



Implementasi Sistem *Monitoring* dan Pengendalian Nutrisi pada Hidroponik Berbasis IoT untuk Optimalisasi Pertumbuhan Tanaman Selada dan Sawi

Proposal Tugas Akhir

**Oleh:
Muhammad Daneoviori Akbar (4212201011)**

**Program Studi Mekatronika
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam**

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : “Implementasi Sistem Monitoring dan Pengendalian Nutrisi pada Hidroponik Berbasis IoT untuk Optimalisasi Pertumbuhan Tanaman Selada dan Sawi” adalah **hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.** Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 17 Desember 2025



A handwritten signature in black ink, appearing to read "Daneoviori Akbar".

Muhammad Daneoviori Akbar
NIM: 4212201011

Lembar Pengesahan

**Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)
di
Politeknik Negeri Batam**

**Oleh:
Muhammad Daneoviori Akbar(4212201011)**

**Tanggal Sidang: Selasa, 20 Januari 2026
Disetujui oleh :**

**1. Fitriyanti Nakul, S.Pd., M.Si.
NIK: 122297**



**1. Muhammad Naufal Airlangga
Diputra, S.Pd., M.P.H.
NIK:122281**



**2. Fadli Firdaus, S.Pd., M.Pd.
NIK: 122271**



Kata Pengantar

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan kesempatan, kesehatan, kesabaran dan kejernihan pikiran kepada penulis untuk bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan tepat waktu. Dan tak lupa sholawat serta salam kepada Nabi Besar Muhammad SAW. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik pada Jurusan Elektro Program Studi Mekatronika di Politeknik Negeri Batam. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa keberhasilan penyelesaian tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Muhammad Naufal Airlangga Diputra, S.Pd., M.P.H selaku dosen pembimbing saya yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta motivasi selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Diono, S.Tr.T selaku ketua Program Studi Mekatronika dan seluruh dosen Program Studi Mekatronika yang telah memberikan ilmu dan wawasan kepada penulis selama masa kuliah.
3. Bapak Oktaviori, S.T dan Ibu Fenny Novia Firstiyani A. Md.T selaku kedua orang tua penulis yang selalu memberikan kasih sayang, nasehat, motivasi, memenuhi segala kebutuhan penulis, dukungan serta Doa yang tiada henti kepada anak pertamanya.
4. Rekan seperjuangan Program Studi Teknik Mekatronika yang telah mendukung, membantu, memberikan kebersamaan, saling menguatkan dan bersedia menjadi tempat bertukar pikiran bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
5. Rekan penulis, Muhammad Luqman Prasetyo Nugroho yang telah memberikan bimbingan dan masukan terhadap penulis untuk kelancaran dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman di Kedai Lawasan yang telah menemani, memberikan semangat, serta menjadi tempat berbagi cerita dan melepas penat selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Seluruh teman-teman penulis yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah kebersamai penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Dukungan, semangat, kebersamaan, serta diskusi yang terjalin, baik secara langsung maupun tidak langsung, telah memberikan motivasi dan kekuatan tersendiri bagi penulis dalam menghadapi berbagai tantangan dan hambatan. Kehadiran para kawan tidak hanya membantu dalam proses akademik, tetapi juga menjadi sumber dorongan moral yang sangat berarti hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi penyempurnaan di masa mendatang. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi bagi pengembangan sistem hidroponik berbasis teknologi IoT.

Batam, 17 Desember 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Dane' with a stylized flourish at the end.

Muhammad Daneoviori Akbar

Implementasi Sistem *Monitoring* dan Pengendalian Nutrisi pada Hidroponik Berbasis IoT untuk Optimalisasi Pertumbuhan Tanaman Selada dan Sawi

Abstrak

Permasalahan utama pada budidaya hidroponik adalah sulitnya melakukan *monitoring* dan pengendalian nutrisi secara real-time, yang berpotensi menimbulkan ketidakseimbangan pH dan konsentrasi nutrisi sehingga mengganggu pertumbuhan tanaman. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem *monitoring* dan pengendalian nutrisi hidroponik berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32, sensor pH, dan sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) dengan metode logika fuzzy Mamdani sebagai pengambil keputusan otomatis. Sistem dibatasi pada pengujian skala kecil dengan jenis tanaman selada (*Lactuca sativa*) dan sawi (*Brassica juncea*), serta fokus pada parameter nutrisi dan pH larutan. Pengujian dilakukan selama 7 hari untuk menganalisis kestabilan sistem, akurasi sensor, dan hasil pertumbuhan tanaman. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu bekerja stabil dengan tingkat keberhasilan sistem sebesar 100% tanpa kegagalan fungsi, serta tingkat error pembacaan sensor pH dan TDS kurang dari 2% dibandingkan alat ukur standar. Nilai TDS berada pada rentang 601–876 ppm dan pH pada rentang 5,77–5,81 yang masih sesuai untuk hidroponik. Dari 16 tanaman yang diuji, 10 tanaman tumbuh dengan baik dengan tingkat keberhasilan pertumbuhan sebesar 62,5%, sementara kegagalan dipengaruhi faktor lingkungan eksternal seperti intensitas cahaya dan curah hujan. Berdasarkan hasil tersebut, sistem terbukti efektif, akurat, dan layak digunakan sebagai solusi *monitoring* dan pengendalian nutrisi hidroponik berbasis IoT.

Kata kunci: Sistem hidroponik, *monitoring* dan pengendalian nutrisi, logika fuzzy Mamdani, sensor pH dan TDS, ESP32, Internet of Things (IoT).

Implementation of IoT-Based Nutrient Monitoring and Control System for Optimizing the Growth of Lettuce and Mustard Plants in Hydroponics

Abstract

*The main challenge in hydroponic cultivation is the difficulty of real-time nutrient monitoring and control, which can cause pH and nutrient concentration imbalances and negatively affect plant growth. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based hydroponic nutrient monitoring and control system using an ESP32 microcontroller, pH sensor, and Total Dissolved Solids (TDS) sensor, with Mamdani fuzzy logic applied as an automatic decision-making method. The system is limited to small-scale testing on lettuce (*Lactuca sativa*) and mustard greens (*Brassica juncea*) and focuses on nutrient concentration and pH parameters. System testing was conducted for 7 days to evaluate stability, sensor accuracy, and plant growth performance. The results indicate that the system operated stably with a 100% functional success rate and achieved sensor measurement errors of less than 2% compared to standard instruments. TDS values ranged from 601 to 876 ppm and pH values ranged from 5.77 to 5.81, which are suitable for hydroponic cultivation. Out of 16 tested plants, 10 grew successfully, resulting in a growth success rate of 62.5%, while failures were mainly caused by external environmental factors such as insufficient light and high rainfall. These results demonstrate that the proposed system is effective, accurate, and feasible as an IoT-based solution for hydroponic nutrient monitoring and control.*

Keywords: Hydroponic system, nutrient monitoring and control, Mamdani fuzzy logic, pH and TDS sensors, ESP32, Internet of Things (IoT).

Daftar Isi

.....	1
Pernyataan Keaslian Tugas Akhir.....	1
Lembar Pengesahan.....	2
Kata Pengantar.....	3
Abstrak.....	5
<i>Abstract</i>	6
Daftar Isi	7
Daftar Gambar.....	11
Daftar Tabel.....	12
Bab 1. Pendahuluan	13
1.1. Latar Belakang.....	13
1.2. Rumusan Masalah.....	14
1.3. Tujuan.....	14
1.4. Manfaat	15
1.5. Batasan	15
Bab 2. Tinjauan Pustaka.....	16
2.1. Penelitian Terkait	16
2.2. Landasan Teori.....	18
2.2.1. Hidroponik.....	18
2.2.2. Faktor Lingkungan & Nutrisi.....	18
2.2.3. IoT (<i>Internet of Things</i>)	18
2.2.4. Sistem <i>Web Base</i>	19
2.2.5. Sensor & Mikrokontroler	19
2.3. Teknologi yang Digunakan.....	19
2.3.1. ESP32	19
2.3.2. Sensor TDS (<i>Total Dissolved Solids</i>).....	20
2.3.4. Sensor pH (SEN0161)	20
2.3.5. RDBMS (<i>Relational data base management system</i>).....	20

2.3.6. Fuzzy	21
2.3.7. Pompa Air Dc.....	21
Bab 3. Metodologi Penelitian	22
3.1. Perancangan Penelitian	22
3.2. Perancangan Sistem Perangkat Lunak ESP32	23
3.2.1 Mengaktifkan ESP32	23
3.2.2. API (Get_Relay)	24
3.2.3. Pembacaan sensor data TDS dan pH	24
3.2.5. Pengendalian Aktuator	25
3.2.7. Pengolahan data sensor oleh ESP32	27
3.2.8. API (save_data)	28
3.3. Perancangan Sistem Perangkat <i>Web Base</i>	28
3.3.1. Pengiriman data ke server API(Get_Data)	29
3.3.2. Parameter Data	29
3.3.3. Visualisasi <i>Web</i>	30
3.3.4. Penentuan Mode Kontrol/Operasi.....	30
3.3.5. Pengiriman API get_relay	31
3.4. Metode Fuzzy	31
3.4.5. Defuzzifikasi	33
3.4.6. Evaluasi Kondisi Sistem	34
3.5. Perancangan Desain Mekanikal	34
3.5.1. Panel Box	35
3.5.2. Wadah Cairan Penurun pH	35
3.5.3. Wadah Penurun Nutrisi	35
3.5.4. Wadah Air Biasa	36
3.6. Penanganan Gangguan Sistem	36
3.7. Alat dan Bahan	36
3.8. Pengujian	37
3.8.1. Pengujian Sensor TDS dan pH	37

3.8.2. Pengujian Logika Fuzzy	37
3.8.3. Pengujian Sistem <i>Monitoring</i> dan Kontrol <i>Web</i>	38
3.8.4. Analisis Ketepatan <i>Monitoring</i> dan Pengendalian	38
3.8.5. Kalibrasi Sensor	39
Bab 4. Hasil dan Pembahasan.....	39
4.1. Hasil Implementasi Sistem.....	39
4.1.1 Hasil Perakitan Rangkaian Elektrikal	40
4.1.2 Hasil Integrasi Sistem dengan Dashboard <i>Web</i>	42
4.2. Hasil Pengujian Sistem	43
4.2.1. Pengujian Data Sensor TDS dan pH.....	44
4.2.2. Status Fuzzy.....	44
4.2.3. Automode	44
4.2.4. Mode Manual.....	45
4.3. Analisis Hasil Pengujian	46
4.3.1. Akurasi Sensor.....	46
4.3.2. Analisis Kinerja Fuzzy	47
4.3.3. Perbandingan Manual vs Otomatis.....	47
4.3.4. Kesesuaian dengan Kebutuhan Tanaman.....	47
4.4. Pembahasan Teknis Sistem	48
4.4.1. Kecepatan Respon	48
4.4.2. Faktor Pengaruh Sensor	48
4.4.3. Evaluasi Kelemahan	48
4.4.4. Potensi Pengembangan	49
4.4.5 Perbandingan Hasil Pengujian dengan Penelitian Sebelumnya.....	49
4.4.6 Analisis Mekanisme Kerja Sistem	50
4.4.7 Analisis Perubahan Tegangan pada Kondisi Lingkungan Berubah.....	51
4.5. Ringkasan Hasil Penelitian	52
BAB 5. Kesimpulan dan Saran.....	52
5.1. Kesimpulan	52

5.2. Saran.....	53
Daftar Pustaka.....	54
Lampiran.....	56
BIODATA	62

Daftar Gambar

Gambar 1. Gambar ESP32	19
Gambar 2. Gambar Sensor TDS	20
Gambar 3. Gambar Sensor pH	20
Gambar 4. Gambar Pompa Air.....	21
Gambar 5. Flowchart Perancangan Penelitian	22
Gambar 6. Flowchart Perancangan Sistem	23
Gambar 7. Konfigurasi Pin Bagian Sensor	25
Gambar 8. Konfigurasi Pin Bagian Aktuator	26
Gambar 9. Konfigurasi Pin Bagian <i>Monitoring</i>	27
Gambar 10. Perancangan Desain Mekanikal.....	28
Gambar 11. Flowchart <i>Monitoring</i> dan Kontrol <i>Real-time</i>	29
Gambar 12. <i>Membership Function Input</i> TDS	32
Gambar 13. <i>Membership Function Input</i> pH.....	33
Gambar 14. <i>Membership Function Output</i> TDS dan pH.....	33
Gambar 15. Perancangan Desain Mekanikal.....	35
Gambar 16. Panel Elektrikal	40
Gambar 17. Pemasangan sensor TDS dan pH	41
Gambar 18. Instalasi Relay dan Pompa.....	42
Gambar 19. Hasil Akhir Rangkaian.....	42
Gambar 20. Tampilan Dashboard Utama.....	43
Gambar 21. Tampilan History Data.....	43
Gambar 22. Tampilan Dashboard Automode.....	45
Gambar 20. Tampilan History Data Automode	45
Gambar 24. Tampilan Dashboard Mode Manual	46
Gambar 22. Tampilan History Data Mode Manual	46

Daftar Tabel

Tabel 1. Penelitian Terkait Terdahulu	16
Tabel 2. Konfigurasi Pin Bagian Sensor	25
Tabel 3. Konfigurasi Pin Bagian Aktuator	26
Tabel 4. Konfigurasi Pin Bagian <i>Monitoring</i>	27
Tabel 5. Aturan Fuzzy	31
Tabel 6. Estimasi biaya	36
Tabel 7. Pengujian Sensor TDS dan pH	37
Tabel 8. Pengujian Logika Fuzzy	38
Tabel 9. Pengujian Sistem <i>Monitoring</i> dan Kontrol <i>Web</i>	38
Tabel 10. Analisis Ketepatan <i>Monitoring</i> dan Pengendalian pH	39
Tabel 11. Analisis Ketepatan <i>Monitoring</i> dan Pengendalian Nutrisi	39
Tabel 12. Hasil Pengujian Sistem	43
Tabel 13. Perbandingan Hasil Pengujian.....	49
Tabel 14. Tabel Perbandingan Nilai Tegangan	51

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Hidroponik adalah budidaya tanaman dengan hanya memanfaatkan air tanpa menggunakan tanah. Prioritasnya adalah pemenuhan kebutuhan nutrisi tanaman. Air yang dibutuhkan dalam penanaman hidroponik tentunya lebih sedikit dari kebutuhan air dalam budidaya tanaman dengan tanah [1]. Di era yang semakin modern ini masyarakat semakin sadar bahwa kebutuhan sayuran harus terpenuhi agar keseimbangan nutrisi tubuh dapat tercukupi dengan baik. *Urban Farming* (Pertanian Perkotaan) juga semakin populer di daerah perkotaan yang padat penduduk [2].

