

**SISTEM PENGELOLAAN DAN MONITORING NUTRISI DAN PH AIR
BERBASIS IOT UNTUK BUDIDAYA HIDROPONIK TANAMAN DAUN
BAWANG (*Allium Fistulosum* L.) MENGGUNAKAN ALGORITMA
FUZZY MAMDANI**

SKRIPSI

Oleh:
Khalif Akbar Rapsanjani
NIM. 210605110004



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

**SISTEM PENGELOLAAN DAN MONITORING NUTRISI DAN PH AIR
BERBASIS IOT UNTUK BUDIDAYA HIDROPONIK TANAMAN DAUN
BAWANG (*Allium Fistulosum* L.) MENGGUNAKAN ALGORITMA
FUZZY MAMDANI**

SKRIPSI

Diajukan Kepada:
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)

Oleh:
Khalif Akbar Rapsanjani
NIM. 210605110004

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN

SISTEM PENGELOLAAN DAN MONITORING NUTRISI DAN PH AIR
BERBASIS IOT UNTUK BUDIDAYA HIDROPONIK TANAMAN DAUN
BAWANG (*Allium fistulosum* L.) MENGGUNAKAN ALGORITMA
FUZZY MAMDANI

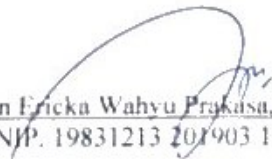
SKRIPSI

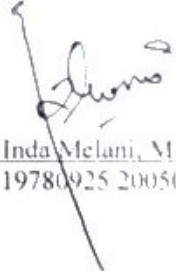
Oleh :
Khalif Akbar Rapsanjani
NIM. 210605110004

Telah Diperiksa dan Disetujui Untuk Diuji:
Tanggal: 17 Juni 2026

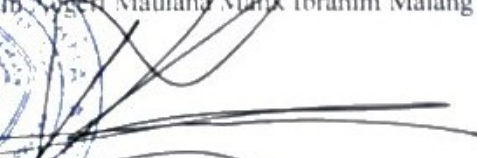
Pembimbing I,

Pembimbing II,


Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom
NIP. 19831213 201903 1 004


Roro Inda Melani, M.I., M.Sc
NIP. 19780925 200501 2 008

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang


Supriyono, M.Kom
NIP. 19841010 201903 1 012

HALAMAN PENGESAHAN

SISTEM PENGELOLAAN DAN MONITORING NUTRISI DAN PH AIR BERBASIS IOT UNTUK BUDIDAYA HIDROPONIK TANAMAN DAUN BAWANG (*Allium fistulosum* L.) MENGGUNAKAN ALGORITMA FUZZY MAMDANI

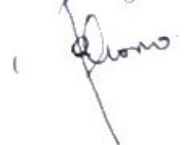
SKRIPSI

Oleh :
Khalif Akbar Rapsanjani
NIM. 210605110004

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal: Juni 2026

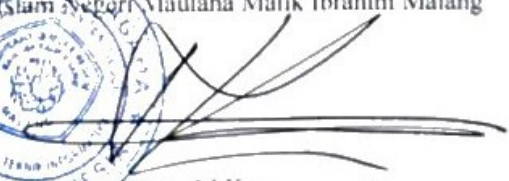
Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji	: <u>Shoffin Nahwa Utama, M.I</u> NIP. 1986070 3202012 1 003
Anggota Penguji I	: <u>Ajib Hanani, MT</u> NIP. 19840731 202321 1 013
Anggota Penguji II	: <u>Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom</u> NIP. 19831213 201903 1 004
Anggota Penguji III	: <u>Roro Inda Melani, MT, M.Sc</u> NIP. 19780925 200501 1 008

()
()
()
()

Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



()
Supriyono, M.Kom
NIP. 19841010 201903 1 012

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Khalif Akbar Rapsanjani
NIM : 210605110004
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Skripsi : Sistem Pengelolaan Dan Monitoring Nutrisi Dan Ph
Air Berbasis Iot Untuk Budidaya Hidroponik
Tanaman Daun Bawang (*Allium Fistulosum* L.)
Menggunakan Algoritma Fuzzy Mamdani

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini merupakan hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 17 Juni 2026

Yang membuat pernyataan,



Khalif Akbar Rapsanjani

NIM. 210605110004

MOTTO

“Terbentur, Terbentur, Terbentur, Terbentuk.”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah rabbil 'alamin puji syukur kepada Allah SWT karena berkat rahmat dan petunjuk-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah menuju addinul Islam.

Penulis mempersembahkan karya ini kepada diri penulis sendiri, orang tua, para dosen, kerabat, teman, sahabat, serta orang-orang yang telah membantu, mendoakan, serta menyemangati penulis dalam menuntaskan skripsi ini.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji dan rasa syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, semoga kita semua kelak memperoleh syafaat beliau di hari kiamat. Aamiin.

Penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis disampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. H. Agus Mulyono, M.Si, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Supriyono, M.Kom, selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom, selaku dosen pembimbing 1 serta mentor yang telah memberikan bimbingan, saran, kesabaran dan dukungan yang sangat berarti bagi penulis selama proses penelitian.
5. Roro Inda Melani, M.T, M.Sc, selaku dosen pembimbing 2, atas arahan dan pencerahan yang sangat membantu dalam menyempurnakan karya ini.

6. Shoffin Nahwa Utama, M.T, selaku dosen Penguji I dan Ajib Hanani, M. T, selaku dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun dalam penyusunan skripsi ini.
7. Seluruh staf dan dosen Program Studi Teknik Informatika yang telah memberikan ilmu, dukungan, dan fasilitas kepada penulis selama masa studi.
8. Ayahanda Hawadin Bukhori Ibunda Asmah Wati, dan saudara-saudari penulis yang senantiasa menjadi sumber semangat, memberikan dukungan tanpa henti, serta menyertai dengan doa-doa terbaik, sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga Allah SWT senantiasa menganugerahkan kesehatan dan perlindungan, agar senantiasa dapat mendampingi setiap langkah dan pencapaian penulis ke depannya.
9. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, Sofya Salwa Aurel. Terimakasih telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis. Berkontribusi banyak dalam penulisan karya tulis ini, baik tenaga maupun waktu kepada penulis. Telah mendukung, menghibur, mendengarkan keluh kesah, dan memberikan semangat untuk pantang menyerah.
10. Rekan seperjuangan “Kontrakan Pria Tampan”, yang beranggotakan Haikal, Reyhan, Fuaidil, Noviansyah, Gianda, Safril, Musa, Dika, Rafi, Al, Fauzil, Amirul, Daffa, dan Zufar. Terima kasih telah menemani hari-hari penulis dan terima kasih sudah mau menemani suka duka serta berbagi tawa dan air mata. Sukses untuk kalian semua.

11. Seluruh keluarga besar Teknik Informatika, khususnya Angkatan 2021 “ASTER”, atas segala ilmu, semangat, serta pengalaman berharga yang telah dibagikan selama masa perkuliahan. Semoga tali silaturahmi ini senantiasa terjaga, dan kita semua dapat menggapai cita-cita dan impian bersama.

12. Seluruh pihak yang telah terlibat, baik secara langsung maupun tidak langsung dari awal perkuliahan hingga akhir penulisan skripsi ini

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat di masa yang akan datang. Penulis juga menyadari bahwa karya ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap segala bentuk masukan dan saran yang membangun untuk pengembangan lebih lanjut.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Malang, 17 Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
ABSTRAK.....	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II STUDI PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terkait	5
2.2 Daun Bawang.....	9
2.3 Hidroponik.....	10
2.4 Internet of Things.....	10
2.5 Fuzzy Mamdani	11
2.5.1 Fuzzifikasi	12
2.5.2 Aplikasi Aturan <i>Fuzzy (Rule Evaluation)</i>	13
2.5.3 Inferensi (Agregasi)	13
2.5.4 Defuzzifikasi.....	14
BAB III METODE PENELITIAN	15
3.1 Analisis Kebutuhan Sistem	16
3.1.1 Kebutuhan Perangkat Keras	16
3.1.2 Kebutuhan Perangkat Lunak.....	23
3.2 Implementasi Metode <i>Fuzzy Mamdani</i>	29
3.2.1 Pembentukan Himpunan <i>Fuzzy (Fuzzifikasi)</i>	30
3.2.2 Pembentukan Aturan <i>Fuzzy</i>	36
3.2.3 Inferensi Fuzzy	37
3.2.4 Defuzzifikasi	39
3.3 Skenario Uji Coba.....	40
3.3.1 Pengujian Sistem.....	40
3.3.2 Pengujian Kalibrasi Sensor	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1 Implementasi Sistem	43
4.1.1 Hasil Implementasi Perangkat Keras	44
4.1.2 Hasil Implementasi Perangkat Lunak.....	47
4.1.3 Pengujian Kalibrasi Sensor	53
4.1.4 Pengujian Sistem.....	57
4.1.5 Pengujian Aktuator Pompa	60

4.2 Hasil Analisis	62
4.3 Kajian Islam	63
BAB V PENUTUP	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian	15
Gambar 3.2 Mikrokontroler ESP32	17
Gambar 3.3 Sensor pH	18
Gambar 3.4 Sensor TDS.	19
Gambar 3.5 Relay	20
Gambar 3.6 Pompa Air Mini	21
Gambar 3.7 Power Supply	22
Gambar 3.8 Desain Sistem.....	24
Gambar 3.9 Desain Perangkat.....	25
Gambar 3.10 Desain Tampilan	26
Gambar 3.11 Derajat Keanggotaan Ph.....	27
Gambar 3.12 Derajat Keanggotaan TDS	29
Gambar 3.13 Derajat Keanggotaan Pompa.....	32
Gambar 4.1 Rangkaian.....	42
Gambar 4.2 Media Tanam Hidroponik.....	43
Gambar 4.3 Dashboard Monitoring Sistem	45
Gambar 4.4 Logika Fuzzy Mamdani	46
Gambar 4.5 Larutan pH Buffer.....	51
Gambar 4.6 Nilai Sensor pH.....	51
Gambar 4.7 Pembacaan Alat Ukur TDS Meter	53
Gambar 4.8 Pembacaan Sensor TDS	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terkait	8
Tabel 3.1 Rule Fuzzy	33
Tabel 3.2 Rencana Pengujian Kalibrasi Sensor	39
Tabel 4.1 Hasil Kalibrasi Sensor pH.....	52
Tabel 4.2 Hasil Kalibrasi Sensor TDS	55
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian.....	56
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Pompa.....	62

ABSTRAK

Rapsanjani, Khalif Akbar. 2025. **Sistem Monitoring dan Pengendalian pH serta Nutrisi pada Budidaya Hidroponik Tanaman Daun Bawang Berbasis Internet of Things Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani**. Skripsi. Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom. (II) Roro Inda Melani, M.T, M.Sc.

Kata Kunci: Fuzzy Mamdani, Hidroponik, *Internet of Things* (IoT), pH, Sistem Monitoring, *Total Dissolved Solids* (TDS).

Budidaya hidroponik memerlukan pengelolaan kualitas air yang tepat, terutama pada parameter pH dan konsentrasi nutrisi yang dinyatakan dalam *Total Dissolved Solids* (TDS). Pengelolaan secara manual sering kali kurang efektif karena membutuhkan pemantauan berkala dan penyesuaian yang akurat. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring dan pengendalian pH serta nutrisi pada budidaya hidroponik tanaman daun bawang berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan metode *Fuzzy Mamdani*. Sistem dikembangkan menggunakan *mikrokontroler* ESP32 yang terintegrasi dengan sensor pH, sensor TDS, modul ADS1115, serta empat pompa aktuator yang terdiri atas pompa pH Up, pompa pH Down, pompa nutrisi, dan pompa air. Data hasil pembacaan sensor diproses menggunakan metode *Fuzzy Mamdani* untuk menentukan durasi aktivasi pompa berdasarkan kondisi pH dan TDS, kemudian dikirimkan ke *server* melalui jaringan *internet* dan ditampilkan pada *dashboard* berbasis *web* secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan *monitoring* dan pengendalian kualitas air secara otomatis sesuai dengan aturan *fuzzy* yang telah ditetapkan. Hasil kalibrasi sensor menunjukkan nilai error sebesar 0,18% pada sensor pH dan 6,06% pada sensor TDS. Selain itu, pengujian aktuator menunjukkan nilai error sebesar 0%, di mana seluruh pompa berhasil bekerja sesuai dengan perintah yang dihasilkan oleh sistem. Data hasil monitoring juga berhasil dikirim dan ditampilkan pada *dashboard* secara *real-time*. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat membantu menjaga kestabilan kualitas air pada budidaya hidroponik tanaman daun bawang sehingga mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal.

ABSTRACT

Rapsanjani, Khalif Akbar. 2025. *An Internet of Things-Based Monitoring and Control System for pH and Nutrient Levels in Green Onion Hydroponic Cultivation Using the Fuzzy Mamdani Method*. Thesis. Department of Informatics Engineering, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisors: (I) Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom. (II) Roro Inda Melani, M.T., M.Sc.

Keywords: Fuzzy Mamdani, Hydroponics, *Internet of Things* (IoT), Monitoring System, pH, *Total Dissolved Solids* (TDS).

Hydroponic cultivation requires proper water quality management, particularly in terms of pH and nutrient concentration parameters expressed as Total Dissolved Solids (TDS). Manual management is often less effective because it requires periodic monitoring and accurate adjustments. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based monitoring and control system for pH and nutrient management in hydroponic scallion cultivation using the Fuzzy Mamdani method. The system was developed using an ESP32 microcontroller integrated with a pH sensor, a TDS sensor, an ADS1115 module, and four actuator pumps consisting of a pH Up pump, a pH Down pump, a nutrient pump, and a water pump. Sensor readings are processed using the Fuzzy Mamdani method to determine pump activation duration based on pH and TDS conditions, then transmitted to a server via the internet and displayed on a web-based dashboard in real time. The testing results show that the system is capable of automatically monitoring and controlling water quality according to the predefined fuzzy rules. Sensor calibration results indicate an error rate of 0.18% for the pH sensor and 6.06% for the TDS sensor. In addition, actuator testing achieved an error rate of 0%, where all pumps operated according to the commands generated by the system. Monitoring data were also successfully transmitted and displayed on the dashboard in real time. Therefore, the developed system can help maintain water quality stability in hydroponic scallion cultivation, thereby supporting optimal plant growth.

مستخلص البحث

رابسانجاني، خليف أكبر. ٢٠٢٥. نظام مراقبة والتحكم في درجة الحموضة ومستويات المغذيات في زراعة البصل الأخضر المائية المعتمد على إنترنت الأشياء باستخدام طريقة مامداني الضبابية. رسالة جامعية. قسم هندسة المعلوماتية، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانغ. المشرفان: (١) يوهان إريكا واهيو براكاسا، ماجستير في علوم الحاسوب، (٢) رورو إندا ميلاني، ماجستير في الهندسة، ماجستير في العلوم

.الكلمات المفتاحية: نظام المراقبة، الزراعة المائية، إنترنت الأشياء، مامداني الضبابية، درجة الحموضة، المواد الصلبة الذائبة الكلية

وتركيز (pH) تتطلب الزراعة المائية (الهيدروبونيك) إدارة دقيقة لجودة المياه، وخاصة فيما يتعلق بدرجة الحموضة يَشْهَدُ تَطَوُّرُ تَقْنِيَّةِ الْمَرْكَبَاتِ الْكَهْرَبَائِيَّةِ فِي إِنْدُونِيسِيَا تَمْوًا سَرِيْعًا، إِلَّا أَنَّ الْمُسْتَهْلِكِينَ مَا زَالُوا يُوَجِّهُونَ ضَعْفًا فِي الْمَغْذِيَّاتِ. وغالبًا ما تكون الإدارة اليدوية أقل فعالية لأنها تتطلب مراقبة دورية وتعديلات دقيقة. (TDS) المعبر عنه بإجمالي المواد الصلبة الذائبة تهدف هذه الدراسة إلى تصميم وتنفيذ نظام لمراقبة والتحكم في درجة الحموضة والمغذيات في زراعة البصل الأخضر المائية بالاعتماد تم تطوير النظام باستخدام المتحكم (Fuzzy Mamdani) باستخدام طريقة مامداني الضبابية (IoT) على تقنية إنترنت الأشياء وأربع مضخات تشغيلية تشمل مضخة رفع، ADS1115 ووحدة، TDS ومستشعر، pH المدمج مع مستشعر ESP32 الدقيق ومضخة المغذيات، ومضخة المياه. تتم معالجة (pH Down) ومضخة خفض درجة الحموضة (pH Up) درجة الحموضة ثم تُرْسَلُ الْبَيَانَاتُ، TDS و pH بيانات المستشعرات باستخدام طريقة مامداني الضبابية لتحديد مدة تشغيل المضخات بناءً على قيم إلى الخادم عبر شبكة الإنترنت وتُعرض على لوحة تحكم ويب بشكل آلي. أظهرت نتائج الاختبار أن النظام قادر على مراقبة جودة المياه والتحكم فيها تلقائيًا وفقًا لقواعد المنطق الضبابي المحددة مسبقًا. كما أظهرت نتائج معايرة المستشعرات نسبة خطأ بلغت 0.18 %، بالإضافة إلى ذلك، حققت اختبارات المشغلات (المضخات) نسبة دقة بلغت 100 TDS. و 6.06% لمستشعر pH ومستشعر حيث عملت جميع المضخات وفقًا للأوامر الصادرة عن النظام. كما تم إرسال بيانات المراقبة وعرضها بنجاح على لوحة التحكم بشكل آلي. وبناءً على ذلك، يمكن للنظام المطور أن يساعد في الحفاظ على استقرار جودة المياه في زراعة البصل الأخضر المائية، مما يدعم النمو الأمثل للنباتات.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

. Pertanian merupakan sektor penting yang berperan sebagai sumber pendapatan masyarakat sekaligus penyedia bahan pangan. Namun, berkurangnya lahan pertanian dan keterbatasan air bersih menuntut adanya metode budidaya yang lebih efisien, hemat air, dan dapat diterapkan pada lahan sempit, terutama di perkotaan (Kusumaningrum, 2019).

Salah satu komoditas yang banyak dibudidayakan adalah daun bawang karena memiliki permintaan tinggi, masa tanam relatif singkat, dan nilai ekonomi yang baik. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa produksi daun bawang di Indonesia pada tahun 2024 mencapai 6.269.541,81 kuintal atau sekitar 626.954 ton, sehingga pengembangan budidayanya masih sangat relevan untuk diteliti (Badan Pusat Statistik, 2024).

Dalam budidaya daun bawang, keseimbangan pH dan nutrisi air sangat penting karena kondisi yang tidak sesuai dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Oleh sebab itu, kualitas larutan perlu dijaga agar tanaman dapat tumbuh optimal (Meltin, 2009).

Salah satu metode budidaya yang dapat digunakan adalah hidroponik *wick*, yaitu sistem tanam tanpa tanah yang memanfaatkan sumbu untuk menyalurkan larutan nutrisi ke media tanam. Sistem ini sederhana, hemat biaya, tidak memerlukan pompa, dan cocok untuk tanaman seperti daun bawang (Izzuddin,

2016). Namun, sistem *wick* memiliki kelemahan dalam pemantauan pH dan nutrisi karena tidak menggunakan sirkulasi aktif, sehingga perubahan kondisi larutan sering terlambat diketahui (Sundoro, 2022).

Pemanfaatan teknologi *Internet of Things (IoT)* melalui sensor pH, sensor TDS, dan mikrokontroler ESP32 dapat membantu memantau kondisi larutan secara otomatis dan *real-time*, sehingga pengguna lebih mudah mengontrol sistem hidroponik (Seni, 2022). Selain itu, diperlukan sistem pengambilan keputusan otomatis agar penyesuaian pH dan nutrisi dapat dilakukan secara cepat dan tepat berdasarkan data sensor (Suryatini et al., 2021).

Untuk mendukung proses tersebut, digunakan metode *Fuzzy Mamdani* yang mampu mengolah data pH dan TDS serta menentukan tindakan yang sesuai secara fleksibel seperti cara berpikir manusia. Metode ini cocok diterapkan pada lingkungan hidroponik yang dinamis sehingga sistem menjadi lebih adaptif dan efisien (Putra, 2020).

Dengan menggabungkan teknologi IoT dan *Fuzzy Mamdani*, sistem hidroponik *wick* dapat memantau, menganalisis, dan mengendalikan kondisi pH serta nutrisi secara otomatis dan *real-time*. Sistem ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi budidaya daun bawang serta mendukung pengembangan pertanian modern yang sederhana dan efektif di Indonesia (Dida & Watiasih, 2022).

Dalam Islam, pertanian merupakan sektor penting yang dianjurkan untuk dikelola dengan baik. Al-Qur'an mengajarkan umat manusia untuk menjaga dan memanfaatkan sumber daya alam secara bijaksana. Salah satunya dijelaskan dalam Surah Al-Baqarah ayat 164, Allah SWT berfirman:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ وَالْفُلْكِ الَّتِي تَجْرِي فِي الْبَحْرِ بِمَا يَنْفَعُ النَّاسَ وَمَا أَنْزَلَ اللَّهُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ مَّاءٍ فَأَخْيَا بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَتَصْرِيفِ الرِّيْحِ وَالسَّحَابِ الْمُسَخَّرِ بَيْنَ السَّمَاءِ وَالْأَرْضِ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ

"Sesungguhnya pada penciptaan langit dan bumi, pergantian malam dan siang bahtera yang berlayar di laut dengan (muatan) yang bermanfaat bagi manusia, apa yang Allah turunkan dari langit berupa air, lalu dengannya Dia menghidupkan bumi setelah mati (kering), dan Dia menebarkan di dalamnya semua jenis hewan, dan pengisaran angin dan awan yang dikendalikan antara langit dan bumi, (semua itu) sungguh merupakan tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang mengerti.."(Q.S al Baqoroh: 164).

Menurut tafsir Kementerian Agama Republik Indonesia, Surah Al-Baqarah ayat 164 menjelaskan berbagai tanda kebesaran Allah yang tampak pada penciptaan langit dan bumi, pergantian siang dan malam, turunnya hujan yang menghidupkan tanah, keberagaman makhluk hidup, pergerakan angin, serta awan yang dikendalikan-Nya. Seluruh fenomena tersebut merupakan bukti kekuasaan dan kebijaksanaan Allah yang dapat dipahami oleh manusia yang mau berpikir dan mengambil pelajaran (Kementerian Agama Republik Indonesia, 2019).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana mengembangkan sistem otomatis berbasis IoT yang dapat memantau dan mengelola pH serta nutrisi air dalam hidroponik daun bawang menggunakan *algoritma Fuzzy Mamdani?*.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tetap terfokus dan sesuai dengan ruang lingkup yang ditetapkan, beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini tidak mengevaluasi pertumbuhan tanaman secara agronomis, seperti tinggi tanaman, jumlah daun, atau hasil panen.
2. Parameter yang dipantau dan dikendalikan dalam penelitian ini adalah kadar nutrisi (PPM) dan pH air.
3. Pengujian dilakukan dalam skala laboratorium atau skala kecil.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang, mengembangkan, dan menguji sistem pengelolaan nutrisi dan pH berbasis IoT dengan pendekatan *fuzzy Mamdani* pada budidaya hidroponik tanaman daun bawang.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi Petani Hidroponik: Memudahkan dalam pemantauan dan pengaturan nutrisi serta pH air, sehingga meningkatkan produktivitas dan efisiensi budidaya.
2. Bagi Peneliti: Menjadi referensi dalam pengembangan sistem berbasis IoT dan kecerdasan buatan dalam bidang pertanian.
3. Bagi Dunia Pendidikan: Menambah wawasan dalam penerapan teknologi IoT dan *Fuzzy Mamdani* dalam sistem pengelolaan pertanian modern.
4. Bagi Industri Pertanian: Memberikan solusi inovatif dalam peningkatan efisiensi produksi tanaman dengan teknologi otomatisasi.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian oleh Rahib et al. (2020) mengembangkan sistem otomatis berbasis IoT untuk mengendalikan pH pada sistem hidroponik menggunakan *Fuzzy Logic Controller*. Sistem ini memantau kondisi tanaman secara *real-time* dan melakukan penyesuaian pH secara otomatis, namun fokusnya hanya pada pengaturan pH tanpa pengelolaan nutrisi maupun target tanaman tertentu. Selain itu, penelitian tersebut masih bersifat umum untuk berbagai jenis tanaman dan tidak membahas metode hidroponik spesifik. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah penelitian ini hanya mengatur pH, sedangkan penelitian yang akan dilakukan akan mengelola pH sekaligus nutrisi secara otomatis menggunakan algoritma *Fuzzy Mamdani* pada tanaman daun bawang dalam sistem hidroponik *wick*.

Putri et al. (2023) mengembangkan sistem otomatisasi pengendalian pH larutan nutrisi pada metode hidroponik *Deep Flow Technique* (DFT) berbasis IoT. Sistem ini berhasil menjaga pH tetap stabil dan meningkatkan pertumbuhan tanaman kangkung, namun proses pengambilan keputusannya masih bersifat langsung tanpa algoritma *fuzzy*, serta tidak mencakup pengaturan nutrisi. Selain itu, penelitian ini hanya berfokus pada satu parameter, yaitu pH, dan menggunakan metode hidroponik yang berbeda. Perbedaannya dengan penelitian yang akan dilakukan adalah penelitian ini tidak menggunakan algoritma *fuzzy* dan tidak mengatur nutrisi, sedangkan penelitian yang akan dilakukan akan menerapkan

Fuzzy Mamdani pada sistem hidroponik *wick* untuk mengatur pH dan nutrisi secara bersamaan pada tanaman daun bawang.

Penelitian oleh Suryatini et al. (2020) membahas sistem kendali otomatis berbasis IoT untuk pengelolaan nutrisi dan level air pada sistem hidroponik NFT menggunakan algoritma *Fuzzy Mamdani*. Sistem tersebut efektif menjaga konsentrasi nutrisi dan tinggi air sesuai kebutuhan tanaman, namun belum mengintegrasikan pengaturan pH sebagai parameter penting dalam hidroponik. Selain itu, penelitian ini menggunakan metode hidroponik NFT yang memiliki karakteristik aliran berbeda dibandingkan *wick system*. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah penelitian ini berfokus pada nutrisi dan air, sedangkan penelitian yang akan dilakukan akan mengatur dua parameter utama, yaitu pH dan nutrisi, menggunakan *Fuzzy Mamdani* dalam sistem hidroponik *wick* untuk tanaman daun bawang.

Prasetyo et al. (2021) mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian sirkulasi air pada hidroponik berbasis IoT dengan metode *Fuzzy Sugeno*, di mana parameter yang dikontrol adalah suhu, kelembaban, dan level air guna mendukung pertumbuhan tanaman sawi. Penelitian ini tidak mengatur pH maupun nutrisi secara otomatis, dan fokusnya lebih kepada pengendalian kondisi lingkungan serta sirkulasi air pada metode hidroponik *Deep Flow Technique*. Berbeda dengan penelitian tersebut, penelitian yang akan dilakukan lebih menekankan pada pengelolaan pH dan nutrisi sebagai parameter utama, menggunakan *Fuzzy Mamdani* pada sistem hidroponik *wick* untuk tanaman daun bawang.

Putra et al. (2023) mengembangkan sistem hidroponik *wick* berbasis IoT yang mengatur stabilitas pH dan level air secara otomatis. Sistem ini mampu mempertahankan pH pada kisaran optimal, tetapi belum mencakup pengelolaan nutrisi dan tidak menggunakan algoritma *fuzzy* dalam proses pengendalian. Selain itu, penelitian tersebut berfokus pada pemantauan dan pengaturan dasar tanpa mekanisme pengambilan keputusan cerdas. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah sistem yang akan dikembangkan tidak hanya mengatur pH tetapi juga nutrisi menggunakan algoritma *Fuzzy Mamdani* untuk menyediakan pengontrolan yang lebih adaptif dan tepat bagi pertumbuhan tanaman daun bawang pada sistem hidroponik *wick*.

Tabel 2.1 Penelitian Terkait

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tahun	Hasil Penelitian
1	Rahib, et al	Sistem Pengendali pH Air dan Pemantauan Lingkungan Tanaman Hidroponik	2020	Penelitian ini mengembangkan sistem otomatis untuk mengendalikan pH air pada hidroponik menggunakan logika <i>fuzzy</i> dan IoT. Sistem mampu menstabilkan pH secara <i>real-time</i> , namun fokus hanya pada kontrol pH tanpa pengaturan nutrisi.
2	Putri, et al	Pengembangan Sistem Otomatisasi pH Larutan Nutrisi pada Hidroponik	2023	Penelitian ini mengembangkan sistem otomatisasi pengendalian pH pada hidroponik DFT berbasis IoT. Sistem mampu menjaga pH tetap stabil, tetapi tidak menggunakan algoritma <i>fuzzy</i> dan tidak mengatur nutrisi. Fokus penelitian hanya pada satu parameter, yaitu pH.
3	Suryatini, et al	Sistem Kendali Nutrisi Hidroponik berbasis <i>Fuzzy</i>	2020	Penelitian ini mengembangkan sistem kontrol nutrisi dan level air pada hidroponik NFT menggunakan algoritma <i>Fuzzy Mamdani</i> . Sistem efektif mengatur konsentrasi nutrisi, namun tidak mengintegrasikan kontrol pH

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tahun	Hasil Penelitian
				dan tidak menggunakan metode hidroponik wick.
4	Prasetyo, et al	Implementasi IoT pada Sistem Monitoring dan Pengendali Sirkulasi Air	2021	Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian sirkulasi air serta kondisi lingkungan pada hidroponik DFT menggunakan IoT dan <i>Fuzzy Sugeno</i> . Penelitian berfokus pada suhu, kelembaban, dan aliran air, bukan pengaturan pH atau nutrisi.
5	Putra, et al	Memonitor Hidroponik Dengan Sistem Wick Berbasis Internet Of Things (IoT) Menggunakan Mikrokontroler Dengan Metode <i>Fuzzy Logic</i>	2023	Penelitian ini mengembangkan sistem hidroponik wick berbasis IoT yang mengatur pH dan level air secara otomatis. Sistem dapat menjaga pH tetap stabil, namun belum mengelola nutrisi dan tidak menggunakan algoritma <i>fuzzy Mamdani</i> dalam proses pengendalian.

Penelitian yang akan dilakukan memiliki perbedaan yang cukup jelas dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya. Pada penelitian Rahib et al. (2020) dan Putri et al. (2023), sistem yang dibuat hanya mengatur pH tanpa mengatur nutrisi. Penelitian Suryatini et al. (2020) justru hanya mengatur nutrisi dan level air tanpa mengatur pH. Sementara itu, penelitian Prasetyo et al. (2021) fokus pada pengaturan sirkulasi air dan kondisi lingkungan, bukan pada pH atau nutrisi. Penelitian Putra et al. (2023) memang menggunakan sistem *wick* seperti penelitian ini, tetapi hanya mengatur pH dan level air tanpa menggunakan algoritma *fuzzy* untuk pengambilan keputusan. Oleh karena itu, penelitian yang akan dilakukan menjadi berbeda karena mengatur dua hal sekaligus, yaitu pH dan nutrisi, serta menggunakan algoritma *Fuzzy Mamdani* agar pengaturan lebih otomatis dan tepat. Penelitian ini juga difokuskan khusus pada tanaman daun bawang dalam sistem

hidroponik *wick*, sehingga hasilnya diharapkan lebih sesuai dengan kebutuhan tanaman tersebut.

2.2 Daun Bawang

Daun bawang (*Allium fistulosum* L.) adalah tanaman hortikultura yang memiliki banyak manfaat, terutama dalam dunia kuliner (Aprilia, 2023). Tanaman ini dikenal dengan batangnya yang panjang dan berwarna hijau, sering digunakan sebagai bumbu atau pelengkap masakan. Daun bawang memiliki rasa yang sedikit pedas, yang menambah cita rasa pada berbagai hidangan, terutama di masakan Asia. Selain digunakan untuk bumbu masakan, daun bawang juga kaya akan kandungan gizi, seperti vitamin A, C, dan berbagai mineral yang baik untuk kesehatan tubuh, termasuk untuk menjaga sistem pencernaan dan meningkatkan daya tahan tubuh (Aryanta, 2019).

Tanaman daun bawang tumbuh dengan cepat dan mudah dijaga. Ia dapat ditanam di berbagai jenis tanah asalkan tanah tersebut memiliki pH netral atau sedikit asam. Daun bawang lebih menyukai kondisi suhu yang sejuk, dan umumnya mudah beradaptasi dengan berbagai kondisi iklim. Untuk mencapai pertumbuhan yang optimal, tanaman ini membutuhkan kadar nutrisi yang seimbang, terutama nitrogen, fosfor, dan kalium. Nitrogen penting untuk mendukung pertumbuhan daun, fosfor membantu pembentukan akar yang sehat, dan kalium mendukung ketahanan tanaman terhadap penyakit dan stres lingkungan. pH tanah yang ideal untuk daun bawang adalah antara 6,0 hingga 7,0, karena pada rentang pH ini tanaman dapat menyerap nutrisi dengan lebih efisien. Meskipun dapat tumbuh dengan baik di tanah terbuka, daun bawang juga bisa ditanam dalam pot atau wadah

lain, membuatnya cocok untuk ditanam di pekarangan rumah atau kebun kecil. Keunggulan daun bawang adalah kemampuannya untuk tumbuh dengan baik dalam waktu singkat, sehingga sering digunakan sebagai tanaman komoditas yang mudah dipanen secara berkala (Meltin, 2009).

2.3 Hidroponik

Hidroponik adalah metode budidaya tanaman tanpa menggunakan tanah, di mana akar tanaman tumbuh dalam larutan yang mengandung nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhannya. Metode ini memungkinkan tanaman untuk memperoleh semua nutrisi yang dibutuhkan secara langsung dari air. Beberapa sistem hidroponik yang umum digunakan antara lain *Nutrient Film Technique* (NFT), *Deep Water Culture* (DWC), dan *Wick System*. Setiap sistem memiliki keunggulannya sendiri, seperti NFT yang cocok untuk tanaman dengan akar kecil, DWC yang ideal untuk tanaman yang memerlukan banyak air, dan *Wick System* yang lebih sederhana dan hemat biaya. Hidroponik sangat cocok untuk daerah dengan keterbatasan lahan atau air (Izzuddin, 2016).

2.4 Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang menghubungkan berbagai perangkat fisik melalui jaringan internet, memungkinkan perangkat tersebut untuk saling bertukar data secara otomatis tanpa memerlukan interaksi langsung dari manusia (Selay et al., 2022). IoT menggunakan sensor dan perangkat pengindra untuk memantau dan mengontrol berbagai parameter dalam sistem yang terhubung, seperti suhu, kelembaban, dan pH. Dalam dunia pertanian, IoT digunakan untuk

meningkatkan efisiensi dan produktivitas dengan memungkinkan petani untuk memantau kondisi tanaman dan lingkungan secara *real-time* melalui perangkat yang terhubung. Teknologi ini memungkinkan pengumpulan data yang lebih akurat, yang dapat dianalisis untuk pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam pengelolaan sumber daya pertanian (Sugandi, 2025).

Penerapan IoT dalam pertanian memungkinkan sistem yang lebih cerdas, di mana perangkat seperti sensor kelembaban tanah, pH air, dan sensor suhu dapat memberikan informasi yang dibutuhkan untuk pengelolaan tanaman secara otomatis (Setyawan et al., 2024). Hal ini mengarah pada penghematan penggunaan air, pupuk, dan pestisida, serta mengurangi biaya operasional. