

OTOMATISASI PENGATURAN PH DAN TDS PADA HIDROPONIK NFT MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ESP32 DAN LOGIKA FUZZY

Muhammad Santriko¹, Agung Kridoyono², Mochamad Sidqon³, Anton Brevia Yunanda⁴, Istantyo Yuwono⁵

Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya^{1,2,3,4,5}

Email: akademik@untag-sby.ac.id

Keywords	Abstract
<i>Keywords: IoT, fuzzy logic, NFT hydroponics, pH, TDS</i>	<i>Hydroponic systems require precise control over nutrient levels and water flow to ensure optimal plant growth. Manual management is still widely used, which often leads to imprecise nutrient delivery, water wastage, and inefficiency. This study aims to develop an intelligent system based on the Internet of Things (IoT) and fuzzy logic to automatically regulate pH and TDS levels in a Nutrient Film Technique (NFT) hydroponic setup. The methodology includes the integration of pH, TDS, ultrasonic, and flow sensors with an ESP32 microcontroller and the Blynk application. Sensor data is processed using fuzzy logic to produce outputs in the form of liquid volume (liters) and pump activation duration (seconds). The system is designed to control pH UP/DOWN and fertilizer pumps are automatically based on the delta and error values of the measured parameters. Implementation results indicate that the system effectively maintains nutrient stability and reduces water and fertilizer wastage. Additionally, it enables real-time remote monitoring via a mobile application. Therefore, this intelligent system offers an efficient and adaptive solution for supporting sustainable hydroponic farming.</i>
<i>Kata Kunci: IoT, fuzzy logic, hidroponik NFT, pH, TDS</i>	<i>Teknik hidroponik membutuhkan pengelolaan yang presisi terhadap kadar pupuk dan debit air untuk memastikan pertumbuhan tanaman yang optimal. Pengelolaan manual masih sering dilakukan, yang dapat menyebabkan ketidaksesuaian nutrisi, pemborosan air, dan ketidakefisienan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem cerdas berbasis Internet of Things (IoT) dan logika fuzzy yang mampu mengatur pH dan TDS secara otomatis pada sistem hidroponik NFT (Nutrient Film Technique). Metode yang digunakan meliputi pemanfaatan sensor pH, TDS, ultrasonik, dan flow meter yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 dan aplikasi Blynk. Data dari sensor diolah melalui fuzzy logic untuk menghasilkan output berupa volume cairan (liter) dan durasi waktu aktivasi pompa (detik). Sistem ini dirancang untuk mengaktifkan pompa pH UP/DOWN dan pupuk secara otomatis berdasarkan nilai delta dan error dari parameter pH dan TDS. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga stabilitas nutrisi dengan akurat, serta mengurangi pemborosan air dan pupuk. Sistem juga memungkinkan monitoring jarak jauh secara real-time melalui aplikasi mobile. Dengan demikian, sistem ini efektif dan adaptif untuk mendukung pertanian hidroponik berkelanjutan.</i>

1. PENDAHULUAN

Hidroponik adalah metode pertanian modern yang memanfaatkan air yang kaya nutrisi sebagai media tanam, menggantikan tanah. Tanaman tumbuh dengan akar yang langsung terendam atau terkena aliran larutan nutrisi tersebut. Meskipun konsep ini telah ada sejak abad ke-17, baru dalam beberapa dekade terakhir hidroponik mengalami peningkatan popularitas, khususnya di daerah perkotaan dan wilayah dengan keterbatasan lahan dan air [1]. Sistem ini mampu memaksimalkan hasil pertanian sekaligus meminimalkan penggunaan sumber daya alam [2].

Salah satu keunggulan utama hidroponik adalah efisiensi penggunaan air, yang dapat mencapai penghematan hingga 90% dibanding metode pertanian konvensional [3]. Selain itu, hidroponik memungkinkan kontrol yang lebih presisi terhadap variabel pertumbuhan seperti pH, suhu, dan nutrisi. Namun demikian, sistem ini masih menghadapi tantangan utama dalam pengelolaan nutrisi dan pengaturan aliran air. Ketidakseimbangan dalam kadar pupuk atau kesalahan dalam distribusi air dapat menyebabkan stres pada tanaman dan menurunkan produktivitas [4].