NFT (*Nutrient Film Technique*) adalah sistem hidroponik dengan akar tanaman terendam dalam air/nutrisi. NFT mempunyai kelebihan yaitu air akan mengurangi jumlah oksigen, oleh sebab itu lapisan nutrisi dalam system NFT dibuat maksimal tinggi larutan 1-2 cm , sehingga kebutuhan nutrisi dan oksigen dapat terpenuhi. Kelemahan dari metode NFT ini jika pasokan air kurang atau tidak tersirkulasi maka air akan habis tidak tersisa, sehingga kebutuhan nutrisi pada tanaman terhambat [3]. Agar sayuran dapat tumbuh sempurna, dibutuhkan juga nutrisi hidroponik berupa AB Mix yang mengandung unsur hara makro dan mikro yang penting untuk memenuhi kebutuhan nutrisi pada pertumbuhan tanaman [4]. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Fuad Syah dalam artikel nya yang berjudul “Pemberian Pupuk Abmix pada Tanaman Pakcoy Putih (*Brassica Rapa L.*) Dengan sistem Hidroponik Rakit Apung”, didapatkan hasil bahwa pemberian konsentrasi AB Mix 1000 ppm merupakan konsentrasi terbaik dari beberapa konsentrasi yang diberikan disebabkan lebih efisien, ekonomis dan menghemat pemakaian larutan nutrisi [5].

Permasalahan lain yang sering muncul dalam budidaya hidroponik adalah sulitnya melakukan *monitoring* dan pengendalian kondisi lingkungan secara *Real-time*. Pengelola kebun hidroponik sering kali harus melakukan pengecekan manual, yang tidak hanya memakan waktu tetapi juga meningkatkan risiko kesalahan dalam pengukuran dan penyesuaian parameter penting seperti suhu, kelembapan udara, serta kadar nutrisi dalam larutan. Jika parameter-parameter ini tidak dijaga dalam rentang optimal, pertumbuhan tanaman bisa terganggu, mengakibatkan penurunan hasil panen atau bahkan kegagalan dalam budidaya.

Penggunaan teknologi IoT menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi tantangan tersebut karena perawatan dapat dilakukan sendiri oleh sistem dan pantauan serta pengendalian terhadap sistem hidroponik dapat dilakukan dimana saja. Hidroponik dapat digunakan untuk mengatasi masalah kekurangan lahan yang semakin tahun semakin sempit. Sistem hidroponik berbasis IoT ini diharapkan dapat membantu petani hidroponik untuk mengontrol dan

memonitoring perkebunan hidroponik mereka dari jarak jauh[6] Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan sistem *monitoring* dan pengendalian nutrisi yang dapat membantu petani atau pengelola dalam mengelola kebun hidroponik secara lebih efektif dan efisien.

Pada proses pemberian nutrisi secara manual, petani sering kali mengandalkan taksiran atau intuisi dalam menentukan volume dan konsentrasi larutan AB Mix yang diberikan. Hal ini berisiko menyebabkan ketidaktepatan dosis, baik berlebihan maupun kekurangan, yang berdampak pada ketidakseimbangan pH serta konsentrasi nutrisi larutan. Berdasarkan studi terdahulu tingkat error akibat metode manual dalam pemberian pupuk dapat mencapai lebih dari 10%, khususnya ketika tidak ada alat ukur yang presisi digunakan. Oleh karena itu, sistem otomatis berbasis IoT dengan sensor pH dan TDS memiliki keunggulan dalam mengurangi human error dan meningkatkan konsistensi pemberian nutrisi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat dirumuskan beberapa permasalahan yang menjadi fokus penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem *monitoring* kebun hidroponik berbasis IoT untuk pengendalian nutrisi secara *real-time*?
2. Bagaimana sistem ini dapat diakses dan dikendalikan melalui *smartphone*?
3. Bagaimana menjamin akurasi dan keandalan sensor dalam membaca parameter nutrisi?

1.3. Tujuan

Penelitian ini dirancang dengan enam tujuan utama yang hendak dicapai, masing-masing mencerminkan arah dan fokus dari keseluruhan proses penelitian, yaitu:

1. Melakukan *monitoring* dan pengendalian dengan sistem *web base* terhadap nutrisi dan pH pada hidroponik untuk tanaman selada (*Lactuca sativa*) dan sawi (*Brassica juncea*).
2. Menjamin akurasi dari sensor nutrisi dan pH dengan pengujian dan analisis menggunakan metode fuzzy.
3. Menjamin akurasi dan keandalan pembacaan sensor pH dan TDS melalui proses kalibrasi, pengujian perbandingan dengan alat ukur standar, serta analisis tingkat error dan akurasi pembacaan sensor.

1.4. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang signifikan bagi berbagai pihak, antara lain:

1. Mempermudah para petani hidroponik memantau nutrisi tanaman selada (*Lactuca sativa*) dan sawi (*Brassica juncea*) secara *real-time*.
2. Pengendalian nutrisi pada tanaman Selada dan sawi secara *real-time* melalui *smartphone*.

1.5. Batasan

Penelitian ini memiliki beberapa batasan yang perlu diperhatikan dan dipahami, yaitu:

1. Fokus pada *monitoring* dan pengendalian Nutrisi
Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini hanya akan memantau dan mengendalikan nutrisi.
2. Skala Pengujian Terbatas
Pengujian efektivitas sistem dalam menjaga kondisi ideal pertumbuhan tanaman hidroponik akan dilakukan pada skala kecil atau terbatas.
3. Jenis Tanaman Terbatas
Penelitian ini hanya akan fokus pada tanaman selada (*Lactuca sativa*) dan sawi (*Brassica juncea*).
4. *Supply* Listrik harus selalu aktif agar hidroponik dapat bekerja.
5. *Output* sistem berupa klasifikasi kondisi larutan nutrisi (Low, Normal, Over), status pompa TDS (ON/OFF), dan status pompa pH (ON/OFF) sebagai bentuk pengendalian koreksi otomatis terhadap kualitas larutan hidroponik.
6. Batas ukur Sensor TDS V1.0 adalah 1000 ppm.
7. Penelitian ini dibatasi oleh faktor penyinaran matahari, karena seluruh proses pertumbuhan tanaman dalam sistem hidroponik yang dikembangkan sangat bergantung pada intensitas cahaya alami yang tersedia.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. Penelitian Terkait

Tabel 1. Penelitian Terkait Terdahulu

No	Tahun	Penulis	Jurnal	Metode	Kelemahan
1	2022	I. Hakim Asy Syidiq et al.	HIDROPONIK UNTUK MENINGKAT KAN EKONOMI KELUARGA	Studi penerapan hidroponik di masyarakat	Tidak membahas aspek teknis secara mendalam
2	202	I. Asmbangn irwana et al.	Pengendalia n Suhu Air Nutrisi Pada Hidroponik NFT Berbasis Fuzzy Logic Controller	Fuzzy Logic Controller	Kompleksit as implementa si tinggi, belum uji lapangan luas
3	2020	Abd. C. Asnawi	METODE HIDROPONIK DFT DAN NFT	Perbandingan metode DFT dan NFT	Tidak mencantum kan analisis kuantitatif yang kuat
4	2021	R. Ramaidani , V. Mardina, M. Al Faraby	BIO-EDU: Jurnal Pendidikan Biologi	Pengaruh AB Mix pada dua jenis sayur	Variabel lingkungan tidak dikontrol secara detail
5	2021	M. Fuad Syah, Arnis En Yulia	PEMBERIAN PUPUK AB MIX PADA TANAMAN PAKCOY PUTIH	Sistem rakit apung	Fokus hanya pada satu jenis tanaman

			DENGAN SISTEM HIDROPONIK RAKIT APUNG		
6	2021	R. Nandika, E. Amrina	Sigma Teknika	Sistem hidroponik berbasis IoT	Fitur <i>monitoring</i> terbatas, tidak ada kontrol otomatis
7	2021	M. Haikal et al.	SOSIALISASI BUDIDAYA SISTEM TANAM HIDROPONIK DAN VELTIKULTU R	Penyuluhan/sosi alisasi	Tidak menyertaka n evaluasi dampak dari sosialisasi
8	2024	V. P. Putri, S. Wahyuni	Pertumbuha n dan Produksi Tiga Varietas Sawi Hidroponik Sistem NFT dengan AB Mix Berbeda	Uji variasi nutrisi AB Mix	Tidak meneliti faktor lain selain konsentrasi nutrisi
9	2024	A. Pratama, S. Alim	Implementa si Sistem <i>Monitoring</i> Lingkungan Pada Budidaya Tanaman Hidroponik Berbasis IoT	IoT untuk <i>monitoring</i> lingkungan	Belum ada integrasi kontrol otomatis

10	2019	Espressif Systems	ESP32 Series Datasheet	Datasheet perangkat (ESP32)	Bukan jurnal ilmiah, hanya spesifikasi teknis
----	------	-------------------	------------------------	-----------------------------	---

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Hidroponik

Hidroponik adalah budidaya pertanian tanpa menggunakan media tanah, sehingga hanya dijalankan dengan menggunakan air sebagai media pengganti tanah. Sehingga sistem bercocok tanam secara hidroponik dapat memanfaatkan lahan yang sempit [7]. Sistem ini memungkinkan kontrol yang lebih presisi terhadap kebutuhan unsur hara, pH, dan kelembaban tanaman. Hidroponik efektif digunakan di lahan terbatas dan menghasilkan pertumbuhan tanaman yang lebih cepat serta efisien dalam penggunaan air dan nutrisi dibanding metode konvensional.

2.2.2. Faktor Lingkungan & Nutrisi

Suhu, kelembapan, nutrisi, dan pH krusial bagi pertumbuhan hidroponik. Kondisi yang tidak ideal dapat menghambat pertumbuhan dan menyebabkan stres pada tanaman.

Parameter pengamatan yaitu tinggi tanaman (cm), jumlah daun (helai), dan Panjang akar (cm) konsentrasi nutrisi AB mix yaitu N =800 ppm (0-7) HST, 1000 ppm (8-14) HST, 1200 ppm (15-33) HST. N adalah Nutrisi (*Nutrient*) dan HST adalah Hari Setelah Tanam [8]. Parameter hidup 1h(*Lactuca sativa*) adalah nilai optimum pH adalah 6,0 – 7,0, nutrisi 560 – 840 ppm [9], dan Parameter hidup sawi (*Brassica juncea*) adalah nilai optimum pH adalah 6,0 – 7,5 , nutrisi 840 – 1400 ppm [10].

2.2.3. IoT (*Internet of Things*)

Konsep IoT menghubungkan perangkat untuk pertukaran data *real-time*. Komponen IoT meliputi sensor, mikrokontroler, modul komunikasi, dan platform IoT. *Internet of Things* adalah teknologi yang memungkinkan benda-benda di sekitar kita terhubung dengan Internet [11]. Dalam konteks sistem *monitoring*, IoT memungkinkan pemantauan dan pengendalian perangkat secara *real-time* dari jarak jauh melalui aplikasi atau server cloud. Teknologi ini meningkatkan efisiensi, akurasi, dan otomatisasi dalam berbagai bidang, termasuk pertanian, industri, dan rumah tangga.

2.2.4. Sistem *Web Base*

Sistem *web base* atau sistem berbasis *web* adalah sistem atau aplikasi yang dijalankan melalui *web browser* dan dapat diakses dari perangkat apa pun yang terhubung ke internet, tanpa perlu instalasi khusus di perangkat pengguna. Sistem ini terhubung ke server secara online dan memungkinkan pengguna untuk melakukan pemantauan, pengendalian, dan pengolahan data secara *real-time*. Kelebihannya meliputi kemudahan akses, fleksibilitas, serta efisiensi dalam manajemen data dan kontrol jarak jauh.

2.2.5. Sensor & Mikrokontroler

Sensor TDS meter digunakan untuk memastikan nutrisi yang optimal, dengan memantau kandungan garam yang larut di air. Sensor TDS meter berfungsi untuk mengukur nutrisi melalui hambatan air [12]. Mikrokontroler berfungsi sebagai otak sistem, yang menerima data dari sensor, memprosesnya, dan mengendalikan aktuator atau mengirimkan data ke sistem lainnya. Kombinasi sensor dan mikrokontroler memungkinkan sistem bekerja secara otomatis dan responsif dalam pemantauan dan pengendalian berbasis IoT.

2.3. Teknologi yang Digunakan

2.3.1. ESP32

ESP32 adalah chip kombo Wi-Fi dan *Bluetooth* 2,4 GHz tunggal yang dirancang dengan teknologi TSMC berdaya rendah 40 nm. Chip ini dirancang untuk mencapai daya dan kinerja RF terbaik, menunjukkan ketahanan, fleksibilitas, dan keandalan dalam berbagai aplikasi dan skenario daya [13]. Adapun alasan untuk memakai ESP32 ini adalah bisa terkoneksi dengan Wi-Fi dan *Bluetooth* ESP32 dilengkapi dengan modul Wi-Fi dan *Bluetooth* terintegrasi yang memungkinkan perangkat terhubung secara langsung ke internet serta perangkat lainnya tanpa memerlukan modul eksternal tambahan. Hampir semua pin GPIO ESP32 bisa dikonfigurasi untuk berbagai fungsi.



Gambar 1. Gambar ESP32

2.3.2. Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*)

Sensor TDS digunakan untuk mendeteksi jumlah partikel padat terlarut dalam air baik organik maupun anorganik atau biasa disebut *Total Dissolved Solids* [14] Sensor TDS akan mendeteksi *turbidity* dan mengirimnya ke mikrokontroler. Pada mikrokontroler data sensor dikondisikan dan diproses menjadi nilai yang lebih berarti, dengan memperbesar keluaran sinyal dan mengubahnya dari nilai analog ke nilai digital [15].



