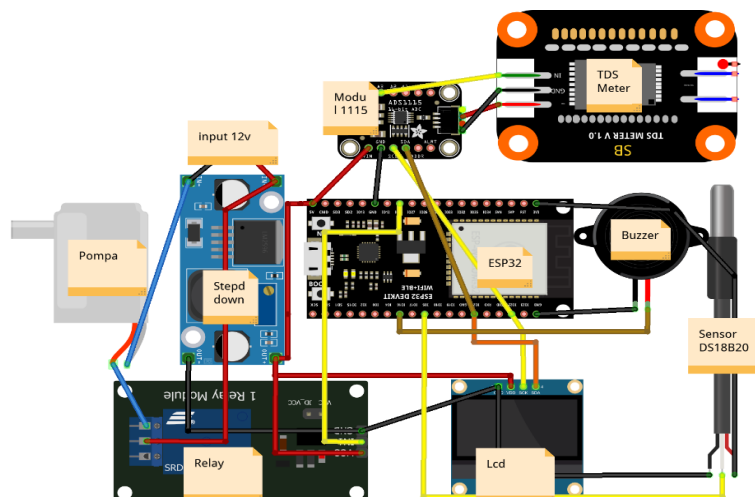
```

2.3. Skematik Alat

Skematik rangkaian ini mengandalkan ESP32 sebagai mikrokontroler utama yang menerima data pembacaan dari sensor TDS dan sensor suhu DS18B20. Sensor TDS memberikan sinyal analog yang kemudian dikonversi menjadi data digital beresolusi tinggi menggunakan modul *Analog to Digital Converter*

(ADC) eksternal ADS1115 dengan komunikasi I2C, karena ESP32 sendiri memiliki keterbatasan dalam akurasi ADC internal.

Pada Gambar 2, pengguna menggunakan Sensor DS18B20 terhubung langsung ke pin digital ESP32 untuk pengukuran suhu larutan yang akurat. Tegangan operasi untuk seluruh sistem diatur oleh modul *step down* LM2596 yang menurunkan sumber tegangan 12V menjadi 5V sesuai kebutuhan ESP32, sensor, dan modul lainnya. Pompa nutrisi 12V diaktifkan oleh modul *relay* yang dikendalikan oleh ESP32, bekerja berdasarkan perhitungan durasi pompa yang dihitung dari kebutuhan nutrisi sesuai model regresi. *Buzzer* terpasang sebagai indikator suara yang memberikan notifikasi saat pompa aktif atau saat terjadi kondisi tertentu yang perlu perhatian. Status sistem seperti nilai TDS, suhu larutan, dan status pompa ditampilkan pada layar *Organic Light Emitting Diode* (OLED) yang terhubung melalui antarmuka I2C, sehingga memudahkan monitoring lokal. Semua komponen mendapatkan pasokan listrik yang stabil dengan ground bersama untuk memastikan keandalan dan kestabilan sistem secara keseluruhan.



Gambar 2. Skematik Rangkaian

2.4. Pengujian dan Evaluasi Sistem

Sistem diuji pada instalasi hidroponik sederhana dengan *volume* larutan tetap. Setiap proses penambahan larutan diperiksa nilai ppm awal dan setelah pompa aktif. Hasilnya dibandingkan dengan estimasi dari model regresi.

Evaluasi mencakup:

1. Akurasi model terhadap kenaikan ppm aktual
2. Ketepatan durasi pompa
3. Konsistensi kerja *relay* dan sensor
4. Respon sistem terhadap perubahan nilai ppm

Sistem dianggap berhasil apabila dapat menjaga nilai ppm dalam rentang ± 25 ppm dari target dengan intervensi otomatis setiap 30 menit.

2.5. Literature Review

Berikut merupakan beberapa riset terdahulu sebagai referensi yang berkaitan dengan sistem kendali kualitas air pada tanaman hidroponik.