Pada sistem konvensional, pengukuran dan pengaturan kadar pH, EC, dan debit air masih dilakukan secara manual. Hal ini membuat proses monitoring bergantung pada keterampilan pengguna dan rentan terhadap kesalahan manusia. Selain itu, sistem manual tidak dapat memberikan respons cepat terhadap perubahan kondisi lingkungan, sehingga seringkali menyebabkan keterlambatan dalam penyesuaian [3].

Perkembangan teknologi seperti Internet of Things (IoT) dan kecerdasan buatan (AI) membuka peluang untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan hidroponik secara otomatis. IoT memungkinkan integrasi berbagai sensor untuk memantau parameter lingkungan secara real-time, sedangkan AI mampu mengolah data dan mengambil keputusan otomatis, seperti penyesuaian kadar nutrisi dan debit air berdasarkan algoritma adaptif [5,6].

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi sistem otomatis berbasis ESP32 dan logika fuzzy untuk pengaturan kadar pupuk dan aliran air pada sistem hidroponik metode Nutrient Film Technique (NFT). Sistem ini dilengkapi dengan sensor pH, TDS, suhu, dan debit air, serta terhubung dengan aplikasi Blynk sebagai antarmuka pemantauan jarak jauh. Evaluasi dilakukan secara kuantitatif melalui

pengujian laboratorium terhadap tanaman selada dan bayam dalam lingkungan terkontrol.

Fokus utama penelitian ini adalah untuk menganalisis kemampuan sistem dalam menjaga kestabilan pH dan nutrisi, kecepatan respons terhadap perubahan kondisi larutan, serta efisiensi penggunaan air dan pupuk. Dengan pendekatan ini, diharapkan sistem cerdas yang dikembangkan dapat berkontribusi pada penerapan teknologi pertanian presisi yang efisien, adaptif, dan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental untuk mengembangkan sistem otomatisasi pengaturan pH dan TDS pada hidroponik metode Nutrient Film Technique (NFT) menggunakan mikrokontroler ESP32 dan fuzzy logic. Tujuan dari metode ini adalah mengevaluasi efektivitas sistem dalam menjaga stabilitas larutan nutrisi secara otomatis dan real-time.

Perangkat dan Bahan Penelitian

Perangkat keras (hardware) yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Mikrokontroler ESP32
- Sensor pH dan TDS
- Sensor flowmeter
- Sensor ultrasonik (untuk tinggi air)
- LCD 16x2 I2C
- Modul relay
- Pompa cairan nutrisi dan air
- Modul koneksi internet (WiFi)
- Tangki larutan hidroponik NFT

Perangkat lunak (software) yang digunakan:

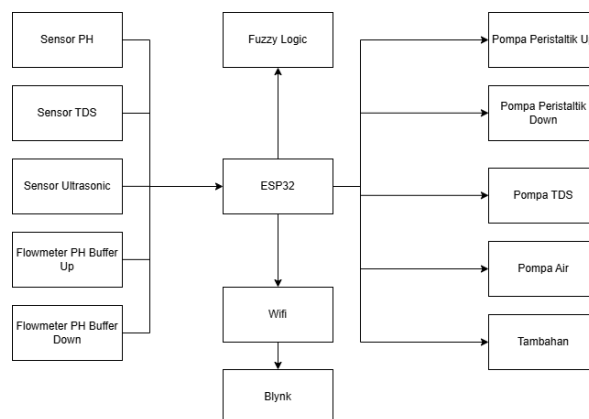
- Arduino IDE untuk pemrograman ESP32
- Aplikasi Blynk sebagai antarmuka monitoring jarak jauh
- Matlab untuk analisis data.