Gambar 2. Gambar Sensor TDS

2.3.4. Sensor pH (SEN0161)

Prinsip kerja dari sensor pH yaitu terdapat pada elektrode referensi dan elektrode kaca yang pada ujungnya berbentuk bulat (bulb) dan berfungsi sebagai tempat terjadinya pertukaran ion positif (H^+), pertukaran ion mengakibatkan adanya beda potensial antara dua elektrode sehingga pembacaan potensiometer menghasilkan positif atau negatif [16]. Ketinggian nilai asam tergantung dari seberapa banyak nilai electron pada sampel.



Gambar 3. Gambar Sensor pH

2.3.5. RDBMS (*Relational data base management system*)

RDBMS (*Relational Database Management System*) adalah sistem manajemen basis data yang menggunakan model data relasional untuk menyimpan dan mengelola data dalam bentuk tabel-tabel yang saling terhubung.

2.3.6. Fuzzy

Logika fuzzy merupakan pengembangan dari logika Boolean yang berkaitan dengan konsep nilai kebenaran. Logika fuzzy mempunyai kondisi antara 0 dan 1, artinya tidak terbatas pada logika 0 atau 1. Istilah logika fuzzy mengacu pada kondisi di mana nilainya terletak antara 0 dan 1 [17].

2.3.7. Pompa Air Dc

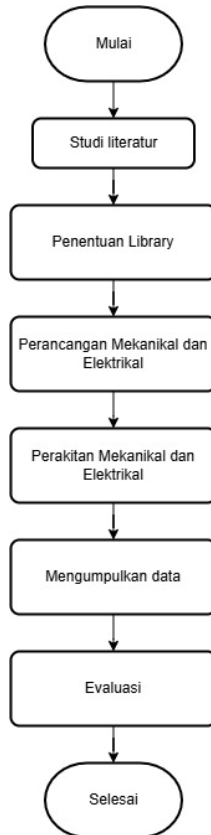
Aktuator pompa air Dc pada sistem hidroponik berfungsi mengalirkan larutan nutrisi dan air secara otomatis sesuai kebutuhan tanaman, dikendalikan oleh mikrokontroler berdasarkan data sensor seperti TDS dan pH. Pompa ini diaktifkan melalui relay yang memastikan aliran nutrisi tepat untuk pertumbuhan optimal tanaman hidroponik. Pompa air celup yang berukuran kecil. Pompa air mini ini biasa digunakan untuk akuarium, kolam ikan, hidroponik, robotika atau proyek dalam pembuatan aplikasi yang berbasis mikrokontroler mini *Submersible Water Pump* menggunakan motor DC brush [18].



Gambar 4. Gambar Pompa Air

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Perancangan Penelitian

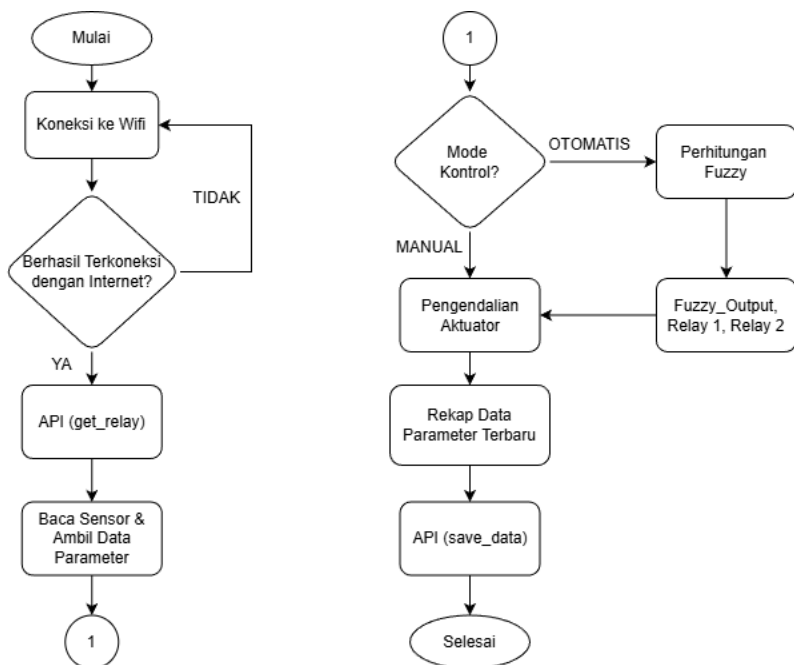


Gambar 5. Flowchart Perancangan Penelitian

Perancangan penelitian ini dimulai dengan studi literatur mengenai hidroponik dan IoT, dilanjutkan dengan pemilihan *library* sensor TDS dan pH. Desain mekanikal dan elektrikal dibuat dan terintegrasi dengan ESP32. Setelah perakitan, sistem diuji untuk membaca dan mengirimkan data secara otomatis. Data dikumpulkan, dianalisis, dan dievaluasi untuk meningkatkan performa dan efektivitas sistem hidroponik.

3.2. Perancangan Sistem Perangkat Lunak ESP32

Flowchart perancangan sistem dibawah menggambarkan alur kerja otomatis sistem hidroponik berbasis IoT yang bertujuan untuk memantau dan mengendalikan kadar nutrisi serta tingkat keasaman (pH) larutan hidroponik secara *real-time*.



Gambar 6. Flowchart Perancangan Sistem

3.2.1 Mengaktifkan ESP32

Tahap awal dimulai dengan mengaktifkan seluruh komponen perangkat keras yang terhubung pada ESP32. Pada tahap ini WSP32 akan melakukan inisialisasi pin input dan *output*, menyiapkan modul ADC untuk pembacaan sensor TDS dan pH, menjalankan Wifi, serta menyiapkan konfigurasi yang diperlukan untuk menjalankan sistem.

3.2.2. API (Get_Relay)

Setelah sistem aktif, ESP32 mengirim permintaan ke server melalui API untuk mengambil informasi berupa mode operasi yang dipilih pengguna dan status relay sebelumnya. Dengan cara ini, ESP32 selalu mengikuti instruksi terbaru yang ditentukan melalui dashboard *web*, sehingga mode sistem dapat dikontrol secara jarak jauh.

3.2.3. Pembacaan sensor data TDS dan pH

Sensor TDS mengukur tingkat nutrisi dalam larutan hidroponik berdasarkan konduktivitas Listrik larutan. Sensor pH mengukur tingkat keasaman atau kebebasan larutan yang sangat berpengaruh terhadap kemampuan tanaman dalam menyerap nutrisi. Kedua sensor ini memberikan input utama berupa data analog atau digital ke ESP32 untuk diproses. Sensor TDS mengeluarkan tegangan analog (V_{TDS}) yang proporsional terhadap konduktivitas. Sensor pH menghasilkan tegangan analog (V_{pH}) yang berkorelasi dengan nilai pH melalui reaksi elektro kimia.

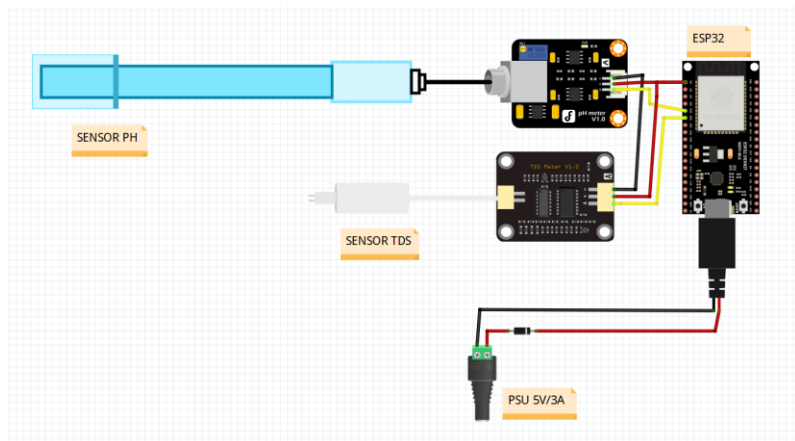
Rumus konversi dasar:

$$TDS(ppm) = K_{TDS} \times V_{TDS} \quad (1)$$

$$pH = m \times V_{pH} + c \quad (2)$$

K_{TDS} : koefisien kalibrasi sensor TDS (ppm/volt)

m dan c : koefisien *slope* dan *intercept* kalibrasi sensor pH, diperoleh dari kalibrasi dengan *buffer* standar (misal pH 4,7, dan 10).



Gambar 7. Konfigurasi Pin Bagian Sensor

Tabel 2. Konfigurasi Pin Bagian Sensor

No	Sensor	Pin	Pin ke Esp32
1	Sensor TDS (Total Dissolved Solid)	VCC	3V3
		GND	GND
		DATA	D35
2	Sensor pH	VCC	3V3
		GND	GND
		DATA	D34

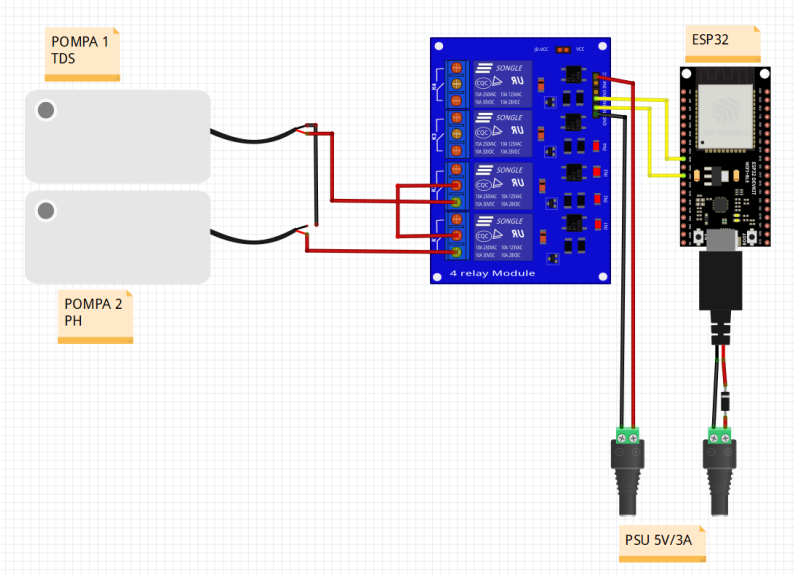
3.2.5. Pengendalian Aktuator

Berdasarkan hasil defuzzifikasi, ESP32 mengaktifkan aktuator koreksi secara otomatis. Pompa TDS akan diaktifkan ketika nilai TDS terdeteksi berlebih untuk menurunkan konsentrasi nutrisi larutan, sedangkan pompa pH akan diaktifkan ketika nilai pH berada pada kondisi basa untuk menurunkan nilai pH larutan ke rentang optimal. Seluruh pengendalian dilakukan secara otomatis berdasarkan keputusan sistem fuzzy.

Logika pengendalian:

Jika $pH > 6.5 \Rightarrow$ Pompa Asam ON

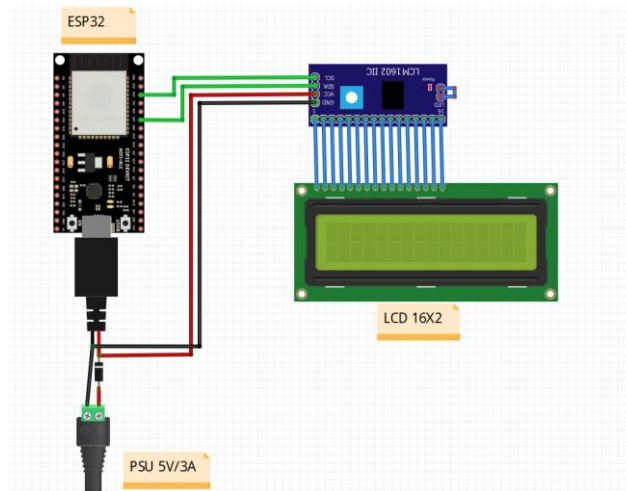
Aktuator dikendalikan melalui *output* GPIO ESP32 yang terhubung ke relay atau *driver* pompa.



Gambar 8. Konfigurasi Pin Bagian Aktuator

Tabel 3. Konfigurasi Pin Bagian Aktuator

No	Aktuator	Pin	Pin ke ESP32
1	Relay channel (solenoid valve)	GND	GND
		IN1	27
		IN2	25
		IN3	-
		IN4	-
		VCC	VCC



Gambar 9. Konfigurasi Pin Bagian Monitoring

Tabel 4. Konfigurasi Pin Bagian Monitoring

Pin 12c LCD 16x2	Pin ke Esp32
GND	GND
VCC	5V
SDA	21
SCL	22

3.2.7. Pengolahan data sensor oleh ESP32

ESP32 sebagai mikrokontroler utama akan membaca tegangan analog dari sensor menggunakan ADC (*Analog-to-Digital Converter*) 12-bit. Nilai ADC ADC_{valve} kemudian dikonversikan ke tegangan.

$$V = \frac{ADC_{valve}}{4095} \times V_{ref} \quad (3)$$

V_{ref} : Tegangan referensi ADC

Contoh penghitungan TDS:

$$TDS(ppm) = K_{TDS} \times V_{TDS} \quad (4)$$

Contoh penghitungan pH:

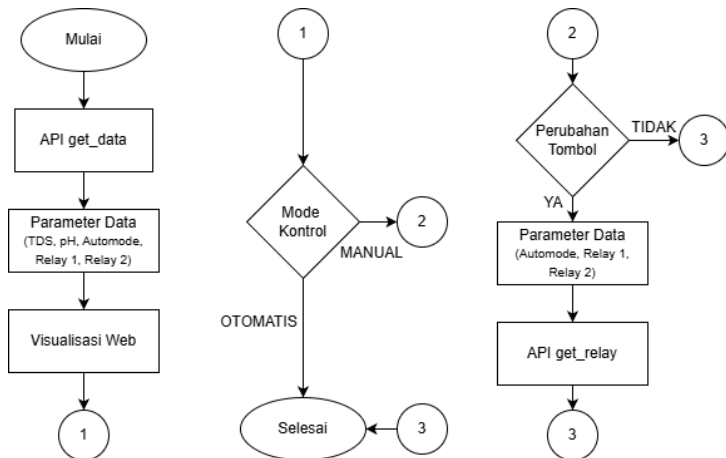
$$pH = m \times V_{pH} + c \quad (5)$$

3.2.8. API (save_data)

API *save_data* merupakan titik akhir (*endpoint*) pada server yang berfungsi sebagai jembatan komunikasi antara perangkat keras (mikrokontroler/Node MCU) dengan basis data sistem. Fungsi utama API ini adalah menerima data sensor *real-time* dan status aktuator, memvalidasinya, dan menyimpannya secara permanen ke dalam basis data.

3.3. Perancangan Sistem Perangkat Web Base

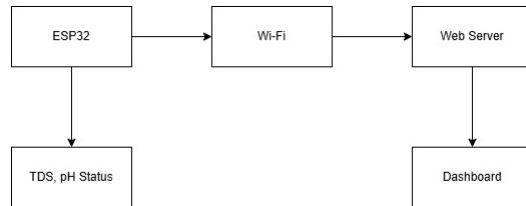
Sistem perangkat ini yang menghubungkan ESP32 ke *Web Base* untuk proses transfer data



Gambar 10. Perancangan Desain Mekanikal

3.3.1. Pengiriman data ke server API(Get_Data)

Setelah proses kontrol selesai, ESP32 mengirimkan data terbaru ke server. Data yang dikirim meliputi nilai TDS, nilai pH, status aktuator(relay *ON/off*), mode operasi aktif, dan waktu pemutakhiran. Data dikirim secara periodik sehingga pengguna dapat memantau kondisi hidroponik secara *real-time* melalui dashboard *web*.



Gambar 11. Flowchart Monitoring dan Kontrol Real-time

Setelah proses akuisisi dan pengolahan data sensor oleh ESP32 selesai, data mencakup nilai TDS, pH, dan status aktuator akan dikemas dalam ornat digital untuk dikirim ke *web server*. Pengiriman data dilakukan melalui koneksi Wi-Fi menggunakan protokol komunikasi HTTP. Data hasil pengukuran dan status control dikemas dalam format JSON (*JavaScript Object Notation*) dan dikirim melalui protocol HTTP melalui koneksi Wi-Fi ESP32 ke *web server*. Proses pengiriman dilakukan secara periodik (misal setiap 2 menit) atau berdasarkan perubahan signifikan data.

Melalui antarmuka *web* berbasis *dashboard*, pengguna dapat memantu parameter secara *Real-time*, seperti nilai TDS (ppm), nilai pH, dan status pompa nutrisi dan pompa koreksi pH (asam/basa). Informasi ini diperbarui secara berkala melalui koneksi Wi-Fi dari mikrokontroler ESP32 ke *web server*.

Penyajian data secara *real-time* ini memudahkan pengguna dalam mengamatikondisi larutan nutrisi tanpa perlu nelakukan pengukuran secara manual. Data yang di tampilkan dalam bentuk angka dan visualisasi grafis membuat interpretasi lebih cepat danintuitif. Dengan demikian, pengguna dapat langsung mengetahui perubahan kondisi yang terjadi didalam sistem hidroponik. Kemudahan *monitoring* ini menjadi bagian penting dalam menjaga kestabilan lingkungan tumbuh tanaman. Pemantauan yang akurat dan berkelanjutan.

3.3.2. Parameter Data

Setelah data berhasil diambil, data tersebut diproses menjadi parameter utama yang dibutuhkan oleh sistem. Parameter ini menjadi basis untuk *monitoring* dan penentuan alur kendali selanjutnya. Data yang diproses meliputi:

- TDS dan pH: Nilai aktual yang terukur oleh sensor kualitas air. Ini adalah data *monitoring* utama.
- Automode: Status mode kontrol yang sedang aktif (Otomatis atau Manual).
- Relay 1 dan Relay 2: Status aktuator saat ini (ON atau OFF).

Untuk menjaga kestabilan sistem dan mencegah pengambilan keputusan yang tidak valid, sistem fuzzy diberikan batas kerja (*system boundary*). Nilai input TDS dan pH hanya diproses oleh sistem fuzzy apabila berada dalam rentang kerja sensor dan rentang kebutuhan tanaman hidroponik. Nilai di luar batas minimum dan maksimum sensor tidak diproses lebih lanjut oleh sistem fuzzy dan dianggap sebagai data tidak valid. Pembatasan ini bertujuan untuk mencegah sistem melakukan aksi kendali yang berlebihan (*over-control*) dan menjaga keamanan sistem hidroponik.

3.3.3. Visualisasi Web

Data yang telah diproses kemudian ditampilkan secara *real-time* pada platform *Web*. Tujuannya adalah memberikan antarmuka pemantauan yang memungkinkan pengguna melihat kondisi kualitas air (TDS dan pH) dan status sistem (Automode, Relay 1, Relay 2) secara langsung.

3.3.4. Penentuan Mode Kontrol/Operasi

Setelah membaca nilai sensor, sistem masuk pada proses pemilihan mode operasi. Mode ini ditentukan dari data API(*get_relay*) yang dikirim oleh server, yaitu:

3.3.4.1. Mode Manual

Pada mode manual, seluruh pengendalian aktuator dilakukan langsung oleh pengguna melalui dashboard *web*. Mode ini cocok digunakan apabila pengguna ingin menguji pompa, melakukan perawatan, atau mengatur sistem secara manual.

3.3.4.2. Mode Automode

Pada mode automode, ESP32 mengolah nilai sensor menggunakan logika fuzzy untuk menghasilkan *Fuzzy_Output*, Aktivitas Relay 1 dan 2). Semua keputusan kontrol dilakukan otomatis berdasarkan kondisi aktual TDS dan pH.

3.3.5. Pengiriman API get_relay

Ini adalah fungsi krusial untuk mengirimkan perintah kontrol baru ke perangkat keras. API `get_relay` berfungsi sebagai instruksi eksekusi yang membawa status Relay 1 dan Relay 2 yang baru diatur pengguna ke mikrokontroler.

3.4. Metode Fuzzy

Dalam penelitian ini, logika fuzzy digunakan untuk membantu pengendalian otomatis pada sistem hidroponik berbasis IoT, khususnya dalam mengklasifikasikan kondisi larutan nutrisi dan menghasilkan keputusan kendali koreksi otomatis terhadap kualitas larutan. Sistem fuzzy digunakan untuk menentukan status kondisi larutan nutrisi (Low, Normal, Over) dan pH (Asam, Netral, Basa), serta mengaktifkan aktuatur berupa pompa TDS untuk menurunkan kadar TDS dan pompa pH untuk menurunkan nilai pH larutan.

3.4.1. Sistem Fuzzy

Metode yang digunakan adalah Mamdani FIS (*Fuzzy Inference System*), yang terdiri dari fuzzifikasi yang mana mengubah nilai input (pH dan TDS) menjadi himpunan fuzzy. *Rule base* yang mana kumpulan aturan *IF-THEN* yang ditentukan berdasarkan pengetahuan agronomi. Inferensi fuzzy yang mana proses menentukan hasil fuzzy dari aturan. Serta defuzzifikasi untuk menghasilkan *output* yang dapat digunakan oleh sistem kendali. Contoh aturan fuzzy dalam sistem ini:

Tabel 5. Aturan Fuzzy

Nilai TDS	Nilai pH	Pompa TDS	Pompa pH
Over	Netral	ON	OFF
Normal	Basa	OFF	ON
Over	Basa	ON	ON
Normal	Netral	OFF	OFF

3.4.2. Parameter Input dan Output Fuzzy

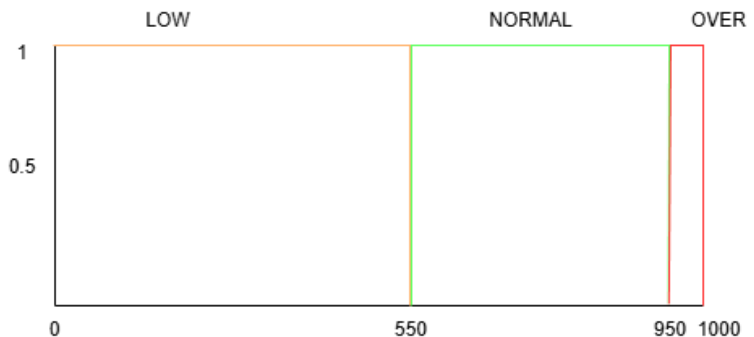
Parameter input pada sistem fuzzy terdiri dari dua variabel utama, yaitu nilai TDS (Total Dissolved Solids) dan nilai pH larutan nutrisi. Kedua parameter ini diperoleh secara real-time dari sensor TDS dan sensor pH, kemudian digunakan sebagai input utama dalam sistem pengambilan keputusan berbasis logika fuzzy. Nilai TDS merepresentasikan konsentrasi nutrisi dalam larutan, sedangkan nilai pH merepresentasikan tingkat keasaman larutan yang memengaruhi kemampuan tanaman dalam menyerap nutrisi.

Output dari sistem fuzzy berupa klasifikasi kondisi larutan nutrisi, yaitu status *Low*, *Normal*, dan *Over*. Status tersebut kemudian diterjemahkan menjadi keputusan kendali sistem dalam bentuk aktivasi aktuator. Sistem menggunakan dua aktuator utama, yaitu pompa TDS yang berfungsi untuk menurunkan kadar kekeruhan atau konsentrasi nutrisi larutan, serta pompa pH yang berfungsi untuk menurunkan nilai pH larutan. Keputusan aktivasi pompa dilakukan secara otomatis berdasarkan hasil inferensi fuzzy yang dihasilkan oleh sistem.

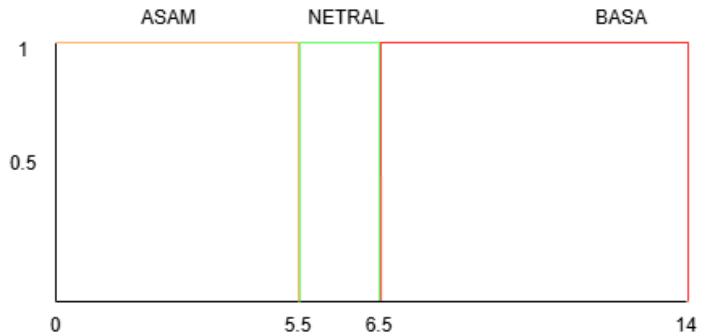
3.4.3. Membership Function

Nilai input TDS dibagi ke dalam tiga himpunan fuzzy, yaitu *Low*, *Normal*, dan *Over*. Himpunan *Low* merepresentasikan kondisi kekurangan nutrisi, *Normal* merepresentasikan kondisi nutrisi optimal bagi pertumbuhan tanaman, dan *Over* merepresentasikan kondisi kelebihan nutrisi yang berpotensi mengganggu sistem perakaran tanaman. Pembagian ini bertujuan agar sistem fuzzy mampu mengklasifikasikan kondisi larutan nutrisi secara adaptif dan bertahap, bukan secara diskrit. Setiap himpunan fuzzy direpresentasikan menggunakan fungsi keanggotaan Gaussian untuk menghasilkan transisi nilai yang halus dan menghindari perubahan keputusan yang bersifat ekstrem.

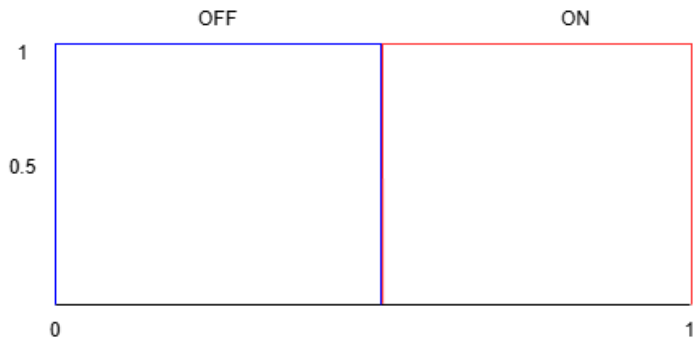
Nilai input pH dibagi ke dalam tiga himpunan fuzzy, yaitu *Asam*, *Netral*, dan *Basa*. Himpunan *Asam* menunjukkan kondisi larutan dengan tingkat keasaman tinggi, *Netral* menunjukkan kondisi optimal untuk penyerapan nutrisi tanaman, dan *Basa* menunjukkan kondisi larutan yang bersifat alkalis. Pembagian ini memungkinkan sistem fuzzy mengenali perubahan kondisi pH secara gradual sehingga sistem tidak memberikan respon yang mendadak terhadap fluktuasi kecil nilai pH. Fungsi keanggotaan Gaussian digunakan untuk menjaga kestabilan respon sistem.



Gambar 12. Membership Function Input TDS



Gambar 13. Membership Function Input pH



Gambar 14. Membership Function Output TDS dan pH

Bentuk kurva dari fungsi Gaussian ditentukan oleh pusat mean dan standar deviasi. Adapun persamaan untuk kurva fungsi keanggotaan Gaussian ($G(u)$) sebagai berikut:

$$G(u) = e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-\mu}{\sigma})^2} \quad (6)$$

3.4.5. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan tahap akhir dalam sistem fuzzy yang berfungsi untuk mengubah *output* fuzzy menjadi nilai tegas (*crisp*) yang dapat digunakan

sebagai dasar pengambilan keputusan kendali sistem. *Output* fuzzy hasil proses inferensi tidak dapat langsung digunakan oleh mikrokontroler, sehingga diperlukan konversi ke nilai numerik.

Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode centroid (*center of gravity*), yang menentukan nilai keluaran berdasarkan titik pusat massa dari kurva fungsi keanggotaan *output* fuzzy. Metode ini dipilih karena menghasilkan *output* yang stabil dan representatif terhadap keseluruhan distribusi nilai fuzzy.

Nilai crisp hasil defuzzifikasi digunakan sebagai dasar keputusan aktivasi atau deaktivasi aktuator, yaitu pompa TDS dan pompa pH, sehingga menghubungkan sistem pengambilan keputusan fuzzy dengan sistem kendali fisik. Proses ini membentuk sistem kendali tertutup (*closed-loop*) yang memungkinkan sistem merespons perubahan kondisi larutan secara otomatis dan terkontrol.

Defuzzifikasi menggunakan metode *centroid*:

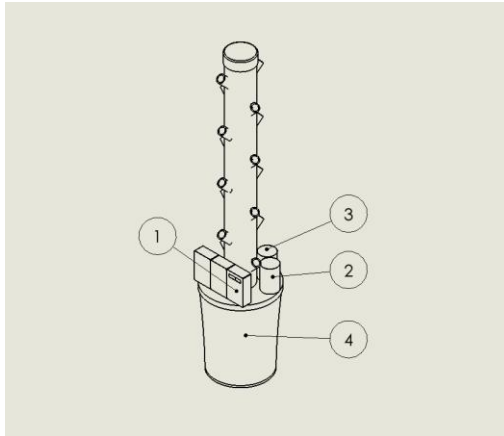
$$z_{COA} = \frac{\int_z \mu_A(z)zdz}{\int_z \mu_A(z)dz} \quad (7)$$

3.4.6. Evaluasi Kondisi Sistem

Logika fuzzy digunakan untuk mengevaluasi nilai TDS dan pH. Sistem akan membandingkan hasil pembacaan dengan batas normal (TDS 500–1400 ppm, pH 6.0–7.5) dan memperhitungkan toleransi sebesar $\pm 5\%$. Berdasarkan hasil tersebut, sistem menentukan apakah kondisi cairan termasuk “normal” atau “tidak normal”.

3.5. Perancangan Desain Mekanikal

Pada sistem *monitoring* dan pengendalian nutrisi hidroponik ini, dirancang struktur fisik yang terdiri dari beberapa komponen utama. Desain mekanikal ini mencakup posisi dan tata letak wadah, panel, serta sensor yang digunakan untuk mengoptimalkan fungsi sistem. Desain fisik alat sebagai berikut:



Gambar 15. Perancangan Desain Mekanikal

Gambar tersebut menunjukkan susunan fisik dari alat yang dirancang, mulai dari panel box, wadah nutrisi, hingga sistem aliran cairan. Masing-masing komponen diberi nomor untuk memudahkan identifikasi. Berikut ini adalah penjelasan detail mengenai fungsi dari setiap komponen berdasarkan penomoran yang tertera pada gambar:

3.5.1. Panel Box

Panel box merupakan tempat seluruh rangkaian elektrikal ditempatkan. Di dalamnya terdapat mikrokontroler, driver relay, dan rangkaian koneksi ke pompa serta sensor. Panel ini melindungi perangkat dari gangguan luar dan menyusun sistem menjadi lebih rapi dan aman.

3.5.2. Wadah Cairan Penurun pH

Wadah ini berfungsi menyimpan cairan penurun pH. Di dalamnya terdapat pompa air yang akan mengalirkan cairan ke sistem hidroponik saat sistem mendeteksi pH terlalu tinggi.

3.5.3. Wadah Penurun Nutrisi

Wadah penurun nutrisi merupakan komponen yang berfungsi untuk menurunkan kadar TDS (Total Dissolved Solids) pada larutan nutrisi utama ketika nilai TDS terdeteksi melebihi ambang batas optimal. Wadah ini berisi air keran dengan kisaran TDS alami sekitar 120–220 ppm, sehingga cocok digunakan sebagai media pengencer larutan nutrisi yang terlalu pekat.

Ketika sensor TDS pada bak utama membaca nilai di atas 950 ppm, sistem kontrol akan mengaktifkan pompa pada wadah penurun nutrisi. Air dari wadah ini kemudian dialirkan ke bak utama untuk menurunkan konsentrasi larutan melalui proses pengenceran otomatis.

3.5.4. Wadah Air Biasa

Wadah ini digunakan untuk menampung air biasa atau air sisa hasil sirkulasi sistem. Air ini bisa digunakan ulang atau dibuang tergantung kondisi larutan.

Desain mekanikal ini disusun dengan mempertimbangkan efisiensi ruang, fungsionalitas sistem, dan kemudahan dalam perawatan. Dengan tata letak yang terorganisir, sistem diharapkan dapat beroperasi secara stabil dan mendukung *monitoring* serta pengendalian nutrisi secara optimal. Ke depannya, desain ini masih dapat dikembangkan lebih lanjut untuk skala yang lebih besar atau integrasi dengan sistem otomatisasi tambahan.

3.6. Penanganan Gangguan Sistem

Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat pengolah data yang menerima input dari sensor pH dan TDS serta mengatur aktuator berupa pompa nutrisi dan pompa penurun pH. Data hasil pembacaan akan dikirimkan ke platform IoT untuk ditampilkan secara real time.

Untuk mengatasi kondisi ketika jaringan WiFi terputus, sistem tetap dirancang untuk dapat beroperasi secara lokal. ESP32 akan tetap membaca sensor dan mengendalikan pompa berdasarkan logika fuzzy yang sudah ditanam di dalam program. Data pembacaan akan disimpan sementara di memori internal, dan akan disinkronisasi kembali ke platform cloud setelah koneksi internet kembali tersedia. Dengan metode ini, sistem tetap berjalan stabil dan data tidak hilang.

3.7. Alat dan Bahan

Tabel 6. Estimasi biaya

No.	Alat/bahan	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah	Total (Rp.)	Keterangan
1	ESP32	64.000	1	64.000	
2	Sensor TDS	229.000	1	229.000	
3	Sensor pH	220.000	1	220.000	
4	Pompa Air AC 220V	150.000	3	150.000	
5	Pompa Air DC 5V	20.000	2	40.000	
5	Relay 5V 4 Channel	21.900	1	21.900	
6	LCD <i>Display Module</i>	29.000	1	29.000	
7	Set hidroponik	450.000	1	450.000	

	Total			1.423.000	

3.8. Pengujian

Pengujian dilakukan untuk memastikan sistem *monitoring* dan pengendalian nutrisi berbasis IoT dapat berfungsi sesuai dengan yang dirancang. Pengujian ini meliputi validasi pembacaan sensor, keakuratan *output* fuzzy, dan kestabilan sistem *monitoring real-time* berbasis *web*.

Pada proses pemberian nutrisi secara manual, petani umumnya mengandalkan taksiran visual atau intuisi dalam mencampur larutan dan menentukan volumenya. Cara ini rentan terhadap ketidaktepatan dosis, baik dalam jumlah maupun konsentrasi nutrisi yang diberikan. Kesalahan tersebut dapat menyebabkan ketidakseimbangan pH dan nutrisi dalam larutan hidroponik, yang pada akhirnya memengaruhi pertumbuhan tanaman. Selain itu, tanpa alat ukur yang presisi, besar kemungkinan terjadi variasi pemberian pupuk setiap harinya. Oleh karena itu, sistem otomatis berbasis sensor dan IoT menjadi solusi penting untuk mengurangi ketergantungan pada manusia dan meningkatkan konsistensi serta efisiensi dalam proses pemupukan.

3.8.1. Pengujian Sensor TDS dan pH

Apengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor dengan alat ukur TDS meter dan pH meter dalam berbagai larutan AB Mix dengan konstentrasi yang berbeda.

Tabel 7. Pengujian Sensor TDS dan pH

No	Konsentrasi AB Mix (ppm)	pH Aktual	TDS Sensor (pm)	TDS Alat Ukur	pH sensor	pH Alat Ukur	Error(%)
1	600	5.7	623	600	5.7	5.8	<2%
2	750	6.0	782	750	6.1	6.1	<2%
3	900	6.3	919	900	6.4	6.4	<2%

3.8.2. Pengujian Logika Fuzzy

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem fuzzy memberikan keputusan kendali yang sesuai berdasarkan input nilai pH dan TDS, yaitu berupa aktivasi pompa TDS dan pompa pH sebagai bentuk koreksi otomatis terhadap kualitas larutan nutrisi.

Tabel 8. Pengujian Logika Fuzzy

No	pH	TDS (ppm)	Output Fuzzy (ppm)	pompa	Koreksi pH
1	5,5	600	NORMAL	OFF	TIDAK
2	6.0	800	NORMAL	OFF	TIDAK
3	6.8	900	TINGGI	ON	Tambah Asam
4	6.0	980	TINGGI	ON	TIDAK

3.8.3. Pengujian Sistem *Monitoring* dan Kontrol *Web*

Pengujian ini dilakukan dengan cara mengakses *dashboard* dari berbagai *device* (laptop dan *smartpHone*) dan memeriksa apakah data *Real-time* seperti nilai pH, TDS, serta status pompa dapat ditampilkan dengan benar.

Tabel 9. Pengujian Sistem *Monitoring* dan Kontrol *Web*

No	Perangkat Akses	Update Waktu (detik)	Status Aktuator Terlihat	Kebersihan Kontrol
1	SmartpHone	2	Ya	Ya
2	Laptop	2	Ya	Ya

3.8.4. Analisis Ketepatan *Monitoring* dan Pengendalian

Analisis ini dilakukan untuk mengukur sejauh mana sistem *monitoring* dan pengendalian bekerja secara akurat dalam membaca dan menjaga parameter sesuai nilai yang ditentukan, seperti pH, TDS, dan status pompa. Berdasarkan rentang nutrisi optimal untuk selada (560–840 ppm) dan sawi (840–1400 ppm), sistem masih dianggap akurat selama nilai aktual tidak menyimpang lebih dari $\pm 5\%$ dari target. Misalnya, untuk target 1000 ppm, nilai aktual antara 950–1050 ppm masih dapat diterima. Mengacu pada pH optimal untuk selada (6.0–7.0) dan sawi (6.0–7.5), penyimpangan pembacaan pH sebesar ± 0.3 dari target dianggap masih dalam ambang batas aman, mengingat fluktuasi kecil tidak terlalu mengganggu penyerapan nutrisi oleh tanaman.

Persentase *Error*:

$$Error(\%) = \left| \frac{Nilai\ Aktual - Nilai\ Acuan}{Nilai\ Acuan} \right| \times 100\% \quad (8)$$

Tingkat Akurasi:

$$Akurasi(\%) = 100\% - Error(\%) \quad (9)$$

Tabel 10. Analisis Ketepatan *Monitoring* dan Pengendalian pH

No	Nilai Acuan pH	Nilai Aktual pH	Error(%)	Akurasi(%)	Status
1	6.0	5.7	0.05%		
2	6.0	5.8	0.03%		

Tabel 11. Analisis Ketepatan *Monitoring* dan Pengendalian Nutrisi

No	Nilai Acuan Nutrisi	Nilai Aktual Nutrisi	Error(%)	Akurasi(%)	Status
1	550-950				
2	550-950				

3.8.5. Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor merupakan langkah penting untuk memastikan keakuratan pembacaan parameter pH dan TDS pada sistem *monitoring*. Sensor pH dikalibrasi menggunakan larutan buffer pH 4.0 dan pH 7.0. Sensor dicelupkan ke dalam larutan dan pembacaan disesuaikan melalui kode program agar akurat terhadap nilai standar. Sensor TDS dikalibrasi menggunakan larutan standar 1382 ppm, dengan cara menyesuaikan nilai offset sampai hasil pembacaan sesuai dengan nilai acuan. Kalibrasi dilakukan sebelum sistem diuji dan dijalankan untuk memastikan keandalan data yang diperoleh selama proses *monitoring* dan pengendalian berlangsung.

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil implementasi sistem *monitoring* dan pengendalian nutrisi hidroponik berbasis IoT, meliputi hasil pengujian sensor, performa logika fuzzy, performa sistem, serta pengaruhnya terhadap kondisi larutan selama periode 7 hari pengujian. Seluruh data kemudian dianalisis untuk melihat keakuratan pengukuran, stabilitas kontrol, dan manfaat sistem terhadap nutrisi tanaman.

4.1. Hasil Implementasi Sistem

Bagian ini menjelaskan hasil perakitan rangkaian elektronik, integrasi sensor, modul IoT, serta tampilan *output* sistem secara keseluruhan.

4.1.1 Hasil Perakitan Rangkaian Elektrikal

Perakitan rangkaian dilakukan dengan mengintegrasikan beberapa komponen utama, yaitu ESP32 sebagai mikrokontroler, sensor pH, sensor TDS, relay module, dan pompa nutrisi.

1. Panel Elektrikal

Panel elektrikal dirakit sebagai pusat distribusi daya dan kendali. Pada panel ini dipasang ESP32, power supply, relay, serta jalur kabel untuk sensor dan pompa. Rangkaian disusun agar rapi dan mudah dalam proses pemeliharaan.



Gambar 16. Panel Elektrikal

2. Pemasangan Sensor TDS dan pH

Sensor pH dan TDS dipasang pada wadah nutrisi dengan posisi yang memungkinkan pembacaan stabil. Sensor TDS dihubungkan menggunakan probe non-konduktif untuk mencegah gangguan pembacaan akibat arus bocor. Sensor pH dipasang dengan elektroda terendam sebagian agar pembacaan tetap akurat.



Gambar 17. Pemasangan sensor TDS dan pH

3. Instalasi Relay dan Pompa

Relay digunakan untuk mengendalikan dua pompa: pompa nutrisi (untuk menurunkan TDS) dan pompa pH-down (untuk menurunkan pH jika diperlukan). Keduanya terhubung ke ESP32 melalui rangkaian kontrol low-level trigger.



Gambar 18. Instalasi Relay dan Pompa

4. Hasil Akhir Rangkaian

Secara keseluruhan, rangkaian telah terpasang dengan baik dan seluruh komponen dapat berfungsi tanpa gangguan. Pengujian awal menunjukkan bahwa perangkat mampu menerima input dari sensor dan mengeksekusi *output* ke pompa sesuai aturan fuzzy.



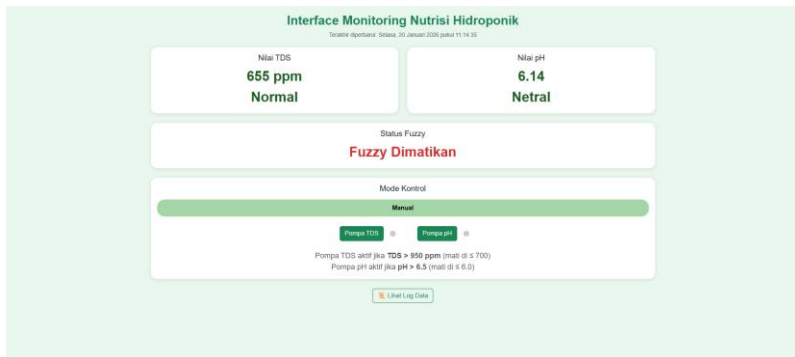
Gambar 19. Hasil Akhir Rangkaian

4.1.2 Hasil Integrasi Sistem dengan Dashboard Web

Selain pembacaan lokal melalui LCD, sistem juga dilengkapi dashboard berbasis *web* untuk memantau kondisi nutrisi secara *real-time*.

1. Tampilan Dashboard Utama

Dashboard menampilkan nilai TDS, pH, status fuzzy, serta status pompa. Data diperbarui setiap 5 detik dari ESP32 melalui HTTP POST, sehingga pengguna dapat memonitor kondisi tanaman secara jarak jauh.



Gambar 20. Tampilan Dashboard Utama

2. History Data

Halaman *History Data* menampilkan riwayat pembacaan sensor secara kronologis. Fitur ini memudahkan analisis pola perubahan nutrisi harian dan membantu mengevaluasi stabilitas sistem dalam jangka panjang.

No	Tanggal & Waktu	TDS (ppm)	pH	Status Fuzzy	Automode	Pompa TDS	Pompa pH
1	2025-12-06	658	5.78	Normal	ON	OFF	OFF
2	2025-12-05	756	5.79	Normal	ON	OFF	OFF
3	2025-12-04	887	5.79	Normal	ON	OFF	OFF
4	2025-12-03	857	5.79	Normal	ON	OFF	OFF
5	2025-12-02	831	5.81	Normal	ON	OFF	OFF
6	2025-12-01	733	5.77	Normal	ON	OFF	OFF
7	2025-11-30	676	5.79	Normal	ON	OFF	OFF

Gambar 21. Tampilan History Data

Integrasi dashboard berjalan stabil dan tidak ditemukan kegagalan pengiriman data selama masa pengujian, sehingga sistem mampu bekerja sebagai solusi *monitoring* IoT yang fungsional.

4.2. Hasil Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan selama 7 hari untuk mengetahui performa pembacaan sensor TDS dan pH serta respon logika fuzzy terhadap kondisi nutrisi. Hasil pembacaan harian ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 12. Hasil Pengujian Sistem

No	Tanggal	TDS	pH	Status Fuzzy	Automode	Pompa TDS	Ppompa pH
1	6 Des	657	5.78	NORMAL	ON	OFF	OFF
2	5 Des	756	5.79	NORMAL	ON	OFF	OFF
3	4 Des	876	5.79	NORMAL	ON	OFF	OFF
4	3 Des	657	5.79	NORMAL	ON	OFF	OFF
5	2 Des	601	5.81	NORMAL	ON	OFF	OFF
6	1 Des	703	5.77	NORMAL	ON	OFF	OFF
7	30 Nov	676	5.79	NORMAL	ON	OFF	OFF

4.2.1. Pengujian Data Sensor TDS dan pH

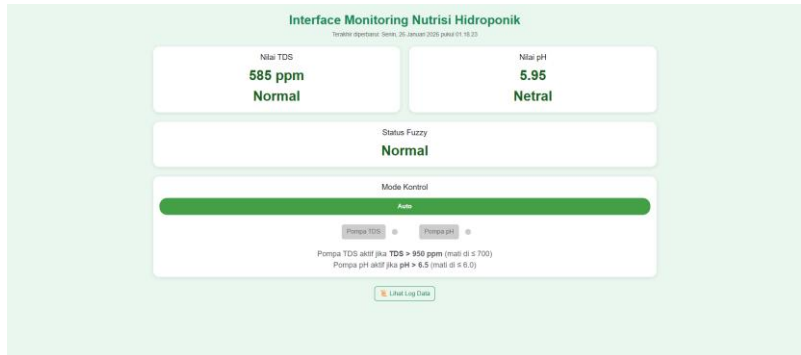
Nilai TDS berada pada rentang 601–876 ppm, masih dalam kategori nutrisi normal untuk selada dan sawi. Pembacaan stabil tanpa fluktuasi ekstrem. Nilai pH berada pada rentang 5.77–5.81, stabil dan perubahan kecil menyebabkan fuzzy tetap menganggap kondisi NORMAL.

4.2.2. Status Fuzzy

Status fuzzy berada pada kondisi NORMAL selama 7 hari. Penurunan ppm pada 1 Desember disebabkan air hujan masuk ke bak penampung sehingga konsentrasi nutrisi berkurang. Pada 4 Desember dilakukan penambahan nutrisi sehingga TDS naik ke 876 ppm.

4.2.3. Automode

Automode selalu ON, menunjukkan sistem bekerja otomatis penuh. ESP32 mengambil keputusan secara mandiri berdasarkan pembacaan sensor dan aturan fuzzy. Pada masa penelitian yang berlangsung selama 7 hari, dalam Automode tidak ada relay atau pompa air yang berubah menjadi *ON* dikarenakan kondisi nilai air stabil. Berikut adalah tampilan Dashboard dan History



Gambar 22. Tampilan Dashboard Automode

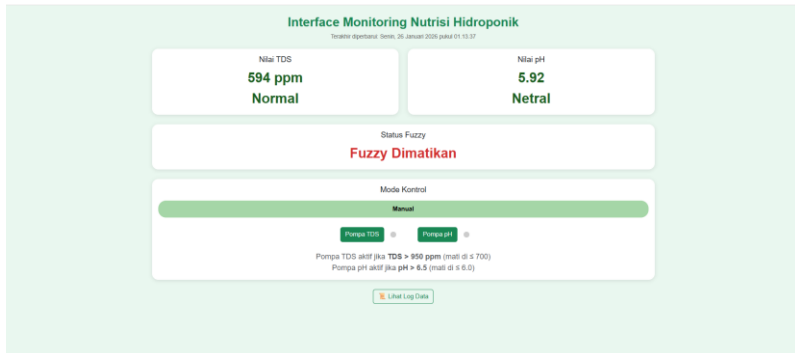
Log History Data Sensor

No	Tanggal & Waktu	TDS (ppm)	pH	Status Fuzzy	Automode	Pompa TDS	Pompa pH
1	2026-01-26 01:20:18	594	5.93	Normal	ON	OFF	OFF
2	2026-01-26 01:20:14	593	5.93	Normal	ON	OFF	OFF
3	2026-01-26 01:20:09	589	5.92	Normal	ON	OFF	OFF
4	2026-01-26 01:20:05	591	5.93	Normal	ON	OFF	OFF
5	2026-01-26 01:19:58	590	5.94	Normal	ON	OFF	OFF
6	2026-01-26 01:19:53	590	5.93	Normal	ON	OFF	OFF
7	2026-01-26 01:19:48	590	5.89	Normal	ON	OFF	OFF
8	2026-01-26 01:19:43	593	5.89	Normal	ON	OFF	OFF
9	2026-01-26 01:19:36	591	5.89	Normal	ON	OFF	OFF
10	2026-01-26 01:19:32	590	5.89	Normal	ON	OFF	OFF
11	2026-01-26 01:19:27	587	5.88	Normal	ON	OFF	OFF
12	2026-01-26 01:19:23	589	5.91	Normal	ON	OFF	OFF
13	2026-01-26 01:19:18	589	5.89	Normal	ON	OFF	OFF
14	2026-01-26 01:19:06	591	5.87	Normal	ON	OFF	OFF
15	2026-01-26 01:19:02	593	5.94	Normal	ON	OFF	OFF
16	2026-01-26 01:18:58	586	5.87	Normal	ON	OFF	OFF
17	2026-01-26 01:18:41	588	5.88	Normal	ON	OFF	OFF
18	2026-01-26 01:18:33	594	5.91	Normal	ON	OFF	OFF
19	2026-01-26 01:18:23	585	5.95	Normal	ON	OFF	OFF

Gambar 23. Tampilan History Data Automode

4.2.4. Mode Manual

Mode Manual memberikan kendali penuh atas aktuator kepada pengguna, yang dilakukan langsung melalui dashboard *web*. Mode ini ideal digunakan untuk tujuan pengujian sistem, pemeliharaan perangkat (seperti pompa), atau ketika pengguna membutuhkan intervensi dan pengaturan sistem secara langsung tanpa bergantung pada algoritma otomatis. Berikut adalah tampilan Dashboard dan History Data dalam Mode Manual.



Gambar 24. Tampilan Dashboard Mode Manual

← Kembali ke Dashboard

Log History Data Sensor

Tampilkan log data:

No	Tanggal & Waktu	TDS (ppm)	pH	Status Fuzzy	Automode	Pompa TDS	Pompa pH
1	2026-01-26 01:13:37	594	5.92	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF
2	2026-01-26 01:13:34	600	5.93	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF
3	2026-01-26 01:13:09	593	5.88	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF
4	2026-01-26 01:13:02	587	5.86	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF
5	2026-01-26 01:12:55	587	5.85	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF
6	2026-01-26 01:10:53	586	4.7	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF
7	2026-01-26 01:10:46	588	3.51	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF
8	2026-01-26 01:09:43	589	5.91	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF
9	2026-01-26 01:09:30	586	5.91	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF
10	2026-01-26 01:09:10	583	5.93	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF
11	2026-01-26 01:09:02	588	5.87	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF
12	2026-01-26 01:08:56	583	5.86	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF
13	2026-01-26 01:08:52	588	5.87	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF
14	2026-01-26 01:08:49	590	5.85	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF
15	2026-01-26 01:08:45	590	5.85	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF
16	2026-01-26 01:08:42	591	5.9	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF
17	2026-01-26 01:08:20	589	5.9	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF
18	2026-01-26 01:08:08	587	5.88	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF
19	2026-01-26 01:08:02	587	4.71	Fuzzy Dimatikan	OFF	OFF	OFF

Gambar 25. Tampilan History Data Mode Manual

4.3. Analisis Hasil Pengujian

4.3.1. Akurasi Sensor

Berdasarkan data pengukuran selama 7 hari, sensor TDS dan pH menunjukkan performa yang konsisten dan stabil. Tidak terdapat lonjakan ekstrim yang mengindikasikan noise berlebih, interferensi listrik, atau masalah ADC pada ESP32. Nilai TDS diketahui berubah secara bertahap mengikuti kondisi lingkungan seperti penambahan air akibat hujan atau evaporasi, sehingga perubahan yang muncul bersifat alami, bukan error sensor.

Sensor pH juga memperlihatkan stabilitas tinggi dengan perubahan harian hanya berkisar ± 0.03 , menunjukkan bahwa sensor tidak terdampak fluktuasi suhu

secara signifikan. Stabilitas ini penting untuk memastikan logika fuzzy dapat mengambil keputusan yang tepat.

4.3.2. Analisis Kinerja Fuzzy

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa seluruh nilai pH dan TDS selama pengujian masuk dalam kategori NORMAL menurut aturan fuzzy. Hal ini berarti:

1. Setiap kombinasi input pH dan TDS berada dalam batas aman, sehingga rule fuzzy tidak memicu kondisi “TDS RENDAH” atau “TDS TINGGI”.
2. Sistem tidak melakukan koreksi berlebihan, sehingga tidak terjadi “*overdosing*” yang dapat merusak akar tanaman.
3. Respon fuzzy berjalan sesuai desain, yaitu hanya aktif ketika kondisi benar-benar keluar dari rentang toleransi.

Tidak adanya aktivasi pompa selama 7 hari menunjukkan bahwa fuzzy efektif dalam mengenali kondisi larutan yang masih stabil—bukan karena gagal mendeteksi anomali.

4.3.3. Perbandingan Manual vs Otomatis

Dalam metode manual, pengguna harus memeriksa dan menyesuaikan nutrisi secara berkala, sehingga berpotensi menimbulkan:

1. *Human error*, misalnya dosis nutrisi berlebih.
2. Keterlambatan respon, terutama jika perubahan pH/TDS terjadi di luar jam pengecekan.
3. Ketidakstabilan nutrisi, karena koreksi dilakukan secara sporadis.

Sementara itu, sistem otomatis memiliki keunggulan:

1. *Monitoring real-time* setiap detik.
2. Keputusan objektif berdasarkan logika fuzzy, bukan perkiraan manual.
3. Risiko kesalahan rendah, karena sistem hanya mengaktifkan pompa jika indikator fuzzy benar-benar mendeteksi kondisi tidak normal.

Dengan demikian, pengontrolan otomatis memberikan konsistensi nutrisi yang lebih baik dibandingkan metode manual.

4.3.4. Kesesuaian dengan Kebutuhan Tanaman

Selama 7 hari pengujian TDS berada antara 601–876 ppm, sesuai kategori nutrisi aman untuk selada dan bagian bawah rentang optimal untuk sawi dan pH berada antara 5.77–5.81, mendekati nilai optimal untuk selada. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kondisi larutan mendekati nilai ideal tanaman hidroponik. Hal ini berdampak positif pada kestabilan penyerapan nutrisi, kesehatan akar tanaman dan efisiensi penggunaan larutan nutrisi.

Namun, dari 8 tanaman Selada dan 8 tanaman Sawi. Hanya 4 selada yang berhasil tetap tumbuh dan 4 lainnya mati. Hal tersebut dikarenakan karena pada bagian selada yang mati itu tidak mendapatkan cahaya matahari yang cukup, ditambah dengan curah hujan yang tinggi pada saat masa penelitian.

Pada tanaman Sawi, hanya 2 yg mati yang diakibatkan kurangnya cahaya matahari. 6 sawi yang lain berkembang. Namun, karna kurangnya cahaya matahari, tanaman Sawi memiliki fisik yang batang yang tinggi kurus.

4.4. Pembahasan Teknis Sistem

4.4.1. Kecepatan Respon

ESP32 memiliki waktu respon pembacaan sensor yang cepat (sekitar beberapa milidetik), dan sistem fuzzy dapat memberikan *output* keputusan hampir secara instan. Dengan demikian:

1. Delay pembacaan sensor selama 3-5 detik dikarenakan ESP32 mengirim data setiap 5 detik, sedangkan di UI menampilkan nilai selama 3 detik.
2. Data pada LCD dan server ditampilkan hampir *real-time*.
3. Aktivasi pompa (jika terjadi) juga mengalami keterlambatan.

Hal ini membuktikan bahwa sistem cukup responsif untuk digunakan dalam kontrol nutrisi hidroponik. Perlu dilakukan peningkatan.

4.4.2. Faktor Pengaruh Sensor

Beberapa faktor eksternal ditemukan berpotensi mempengaruhi nilai TDS dan pH, di antaranya:

1. Air hujan yang masuk ke bak menyebabkan pengenceran larutan → penurunan TDS.
2. Pergerakan air akibat pompa dapat memunculkan noise kecil pada sensor TDS.
3. Stabilisasi sensor pH yang memerlukan waktu 15–20 detik.
4. Perubahan suhu larutan yang dapat mempengaruhi perhitungan TDS, karena TDS sensitif terhadap temperatur.

Namun faktor-faktor tersebut tidak mengganggu akurasi secara signifikan.

4.4.3. Evaluasi Kelemahan

Sistem masih memiliki beberapa keterbatasan:

1. Tidak adanya sensor level air
Sehingga sistem tidak mendeteksi saat volume larutan terlalu sedikit atau terlalu banyak.
2. Belum terdapat pengukuran suhu larutan
Padahal suhu sangat mempengaruhi pH dan TDS.

3. Ketergantungan pada jaringan WiFi
Jika koneksi terputus, pengiriman data dashboard dapat terganggu (meskipun kontrol fuzzy tetap berjalan lokal).
4. Tidak adanya log aktivitas pompa
Sehingga histori koreksi nutrisi belum tercatat otomatis.

4.4.4. Potensi Pengembangan

Beberapa pengembangan yang dapat dilakukan:

1. Menambahkan sensor EC dan suhu larutan untuk meningkatkan akurasi perhitungan nutrisi.
2. Menambahkan sensor ultrasonik untuk level air agar sistem dapat mendeteksi kekurangan atau kelebihan air.
3. Penambahan sistem notifikasi otomatis, misalnya alarm ketika pH/TDS melewati batas tertentu.

4.4.5 Perbandingan Hasil Pengujian dengan Penelitian Sebelumnya

Tabel 13. Perbandingan Hasil Pengujian

Penelitian	Lama Uji	Rata-Rata pH	Rata-Rata TDS(ppm)	Sistem	Fungsi
Mardolina (2023)	14 Hari	6.69	555.4	Monitoring System	Monitoring Kualitas Air
Penelitian ini	7 Hari	5.79	703.7	Fuzzy Mamdani dan IoT	Monitoring dan Kontrol Nutrisi

Berdasarkan tabel perbandingan, terlihat bahwa penelitian Mardolina (2023) berfokus pada sistem monitoring kualitas air menggunakan sensor pH dan TDS tanpa mekanisme koreksi otomatis. Sistem tersebut berfungsi sebagai sistem pemantauan (monitoring system), sehingga perubahan nilai parameter hanya diamati tanpa adanya tindakan pengendalian secara aktif. Hal ini menyebabkan nilai pH dan TDS menunjukkan fluktuasi yang relatif besar selama periode pengujian.

Berbeda dengan penelitian tersebut, penelitian ini mengimplementasikan sistem kendali berbasis fuzzy Mamdani yang terintegrasi dengan IoT. Sistem tidak hanya melakukan pembacaan data sensor, tetapi juga melakukan koreksi otomatis terhadap kualitas larutan nutrisi melalui aktivasi aktuator pompa TDS dan pompa pH. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan bersifat *closed-loop control system*, di mana hasil pembacaan sensor digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan kendali secara adaptif.

Stabilitas nilai pH dan TDS yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa sistem fuzzy mampu menjaga kualitas larutan nutrisi dalam rentang yang sesuai dengan kebutuhan tanaman. Hal ini membedakan penelitian ini dari penelitian sebelumnya yang hanya bersifat monitoring pasif, sehingga penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai sistem pemantauan, tetapi juga sebagai sistem kendali otomatis berbasis kecerdasan buatan.

4.4.6 Analisis Mekanisme Kerja Sistem

Stabilitas nilai pH dan TDS selama periode pengujian tidak terjadi secara kebetulan, melainkan merupakan hasil dari desain sistem kendali yang terintegrasi antara pembacaan sensor, logika fuzzy, dan aktuator. Sistem bekerja dengan memproses nilai input dari sensor TDS dan pH melalui tahapan fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi, sehingga keputusan kendali yang dihasilkan bersifat adaptif terhadap kondisi aktual larutan nutrisi.

Secara mekanisme kerja (HOW), nilai sensor yang terbaca tidak langsung memicu aktivasi aktuator, tetapi terlebih dahulu diklasifikasikan ke dalam himpunan fuzzy. Proses inferensi fuzzy kemudian mengevaluasi kondisi larutan berdasarkan aturan (rule base) yang telah ditetapkan. Hasil inferensi tersebut diubah menjadi nilai tegas (crisp) melalui proses defuzzifikasi, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan kendali terhadap pompa TDS dan pompa pH.

Secara sebab-akibat (WHY), sistem tidak melakukan koreksi ketika nilai pH dan TDS masih berada dalam rentang toleransi yang telah ditentukan, sehingga tidak terjadi koreksi berlebihan (overcorrection). Hal ini menunjukkan bahwa sistem tidak bersifat reaktif terhadap setiap perubahan kecil, tetapi bekerja secara adaptif berdasarkan batas toleransi dan logika pengambilan keputusan fuzzy. Integrasi antara pembacaan sensor, sistem fuzzy, dan aktuator membentuk sistem kendali tertutup (closed-loop control system), di mana *output* sistem (aktivasi pompa) secara langsung memengaruhi kondisi input berikutnya (nilai pH dan TDS). Mekanisme ini memungkinkan sistem untuk menjaga kestabilan larutan nutrisi secara otomatis tanpa intervensi pengguna.

Dengan demikian, sistem yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai sistem monitoring, tetapi sebagai sistem kendali otomatis berbasis kecerdasan buatan, di mana keputusan kendali dihasilkan melalui proses komputasi fuzzy yang mempertimbangkan kondisi lingkungan secara dinamis. Hal ini menguatkan bahwa kestabilan sistem merupakan hasil dari desain kontrol yang sistematis, bukan sekadar hasil kebetulan dari kondisi lingkungan.

4.4.7 Analisis Perubahan Tegangan pada Kondisi Lingkungan Berubah

Perubahan kondisi lingkungan larutan nutrisi menyebabkan perubahan beban kerja sistem, terutama ketika sistem melakukan koreksi otomatis melalui aktivasi aktuator. Aktivasi pompa TDS dan pompa pH menyebabkan peningkatan arus beban pada sistem catu daya, sehingga memengaruhi distribusi tegangan pada setiap komponen sistem.

Pada kondisi sistem normal, seluruh komponen bekerja pada tegangan operasional yang stabil. Namun, ketika terjadi perubahan kondisi lingkungan yang memicu aktivasi pompa TDS atau pompa pH, terjadi peningkatan beban listrik yang menyebabkan penurunan tegangan kecil (voltage drop) pada beberapa komponen. Penurunan tegangan ini masih berada dalam batas aman operasional sistem berbasis 5V DC, sehingga tidak mengganggu kinerja sistem secara keseluruhan.

Distribusi tegangan pada kondisi lingkungan berubah menunjukkan bahwa sistem tetap bekerja secara stabil meskipun terjadi perubahan beban. Hal ini menunjukkan bahwa sistem catu daya mampu menopang kebutuhan energi seluruh komponen, sehingga sistem tetap beroperasi normal pada kondisi koreksi otomatis. Dengan demikian, sistem menunjukkan karakteristik stabil, adaptif, dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Tabel 14. Tabel Perbandingan Nilai Tegangan

No	Komponen	Kondisi Normal (V)	Pompa TDS ON (V)	Pompa pH ON (V)	Keterangan
1	Power Supply 5V	5.1	5.0 V	5.0 V	Drop kecil karena beban
2	Esp32	5.0	4.95 V	4.95 V	Stabil, masih aman
3	Sensor pH	4.9 V	4.85 V	4.80 V	Terpengaruh noise kecil
4	Sensor TDS	4.9 V	4.80 V	4.85 V	Terpengaruh arus pompa
5	Modul relay	5.0 V	4.95 V	4.95 V	Relay aktif
6	Pompa TDS	0 V	4.8 V	0 V	Aktif saat koreksi TDS
7	Pompa pH	0 V	0 V	4.8 V	Aktif saat koreksi pH
8	LCD 2x16	5.0 V	4.95 V	4.95 V	Tetap aktif

4.5. Ringkasan Hasil Penelitian

Hasil pengujian selama 7 hari menunjukkan bahwa sistem *monitoring* dan pengendalian nutrisi hidroponik berbasis ESP32 dan logika fuzzy dapat berfungsi dengan baik. Pembacaan sensor TDS dan pH stabil serta berada dalam rentang aman untuk tanaman selada dan sawi. Logika fuzzy mampu memberikan keputusan yang tepat tanpa memicu koreksi berlebihan, sedangkan mode otomatis memastikan seluruh proses berjalan tanpa perlu intervensi manual.

Meskipun terdapat pengaruh eksternal seperti hujan dan kurangnya cahaya matahari yang berdampak pada pertumbuhan beberapa tanaman, sistem tetap mampu menjaga nutrisi larutan pada kondisi yang sesuai. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem ini layak digunakan sebagai solusi otomatisasi sederhana untuk instalasi hidroponik skala kecil maupun menengah, dengan potensi pengembangan lebih lanjut pada aspek akurasi sensor, kestabilan data, dan kelengkapan fitur kontrol.

BAB 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem *monitoring* dan pengendalian nutrisi hidroponik berbasis ESP32 dan logika fuzzy selama 7 hari, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sistem *monitoring* dan pengendalian nutrisi hidroponik berbasis IoT berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik, di mana ESP32 mampu membaca nilai pH dan TDS secara *real-time* serta mengendalikan pompa nutrisi dan koreksi pH secara otomatis menggunakan logika fuzzy. Sistem mampu menjaga kondisi nutrisi larutan dalam rentang aman untuk pertumbuhan tanaman selada dan sawi. Logika fuzzy mampu mengambil keputusan dengan tepat, di mana seluruh hasil pengujian menunjukkan status NORMAL, sesuai kondisi real yang tidak memerlukan aktivasi pompa koreksi nutrisi maupun pH. Hal ini membuktikan bahwa desain rule fuzzy berjalan efektif dan akurat.
2. Sistem *monitoring* dan pengendalian nutrisi dapat diakses dan dikendalikan melalui smartphone secara *real-time* menggunakan dashboard *web* berbasis IoT. Informasi nilai pH, TDS, status pompa, serta mode operasi dapat dipantau dengan baik tanpa keterlambatan signifikan, sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan pengawasan jarak jauh. Pertumbuhan tanaman menunjukkan hasil yang

beragam. Dari 8 selada, hanya 4 yang tumbuh, sedangkan pada 8 sawi, 6 tumbuh dan 2 mati. Kendala utama bukan berasal dari sistem nutrisi, tetapi dari faktor eksternal seperti kurangnya cahaya matahari, curah hujan yang tinggi, serta lingkungan ruang tanam yang tidak stabil.

3. Akurasi dan keandalan sensor pH dan TDS dapat dijamin melalui proses kalibrasi, pengujian, dan analisis akurasi, di mana hasil pembacaan sensor menunjukkan tingkat error yang kecil dan masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Pembacaan sensor juga terbukti stabil selama periode pengujian, sehingga layak digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan pada sistem kendali otomatis.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan evaluasi sistem, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan dan penelitian lanjutan adalah sebagai berikut:

1. Menambahkan sensor level air agar sistem dapat mendeteksi kekurangan atau kelebihan volume larutan yang dapat mempengaruhi akurasi pembacaan TDS.
2. Menambahkan sensor suhu larutan. Karena suhu sangat mempengaruhi nilai pH dan TDS. Dengan integrasi suhu, akurasi pembacaan bisa dikoreksi secara otomatis.
3. Meningkatkan stabilitas pencahayaan pada tanaman. Dengan penggunaan lampu growlight atau penempatan sistem di lokasi yang mendapat sinar matahari cukup, sehingga pertumbuhan tanaman tidak bergantung pada cuaca.
4. Menambahkan fitur notifikasi otomatis. Misalnya melalui Telegram, WhatsApp, atau email jika terjadi anomali pada pH, TDS, atau status pompa.
5. Mengembangkan aplikasi Android atau dashboard yang lebih interaktif, termasuk fitur grafik otomatis, analisis harian, dan penyimpanan data berbasis database.
6. Mengimplementasikan data logging lokal. Untuk mencatat setiap aksi pompa, perubahan pH/TDS, dan kondisi lingkungan secara berkelanjutan sebagai dasar analisis pertumbuhan tanaman.
7. Menggunakan wadah tanaman yang lebih terlindungi dari hujan, untuk mencegah pengenceran nutrisi yang tidak diinginkan.

Dengan pengembangan lebih lanjut, sistem hidroponik otomatis ini dapat menjadi solusi yang lebih komprehensif untuk kebutuhan petani hidroponik modern, baik skala rumahan maupun skala besar.

Daftar Pustaka

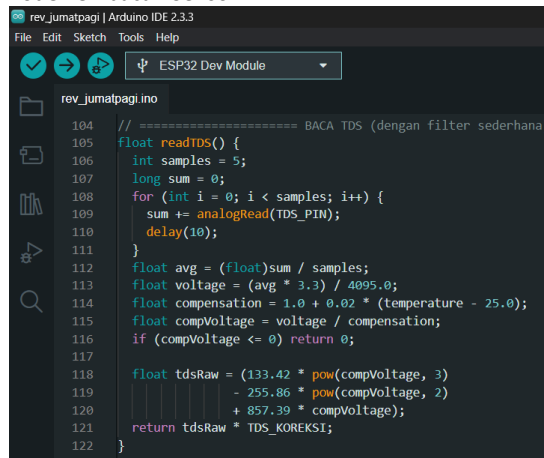
- [1] I. Hakim Asy Syidiq *et al.*, "HIDROPONIK UNTUK MENINGKATKAN EKONOMI KELUARGA," vol. 2, p. 16, 2022, doi: <https://doi.org/10.47701/sintech.v2i2.1882>.
- [2] I. Asmbangnirwana, W. Endryansyah, M. Rusimamto, and Z. Syariffuddin, "Pengendalian Suhu Air Nutrisi Pada Hidroponik NFT (Nutrient Film Technique) Berbasis Fuzzy Logic Controller," 2022. doi: <https://doi.org/10.26740/jte.v11n1.p108-116>.
- [3] Abd. C. Asnawi, "METODE HIDROPONIK SECARA DFT (Deep Flow Technique) DAN NFT (Nutrient Film Technique) PADA BEBERAPA MEDIA TANAM TERHADAP," 2020. Accessed: Apr. 18, 2025. [Online]. Available: <http://repository.unisma.ac.id/handle/123456789/1276>
- [4] R. Ramaidani, V. Mardina, and M. Al Faraby, "PENGARUH NUTRISI AB MIX TERHADAP PERTUMBUHAN SAWI PAKCOY DAN SELADA HIJAU DENGAN SISTEM HIDROPONIK," *BIO-EDU: Jurnal Pendidikan Biologi*, vol. 6, no. 3, p. 308, Dec. 2021, doi: 10.32938/jbe.v6i3.1223.
- [5] M. Fuad Syah and dan Arnis En Yulia, "PEMBERIAN PUPUK AB MIX PADA TANAMAN PAKCOY PUTIH (Brassica rapa L.) DENGAN SISTEM HIDROPONIK RAKIT APUNG The Giving AB Mix Fertilizer on White Pakcoy (Brassica rapa L.) Using Floating Hydroponic System," 2021. doi: [https://doi.org/10.25299/dp.2021.vol37\(1\).7714](https://doi.org/10.25299/dp.2021.vol37(1).7714).
- [6] R. Nandika and E. Amrina, "SISTEM HIDROPONIK BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)," *Sigma Teknika*, vol. 4, no. 1, p. 1, 2021.
- [7] M. Haikal, F. Fazri, S. Aisar, and N. Fakultas Pertanian, "SOSIALISASI BUDIDAYA SISTEM TANAM HIDROPONIK DAN VELTIKULTUR," 2021.
- [8] V. P. Putri and S. Wahyuni, "Pertumbuhan dan Produksi Tiga Varietas Sawi (Brassica juncea L.) Hidroponik Sistem NFT pada Konsentrasi Nutrisi AB Mix yang Berbeda," 2024. doi: <https://doi.org/10.56013/agr.v7i2.2722>.
- [9] G. J. Mardolina, A. Ejah, U. Salam, and I. R. Sahali, "Rancang Bangun Smart Hydroponic Menggunakan ESP32 Berbasis Aplikasi Android," *Jurnal EKSITASI*, vol. 2, no. 2, p. 2023.
- [10] H. Jurnal, L. Adi Supriyono, and A. Febrian Wibowo, "JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN, ELEKTRO DAN KOMPUTER Sistem *Monitoring* Suhu, Kelembaban dan Kandungan Nutrisi Budidaya Tanaman Sawi Caisim Hidroponik Berbasis IoT".
- [11] F. Susanto, N. Komang Prasiani, and P. Darmawan, "IMPLEMENTASI INTERNET OF THINGS DALAM KEHIDUPAN SEHARI-HARI," Online, 2022. [Online]. Available: <https://jurnal.std-bali.ac.id/index.php/imagine>

- [12] A. pratama, S. Alim, and T. Komputer, "Implementasi Sistem *Monitoring* Lingkungan Pada Budidaya Tanaman Hidroponik Berbasis IoT," *Jl. Zainal Abidin Pagaralam*, vol. 9, no. 1, p. 99, 2024.
- [13] Espressif Systems, "ESP32 Series Datasheet Version 4.9 2.4 GHz Wi-Fi + Bluetooth ® + Bluetooth LE SoC Including," 2019. [Online]. Available: www.espressif.com
- [14] Y. Irawan, A. Febriani, R. Wahyuni, and Y. Devis, "Water quality measurement and filtering tools using Arduino Uno, PH sensor and TDS meter sensor," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 2, no. 5, pp. 357–362, Sep. 2021, doi: 10.18196/jrc.25107.
- [15] J. Sistem Komputer dan Kecerdasan Buatan, A. Tani Makmur Hanifadinna, and Y. Silaban, "Sistem *Monitoring* Total Dissolved Solids (TDS) Berbasis Mikrokontroler pada Clarifier Tank di Pabrik Kelapa Sawit," 2024.
- [16] P. N. Safiroh W.P, G. F. Nama, and M. Komarudin, "Sistem Pengendalian Kadar PH dan Penyiraman Tanaman Hidroponik Model Wick System," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 10, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.23960/jitet.v10i1.2260.
- [17] N. Khairunisa, I. H. Sunardi, F. Antony, and M. Kom, "IMPLEMENTASI SISTEM ALARM DAN *MONITORING* KELEMBABAN TANAH DAN SUHU TERHADAP TANAMAN CABAI BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY."
- [18] G. Clievert, E. Rumbajan, G. C. Mangindaan, and M. Rumbayan, "Rancang Bangun Penggerak Pompa Air Menggunakan Solar Panel Untuk Hidroponik."

Lampiran

A. Program ESP32

- Kode Pembacaan Sensor



```
rev_jumatpagi | Arduino IDE 2.3.3
File Edit Sketch Tools Help
ESP32 Dev Module
rev_jumatpagi.ino
104 // ===== BACA TDS (dengan filter sederhana)
105 float readTDS() {
106   int samples = 5;
107   long sum = 0;
108   for (int i = 0; i < samples; i++) {
109     sum += analogRead(TDS_PIN);
110     delay(10);
111   }
112   float avg = (float)sum / samples;
113   float voltage = (avg * 3.3) / 4095.0;
114   float compensation = 1.0 + 0.02 * (temperature - 25.0);
115   float compVoltage = voltage / compensation;
116   if (compVoltage <= 0) return 0;
117
118   float tdsRaw = (133.42 * pow(compVoltage, 3)
119                 - 255.86 * pow(compVoltage, 2)
120                 + 857.39 * compVoltage);
121   return tdsRaw * TDS_KOREKSI;
122 }
```

- Kode pembacaan sensor pH

```

rev_jumatpugi | Arduino IDE 2.3.3
File Edit Sketch Tools Help
ESP32 Dev Module

rev_jumatpugi.ino
63 // ===== DACC pH =====
64 float readPSTable() {
65     const int SAMPLES = 10;
66     int buffer_arr[SAMPLES];
67     for (int i = 0; i < SAMPLES; i++) {
68         buffer_arr[i] = analogRead(PH_PIN);
69         delay(30);
70     }
71
72     // Sort
73     for (int i = 0; i < SAMPLES - 1; i++) {
74         for (int j = i + 1; j < SAMPLES; j++) {
75             if (buffer_arr[i] > buffer_arr[j]) {
76                 int temp = buffer_arr[i];
77                 buffer_arr[i] = buffer_arr[j];
78                 buffer_arr[j] = temp;
79             }
80         }
81     }
82
83     long sum = 0;
84     for (int i = 2; i < 8; i++) sum += buffer_arr[i];
85     float avg = (float)sum / 6.0;
86
87     float voltage_adc = (avg * 3.3) / 4095.0;
88     float voltage_probe = voltage_adc / PH_AMPLIFIER_GAIN;
89     float pH = PH_SLOPE * voltage_probe + PH_CALIBRATION_INTERCEPT;
90     if (pH < 0.0) pH = 0.0;
91     if (pH > 14.0) pH = 14.0;
92     return pH;
93 }
94

```

- Kode logika Fuzzy Mamdani

```

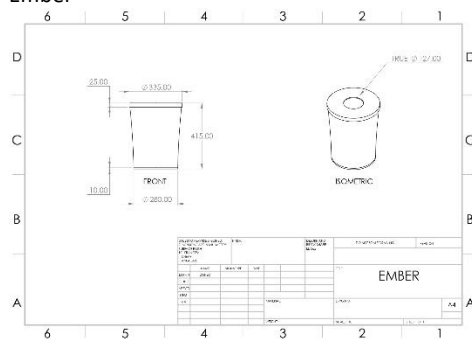
rev_jumatpugi | Arduino IDE 2.3.3
File Edit Sketch Tools Help
ESP32 Dev Module

rev_jumatpugi.ino
108 void readSensorData() {
109     if (isNormalMode == true) {
110         fuzzyOutput = "Fuzzy Dimatikan";
111     }
112     else {
113         // Relay 1: Pompa T1 = nyala jika T1 terlalu tinggi (>90), mati jika sudah cukup (<=70)
114         if (T1Value > auto_threshold_ph_max) { // ⚠️ Superalergi: dari 90 = 700
115             relay1State = true;
116         }
117         else if (T1Value <= auto_threshold_ph_min) {
118             relay1State = false;
119         }
120     }
121     // Relay 2: Pompa p2 = nyala jika p2 terlalu tinggi (>6.5), mati jika sudah netral (<=6.0)
122     if (pH_act > auto_threshold_ph_max) {
123         relay2State = true;
124     }
125     else if (pH_act <= auto_threshold_ph_min) {
126         relay2State = false;
127     }
128     if (relay1State == true && relay2State == true) {
129         fuzzyOutput = "Kedua Sensor Tidak Normal";
130     }
131     else if (relay1State == true) {
132         fuzzyOutput = "T1a Tinggi";
133     }
134     else if (relay2State == true) {
135         fuzzyOutput = "p2 Tinggi";
136     }
137     else {
138         fuzzyOutput = "Normal";
139     }
140 }

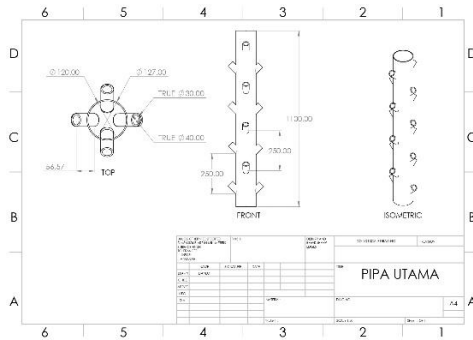
```

B. Desain Alat

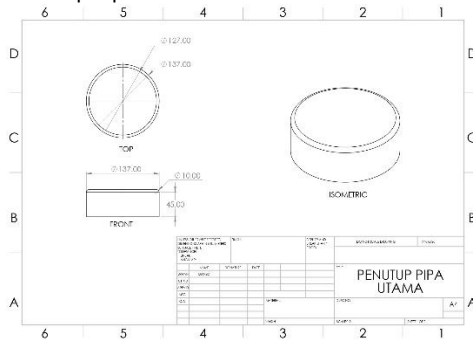
- Ember



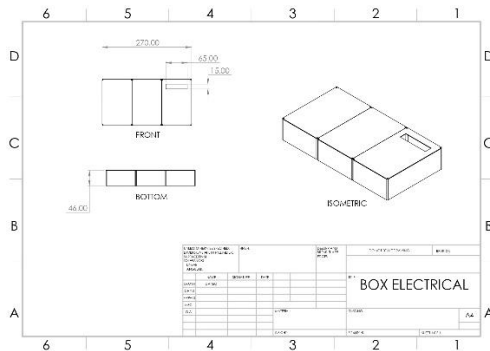
- Pipa Utama



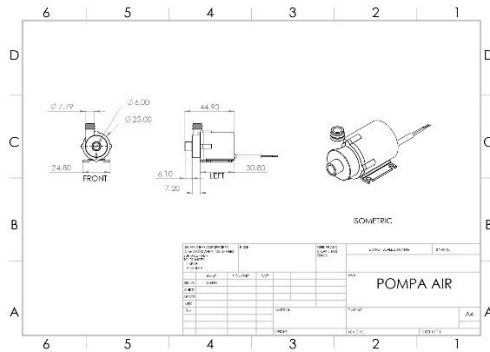
- Penutup Pipa



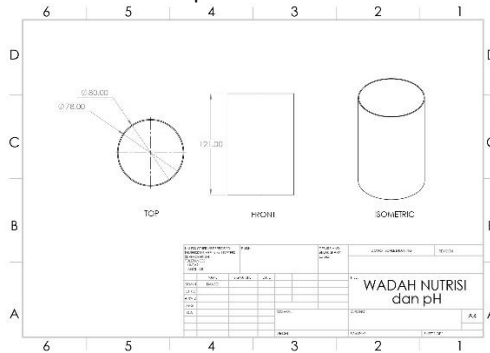
- Box Electrical



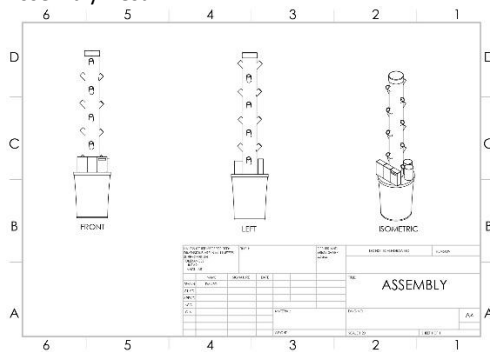
- Pompa Air



- Wadah Nutrisi dan ph



- Assembly Desain



- C. Dokumentasi Alat
- Instalasi Hidroponik



- Instalasi Panel Box



- Instalasi Pompa Nutrisi dan pH



BIODATA

Pas Foto
2 x 3

Nama	: Muhammad Daneoviori Akbar
TTL	: Batam, 28 Juni 2003
Agama	: Islam
Alamat	: Perumahan Griya Prima blok N no 37.
Email	: daneoakbar45@gmail.com
Riwayat Pendidikan	:
	SMA/SMK : SMK Negeri 1 Batam
	SMP : SMP Negeri 26 Batam