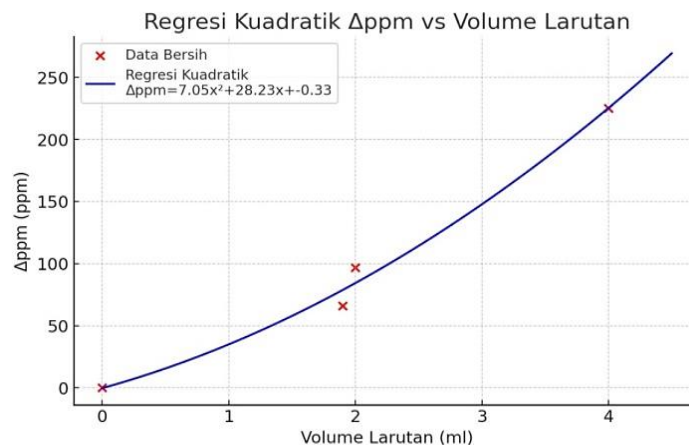
1. Penelitian yang dilakukan oleh Afiif, *et.al.* yang berjudul *Rancang Bangun Control Dan Monitoring Nutrisi AB Mix Pada Hidroponik Dengan Sistem Nutrient Film Technique (NFT) Melalui Android*. Penelitian ini mengembangkan sistem hidroponik berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266 dan aplikasi Blynk. Sistem ini memantau dan mengontrol kadar nutrisi, suhu, pH, dan kelembaban secara otomatis dengan sensor TDS dan pompa air otomatis. Hasil pengujian menunjukkan akurasi tinggi dengan *error* rata-rata hanya 3,9% untuk TDS, membuktikan efektivitas sistem ini dalam manajemen nutrisi hidroponik [15].
2. Penelitian yang dilakukan oleh Alfia, *et.al.* yang berjudul *Sistem Monitoring Kualitas Air Pada Sistem Akuaponik Berbasis IoT*. Penelitian ini membahas tentang pengembangan sistem pemantauan kualitas air secara *real-time* dalam sistem akuaponik menggunakan teknologi IoT. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 yang terhubung dengan sensor suhu DS18B20, sensor pH, dan sensor TDS. Penelitian ini bekerja dengan metode pemantauan berbasis ambang batas di mana tidak dilakukan kontrol otomatis melainkan hanya pemantauan pasif. Sistem ini membantu

pengguna mengetahui kondisi air secara langsung dan cepat meskipun masih memerlukan intervensi manual untuk penyesuaian parameter air [16].

3. Penelitian yang dilakukan oleh Sholahuddin dan, Budi yang berjudul *Purwarupa Sistem Monitoring dan Otomasi Hidroponik berbasis IoT menggunakan Aplikasi Android*. Penelitian ini membahas pengembangan prototipe sistem pemantauan dan kendali otomatis terhadap kualitas air pada sistem hidroponik menggunakan pendekatan IoT. Sistem ini dirancang untuk memantau dan mengatur nilai pH serta suhu air dua parameter krusial dalam keberhasilan pertanian hidroponik. Untuk otomatisasi digunakan pompa *Direct Current* (DC) untuk menaikkan dan menurunkan pH serta kipas DC untuk mengatur suhu air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini memiliki tingkat akurasi tinggi 96,58% untuk sensor pH dan 99,61% untuk sensor suhu. Sistem berhasil mengotomasi nilai pH dan suhu air secara *real-time*, menjadikan kontrol kualitas air pada tanaman hidroponik menjadi lebih efisien dan minim intervensi manual [17].
4. Penelitian yang dilakukan oleh Tryora Inzaghi, *et.al.* yang berjudul *Rancang Bangun Sistem Pemberian Nutrisi AB Mix Otomatis untuk Hidroponik Sistem Wick Berbasis IoT*. Penelitian ini membahas pengembangan sistem otomatis untuk pemberian nutrisi AB Mix pada tanaman pakcoy menggunakan sistem hidroponik wick. Sistem ini menggunakan sensor TDS untuk mengukur kepekatan larutan dan water level sensor untuk memantau ketinggian air. Data dikirim menggunakan protokol komunikasi *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) ke server dan ditampilkan dalam bentuk antarmuka *web*. NodeMCU ESP8266 bertindak sebagai pengendali utama mengaktifkan pompa air melalui modul *relay* ketika kadar nutrisi atau *volume* air tidak mencukupi. Sistem ini terbukti efektif menjaga kadar nutrisi dalam rentang optimal (1000–1300 ppm) secara otomatis [18].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil dari implementasi sistem kendali kualitas air berbasis IoT yang telah dirancang dan diuji pada instalasi hidroponik sederhana. Evaluasi dilakukan untuk menilai akurasi model regresi dalam menghitung kebutuhan larutan nutrisi, kinerja sistem otomasi dalam menjaga kestabilan ppm, serta keandalan komunikasi data ke *dashboard web* secara *real-time*. Hasil regresi kuadratik dapat dilihat pada Gambar 3. Pembahasan mencakup performa aktual sistem selama proses uji coba, validasi model dosis melalui data eksperimental, tampilan dan fungsi *dashboard* pemantauan, serta analisis menyeluruh terhadap efektivitas dan potensi pengembangan sistem lebih lanjut.



Gambar 3. Hasil Regresi Kuadratik

3.1. Hasil Implementasi Sistem

Setelah seluruh sistem berhasil dirakit dan diprogram, dilakukan pengujian fungsional secara langsung pada media air baku hidroponik. Sensor TDS berhasil membaca nilai ppm awal sekitar 9 ppm, yang menunjukkan Sensor belum dimasukkan kedalam air. Proses penambahan larutan A/B dikendalikan otomatis oleh sistem, berdasarkan perhitungan selisih terhadap target ppm sebesar 850. Hasil dari pembacaan sensor, estimasi kebutuhan larutan, dan waktu aktivasi pompa ditampilkan di layar OLED serta dikirim ke *dashboard web*. Keluaran OLED saat sistem aktif yang dapat dilihat pada Gambar 4.

Hal ini menunjukkan bahwa sistem berhasil melakukan perhitungan regresi berdasarkan model kuadratik, menentukan kebutuhan larutan, dan mengaktifkan pompa dengan waktu yang sesuai.



Gambar 4. Hasil Implementasi Sistem

3.2. Evaluasi Model Dosis Nutrisi

Model regresi yang telah dibentuk sebelumnya berfungsi untuk memperkirakan peningkatan nilai TDS (ppm) berdasarkan *volume* larutan nutrisi A/B yang ditambahkan ke dalam media tanam. Untuk memastikan keakuratan model tersebut, dilakukan pengujian lapangan dengan cara membandingkan nilai ppm aktual setelah penambahan nutrisi dengan hasil estimasi dari model regresi. Percobaan ini dilakukan dengan *volume* nutrisi yang bervariasi, namun menggunakan kondisi awal (ppm awal) yang sama, sehingga perubahan yang terjadi benar-benar berasal dari *volume* larutan yang ditambahkan. Tabel 2 merupakan hasil pengumpulan data yang mencatat peningkatan nilai TDS (ppm) setelah larutan nutrisi A/B yang ditambahkan ke media tanam.

Tabel 2. Hasil Pengujian

<i>Volume</i> Larutan (ml)	PPM Awal	PPM Target	PPM Setelah Penambahan	Estimasi Model (ppm)	Selisih (ppm)
2.0	342	850	542	541.9	+0.1
2.5	342	850	615	616.3	-1.3
3.0	342	850	695	698.2	-3.2
3.5	342	850	760	764.1	-4.1

Hasil menunjukkan bahwa model regresi memberikan prediksi yang sangat mendekati nilai aktual dengan rata-rata selisih absolut di bawah 5 ppm. Selisih terbesar tercatat sebesar 4.1 ppm, yang masih berada dalam batas toleransi umum untuk sistem hidroponik. Akurasi ini mengindikasikan bahwa model regresi dapat diandalkan untuk digunakan dalam perhitungan otomatis kebutuhan nutrisi oleh sistem kendali berbasis mikrokontroler, tanpa perlu penyesuaian manual tambahan.