Tabel 1. Spesifikasi peralatan

Komponen	Spesifikasi
ESP32	Dual-core, WiFi, Bluetooth
Sensor pH	Probe dengan BNC konektor, rentang 0–14
Sensor TDS	Rentang 0–3000 ppm
Flowmeter	1–30 L/min, output pulsa
Sensor Ultrasonik	HC-SR04, rentang hingga 4 meter
LCD I2C	16x2 karakter, modul I2C

Rancangan Sistem

Gambar 1 menunjukkan blok diagram sistem yang menggambarkan integrasi antara sensor, mikrokontroler, sistem aktuator (relay dan pompa), serta antarmuka pengguna:



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Otomatisasi Hidroponik

Algoritma Fuzzy Logic

Fuzzy logic digunakan untuk menentukan durasi aktivasi pompa pH dan pupuk berdasarkan dua parameter utama: delta dan error. Delta merupakan selisih antara kondisi saat ini dan sebelumnya, sedangkan error merupakan selisih antara kondisi saat ini dengan nilai ideal (pH = 7, TDS = 1000 ppm). Output fuzzy adalah waktu aktivasi pompa dalam detik.

Aturan fuzzy disusun dalam bentuk tabel keputusan berbasis kombinasi nilai delta dan error. Penentuan durasi dilakukan menggunakan metode inferensi Mamdani dengan defuzzifikasi centroid.

Prosedur Penelitian

Langkah-langkah penelitian secara umum adalah sebagai berikut:

1. Perancangan sistem perangkat keras dan lunak.
2. Pengumpulan data sensor secara real-time.
3. Pemrosesan data dengan fuzzy logic pada ESP32.
4. Pengujian respons sistem terhadap kondisi pH dan TDS yang berubah-ubah.
5. Pengiriman data ke aplikasi Blynk dan tampilan lokal melalui LCD.
6. efektivitas dan efisiensi sistem dalam mempertahankan kondisi optimal.

Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian dilakukan secara berulang pada sistem hidroponik NFT berskala laboratorium menggunakan tanaman selada dan bayam. Parameter yang diuji meliputi:

- Akurasi pembacaan sensor
- Respons sistem terhadap kondisi tidak ideal
- Efektivitas fuzzy logic dalam menentukan durasi pompa
- Efisiensi penggunaan air dan pupuk

Data dikumpulkan selama periode waktu tertentu dan dianalisis menggunakan pendekatan statistik deskriptif untuk menilai performa sistem.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian menghasilkan sistem otomatis berbasis ESP32 yang mampu mengatur kadar pH dan TDS secara otomatis pada sistem hidroponik NFT. Hasil dibagi dalam beberapa subbab berdasarkan aspek fungsional dan performa sistem.

Pengujian Sensor dan Pembacaan Data

Pengujian dilakukan untuk memastikan akurasi pembacaan sensor pH, TDS, flowmeter, dan ultrasonik. Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran dari masing-masing sensor terhadap standar larutan yang telah dikalibrasi.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Sensor

Sensor	Nilai Ideal	Rata-rata Pembacaan	Deviasi (%)
pH	7.00	7.03	0.43
TDS (ppm)	1000	985	1.50
Flow (L/min)	2.00	2.05	2.50
Tinggi Air (cm)	15	14.8	1.33

Pembacaan sensor menunjukkan deviasi yang masih dalam batas toleransi, menandakan sensor bekerja secara akurat dan stabil.

Respons Sistem terhadap Perubahan pH dan TDS

Setelah sistem mendeteksi nilai pH dan TDS yang menyimpang dari nilai ideal, fuzzy logic memproses nilai error dan delta untuk menentukan lama aktivasi pompa koreksi. Gambar 2 menunjukkan grafik perubahan nilai pH dan TDS sebelum dan sesudah intervensi otomatis.

Tabel 3. Grafik Perubahan pH dan TDS oleh Sistem Otomatis

Parameter	Nilai Awal	Nilai Setelah Intervensi	Waktu Koreksi
pH	6.3	7.0	1 menit 35 detik
pH	7.8	7.1	1 menit 10 detik
TDS (ppm)	890	1010	1 menit 45 detik
TDS (ppm)	1120	1005	1 menit 20 detik

Sistem berhasil mengembalikan pH ke kisaran 6.8–7.2 dan TDS ke kisaran 950–1050 ppm dalam waktu kurang dari 2 menit setelah perubahan terjadi.

Evaluasi Efisiensi Penggunaan Air dan Nutrisi

Dengan penggunaan sistem otomatis, volume larutan pupuk yang digunakan berkurang secara signifikan dibandingkan metode manual. Tabel 3 membandingkan konsumsi air dan pupuk antara sistem otomatis dan manual selama 7 hari.

Tabel 3. Efisiensi Penggunaan Air dan Nutrisi

Parameter	Sistem	Sistem	Efisiensi (%)
	Manual	Otomatis	
Volume Air (L)	35	25	28.6%
Nutrisi (ml)	100	70	30.0%

Pengurangan penggunaan air dan nutrisi menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja lebih hemat tanpa menurunkan kualitas tanaman.

Rangkaian Sistem yang Telah Direalisasikan

Sistem otomatis yang dikembangkan telah berhasil dipasang dan diuji pada instalasi hidroponik metode Nutrient Film Technique (NFT). Semua komponen utama seperti mikrokontroler ESP32, sensor pH, sensor TDS, sensor ultrasonik, flowmeter, LCD 16x2 I2C, modul relay, serta pompa nutrisi dan air telah dirangkai dalam satu sistem yang saling terintegrasi.

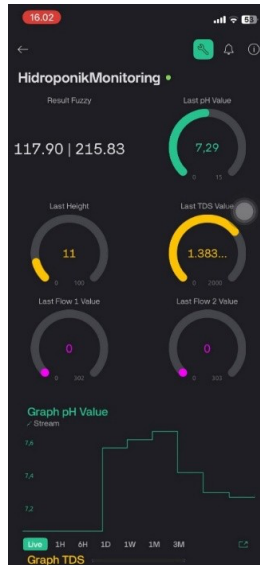


Gambar 2. Penerapan Sistem Otomatis pada Instalasi Hidroponik NFT

Gambar 2 berikut menunjukkan penerapan sistem pada instalasi hidroponik NFT, di mana larutan nutrisi mengalir melalui pipa kecil, dan sensor-sensor terpasang untuk memantau kondisi larutan secara real-time.

Monitoring Jarak Jauh melalui Blynk

Sistem telah terintegrasi dengan aplikasi Blynk, memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi hidroponik secara real-time dari perangkat seluler. Gambar 3 memperlihatkan tampilan antarmuka aplikasi yang menampilkan data pH, TDS, dan tinggi air.



Gambar 3. Tampilan Monitoring Real-Time di Aplikasi Blynk

Antarmuka Blynk memberikan notifikasi saat terjadi perubahan parameter di luar ambang batas, sehingga pengguna dapat segera melakukan pengecekan jika diperlukan.

Diskusi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil:

- Menyesuaikan kondisi larutan nutrisi dengan cepat dan presisi.
- Menghemat penggunaan sumber daya (air dan pupuk).
- Memberikan fleksibilitas pemantauan melalui IoT platform.

Integrasi antara logika fuzzy dan ESP32 terbukti efektif dalam memberikan keputusan kendali berbasis data sensor real-time. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya [1][2] yang menunjukkan bahwa otomatisasi berbasis IoT dan AI dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi pengelolaan sistem hidroponik.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem otomatisasi berbasis mikrokontroler ESP32 dan fuzzy logic untuk pengaturan kadar pH dan TDS pada instalasi hidroponik metode Nutrient Film Technique (NFT). Sistem dirancang untuk bekerja secara real-time dengan memanfaatkan sensor pH, TDS, flowmeter, dan ultrasonik, serta terintegrasi dengan aplikasi Blynk sebagai antarmuka pemantauan jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa:

1. Sistem mampu membaca perubahan nilai pH dan TDS secara akurat.

2. Fuzzy logic dapat mengambil keputusan otomatis dalam mengaktifkan pompa koreksi berdasarkan nilai delta dan error.
3. Parameter pH dan TDS dapat dikembalikan ke rentang ideal (pH 6.8–7.2; TDS 950–1050 ppm) dalam waktu kurang dari dua menit.
4. Sistem menghemat penggunaan air dan nutrisi masing-masing hingga 28–30% dibandingkan metode manual.
5. Pengguna dapat memantau dan mengontrol sistem dari jarak jauh melalui aplikasi berbasis IoT.

Secara keseluruhan, sistem ini terbukti meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan nutrisi hidroponik serta mendukung implementasi pertanian cerdas yang presisi, berkelanjutan, dan minim intervensi manual.

Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem ini dapat ditingkatkan dengan algoritma pembelajaran mesin (machine learning) agar dapat beradaptasi dengan berbagai jenis tanaman, serta dilengkapi dengan modul prediksi kebutuhan nutrisi berbasis data historis.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah S, Suhendra S, Telaumbanua F. Development of an automated feeding system for hydroponic plant nutrition using Arduino Uno. *KnE Engineering*. 2024;6(1). <https://doi.org/10.18502/keg.v6i1.15365>
- Atmaja FT, Fachrie M. Aplikasi mobile untuk monitoring tanaman hidroponik kangkung berbasis Thingspeak dan Firebase. *J Ilmu Komputer dan Agri-Informatika*. 2023;10(2):176–88. <https://doi.org/10.29244/jika.10.2.176-188>
- Jan S, Rashid Z, Ahngar TA, Iqbal S, Naikoo MA, Majeed S, Nazir I. Hydroponics – A Review. *Int J Curr Microbiol App Sci*. 2020;9(8):1779–87. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.908.206>
- Kaur G, Upadhyaya P, Chawla P. Comparative analysis of IoT-based controlled environment and uncontrolled environment plant growth monitoring system for hydroponic indoor vertical farm. *Environ Res*. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115313>
- Muniroh N, Priatno EA. Penerapan algoritma K-NN pada machine learning untuk

- klasifikasi kualitas air budidaya akuaponik berbasis IoT. *J Teknol dan Bisnis*. 2022;4(2). <https://doi.org/10.37087/jtb.v4i2.87>
- Murdiyantoro R, Izzinnahadi A, Armin EU. Sistem pemantauan kondisi air hidroponik berbasis Internet of Things menggunakan NodeMCU ESP8266. *J Telecommun Electron Control Eng (JTECE)*. 2021. <https://doi.org/10.20895/jtece.v3i2.258>
- Nandika R, Amrina E. Sistem hidroponik berbasis Internet of Things (IoT). *Sigma Teknika*. 2021;4(1):1–8.
- Ningrum DS, Cahyani YD, Nasrulloh MR. Hidroponik Serbaguna Berbasis Internet of Things: HIRARKI. *ITS News*. 2022.
- Prabowo MCA, Janitra AA, Wibowo NM. Sistem monitoring hidroponik berbasis IoT dengan sensor suhu, pH, dan ketinggian air menggunakan ESP8266. *J TecnoScienza*. 2023;7(2). <https://doi.org/10.51158/tecnoscienza.v7i2.894>
- Putra CA, Puspaningrum EY. Pengendalian dan pemantauan air pada sistem hidroponik dengan memanfaatkan Internet of Things (IoT). *Pros Sem Nas Informatika Bela Negara*. 2020. <https://doi.org/10.33005/santika.v1i0.34>
- Putri RE, Khainur A, Andasuryani A. Pengembangan sistem otomatisasi pH larutan nutrisi pada hidroponik sistem DFT (Deep Flow Technique) berbasis IoT. *AgriTECH*. 2023. <https://doi.org/10.22146/agritech.71305>
- Rajendran S, Domalachenpa T, Rajauria G. Hydroponics: Exploring innovative sustainable technologies and applications across crop production, with emphasis on potato mini-tuber cultivation. *Heliyon*. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26823>