3.3. Monitoring Dashboard Web

Sistem kendali kualitas air yang dikembangkan berhasil terintegrasi secara penuh dengan platform IoT menggunakan *dashboard* berbasis *web*. Data hasil pembacaan sensor TDS dan suhu air dikirim secara *real-time* ke *dashboard* yang dapat diakses dari berbagai perangkat melalui jaringan internet. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5, *dashboard* menampilkan nilai TDS saat ini (9 ppm) dan suhu air (26,1°C), serta menyediakan grafik historis dalam jangka waktu 5 jam terakhir. Meskipun grafik TDS belum menunjukkan fluktuasi karena kondisi uji stabil, fitur ini siap menampilkan tren data secara dinamis saat sistem berjalan dalam jangka waktu panjang. Keberhasilan pengiriman dan tampilan data ini menunjukkan bahwa integrasi sistem dengan layanan IoT berjalan dengan baik, memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi larutan nutrisi secara efisien dari jarak jauh tanpa perlu kontrol manual langsung di lapangan.

3.4. Analisis

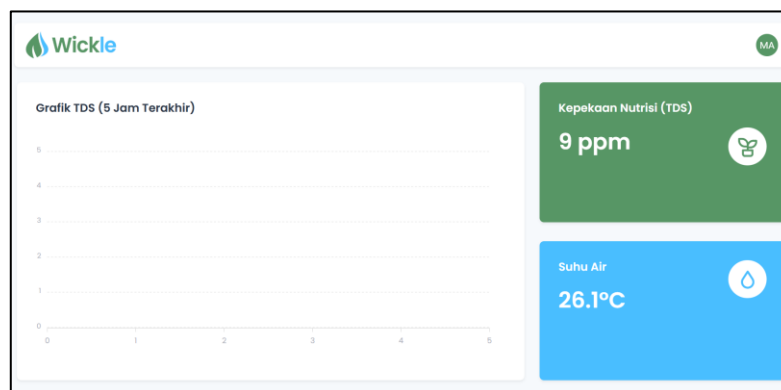
Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian sistem, dapat disimpulkan bahwa pendekatan yang digunakan dalam perancangan kendali kualitas air berbasis IoT ini menunjukkan performa yang efektif dan akurat. Model regresi kuadratik yang dikembangkan berhasil memetakan hubungan antara *volume* larutan nutrisi dengan perubahan nilai TDS secara presisi, dengan rata-rata selisih prediksi di bawah 5 ppm. Hal ini memastikan bahwa sistem mampu menghitung kebutuhan nutrisi secara matematis tanpa mengandalkan tebakan atau pengaturan manual. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya sistem ini menunjukkan peningkatan akurasi perhitungan kebutuhan nutrisi dan respons otomatisasi yang lebih baik. Misalnya:

1. Adiputra et al. (2023) menerapkan regresi polynomial untuk koreksi bacaan PPM namun hasilnya masih menghasilkan *error* rata-rata sekitar 76 ppm sehingga akurasinya relatif rendah dibandingkan

penelitian ini yang hanya mencatat *error* <5 ppm. Hal ini membuktikan bahwa model regresi kuadratik lebih unggul dalam presisi pengendalian nutrisi [19].

2. Lukito et al. (2025) menggabungkan *Median Filter* dan *Linear Quadratic Estimation* (LQE) untuk sistem IoT hidroponik dan berhasil meningkatkan akurasi sensor hingga *error* relatif di bawah 1% untuk pH dan PPM. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian kami namun perbedaannya terletak pada penerapan langsung model regresi kuadratik untuk mengestimasi hubungan *input-output volume* nutrisi terhadap TDS sehingga menghasilkan solusi yang lebih sederhana namun tetap efektif [20].

Dalam penelitian ini, penggunaan sistem kontrol berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan sensor TDS dan modul *relay* terbukti memberikan respons cepat dan stabil pada proses pemberian nutrisi. Aktivasi pompa berjalan sesuai durasi yang dihitung tanpa keterlambatan serta interval siklik 30 menit efektif menjaga kestabilan larutan tanpa fluktuasi tajam. Selain itu integrasi dengan *dashboard* IoT melalui *platform* Wickle memberikan nilai tambah berupa visualisasi data *real-time* yang informatif sehingga sistem tidak hanya adaptif dan efisien tetapi juga mendukung konsep pertanian presisi berbasis data.



Gambar 5. Tampilan Web

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem kendali otomatis kualitas air pada budidaya hidroponik berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32-S3, sensor TDS, dan modul *relay*. Sistem bekerja dengan membaca nilai ppm dari larutan nutrisi, kemudian menghitung kebutuhan *volume* penambahan larutan A/B menggunakan model regresi kuadratik yang dibangun berdasarkan data eksperimen. Model tersebut menunjukkan performa prediksi yang akurat, dengan rata-rata galat prediksi kurang dari 5 ppm terhadap nilai aktual.

Sistem ini mampu menjaga konsentrasi larutan dalam kisaran target 850 ppm \pm 15 ppm secara otomatis setiap 30 menit, serta menampilkan informasi proses secara *real-time* melalui layar OLED dan *dashboard web* berbasis IoT. Keberhasilan sistem dalam mempertahankan kestabilan larutan menunjukkan bahwa pendekatan ini layak untuk diterapkan dalam skala rumah tangga maupun usaha hidroponik kecil hingga menengah.

Dalam implementasi jangka panjang perlu diperhatikan bahwa akurasi pembacaan sensor TDS cenderung menurun seiring waktu. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti distorsi sinyal akibat endapan elektrolit, pengaruh suhu larutan, serta penggunaan sensor yang terlalu lama terendam dalam air tanpa perawatan berkala. Oleh karena itu disarankan agar sensor TDS dibersihkan secara rutin dikalibrasi ulang secara periodik dan tidak terus-menerus direndam saat sistem tidak beroperasi. Penggunaan sensor dengan housing tertutup atau anti-karat serta penambahan kompensasi suhu otomatis juga akan membantu menjaga akurasi data jangka panjang.

Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem ini masih dapat ditingkatkan melalui penambahan sensor lain seperti pH dan suhu agar kontrol lebih menyeluruh, penerapan dua pompa terpisah untuk larutan A dan B agar rasio campuran lebih fleksibel, serta integrasi fitur notifikasi jarak jauh melalui Telegram atau email. Kalibrasi otomatis sensor TDS dan penyimpanan data ke cloud database juga disarankan guna mendukung analisis jangka panjang dan memungkinkan integrasi teknologi kecerdasan buatan (AI) di masa mendatang.

REFERENSI

- [1] T. P. Fiqar, F. Fitriani, and R. K. Abdullah, "Implementasi Sistem Monitoring Tanaman Hidroponik Menggunakan Metode Fuzzy Sugeno," *JTIM J. Teknol. Inf. dan Multimed.*, vol. 5, no. 2, pp. 109–121, 2023, doi: 10.35746/jtim.v5i2.372.
- [2] R. S. Ronaldo et al., "Perancangan Smart Greenhouse Sebagai Budidaya Tanaman Hidroponik Berbasis Internet of Things (Iot)," *Kocenin Ser. Konf.*, vol. 9, no. 1, pp. 6.9.1-6.9.6, 2020, [Online].

- Available: <https://publikasi.kocenin.com/index.php/pakar/article/view/92>.
- [3] Fiska Fadhillah and M. Hardjianto, "Sistem Monitoring dan Kendali Tanaman Hidroponik berbasis Internet of Things pada Smart Green House," *J. Ticom Technol. Inf. Commun.*, vol. 11, no. 1, pp. 39–43, 2022, doi: 10.70309/ticom.v11i1.69.
 - [4] H. Halim and A. Anwar, "Rancang Bangun Hidroponik Berbasis Mikrokontroler Untuk Tanaman Selada Di Kecamatan Batulicin Kabupaten Tanah Bumbu," *BERNAS J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 1, no. 4, pp. 523–530, 2020, doi: 10.31949/jb.v1i4.515.
 - [5] J. T. Khriswanti, H. Fitriyah, and B. H. Prasetyo, "Sistem Pengendali Suhu dan Kelembaban Udara Prototipe Greenhouse pada Tanaman Hidroponik menggunakan Metode Regresi Linier Berganda berbasis Arduino," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 6, no. 4, pp. 1531–1538, 2022.
 - [6] A. Hermanto, T. Ahmad, H. Al, A. Kridoyono, P. Studi, and T. Informatika, "Pembuatan Sistem Pemantauan Ph Dan Ppm Air Pada Hidroponik Berbasis IoT," vol. 8, no. 1, pp. 167–178, 2025.
 - [7] F. Setiawan, B. Santoso, and U. A. Yogyakarta, "IoT implementation for Adjustment Automatic pH and TDS / EC Parameters on the System Hydroponics Lettuce," vol. 4, pp. 43–53, 2025.
 - [8] K. Ashari, F. T. Informasi, A. H. Mujianto, and F. T. Informasi, "Implementasi IOT Dan Fuzzy Mamdani Untuk Pengendalian Ph Dan Nutrisi Dalam Pertanian," vol. 3, no. 5, pp. 306–317, 2025.
 - [9] W. E. Saputra and U. M. Tangerang, "Rancang Bangun Sistem Otomasi Pada Rumah Kaca Tanaman Hidroponik Berbasis Mikrokontroler ESP 8266," vol. 8, no. 1, pp. 16–23, 2024.
 - [10] C. Lukito, R. B. Lukito, and E. Ernawati, "Implementation of IoT Edge Computing for Control and Monitoring System of Hydroponic Plant Water Quality Using Raspberry Pi," vol. 1, no. 1, pp. 25–32, 2024, doi: 10.21512/ijeshaijournal.v1i1.12153.
 - [11] F. F. Zaman and G. F. Agnia, "ESP32 Microcontroller Implementation for Monitoring Water Quality and Level in a Hydroponic System : A Case Study at Aziz Hydroponic Garden , Ciamis," vol. 6, no. 1, pp. 1–14, 2025.
 - [12] H. S. Dini and R. P. Putra, "Automation and Mobile Phone Based-Monitoring of Hydroponic Farming Style Using Solar Energy," *Acta Electron. Malaysia*, vol. 5, no. 1, pp. 01–05, 2021, doi: 10.26480/aem.01.2021.01.05.
 - [13] M. Hadif, S. M. B. A. Rahman, and A. A. Ahmad, *Smart Water Quality Monitoring with the Implementation of IoT*, no. InvENT. Atlantis Press International BV, 2024.
 - [14] A. L. J. Rico, "Automated pH Monitoring and Controlling System for Hydroponics under Greenhouse Condition," *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 15, no. 2, pp. 523–528, 2020, doi: 10.36478/JEASCI.2020.523.528.
 - [15] A. N. Afiif, Y. Saragih, and I. Rochimawati, "Rancang Bangun System Control Dan Monitoring Nutrisi Ab Mix Pada Hidroponik Dengan Sistem Nutrient Film Technique (Nft) Melalui Android," *J. Ilm. Multidisiplin*, vol. 1, no. 2, pp. 143–148, 2023, doi: 10.5281/zenodo.7885260.
 - [16] R. Alfia, A. Widodo, N. Kholis, and Nurhayati, "Sistem Monitoring Kualitas Air Pada Sistem Akuaponik Berbasis Iot," *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 3, pp. 707–714, 2021.
 - [17] D. Sholahuddin and A. S. Budi, "Purwarupa Sistem Monitoring dan Otomasi Hidroponik berbasis IoT menggunakan Aplikasi Android," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 7, no. 1, pp. 210–218, 2023.
 - [18] M. Tryora Inzaghi, W. Agus Arimbawa, and A. Hernawan, "Rancang Bangun Sistem Pemberian Nutrisi Ab Mix Otomatis Untuk Hidroponik Sistem Wick Berbasis IOT (Design of Automatic AB Mix Nutrition System for Wick System Hydroponics Based on IoT)."
 - [19] D. Adiputra *et al.*, "Water Quality Monitoring with Regression-Based PPM Sensor for Controlling Hydroponic Dissolved Nutrient," *J. Ilm. Tek. Elektro Komput. dan Inform.*, vol. 9, no. 2, pp. 298–306, 2023, doi: 10.26555/jiteki.v9i2.25915.
 - [20] C. Lukito, R. B. Lukito, and E. Ernawati, "Innovative IoT-Based Strategy for Water Quality Control in Hydroponic Plants Using Median Filter and Linear Quadratic Estimation," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 103, no. 12, pp. 5149–5161, 2025.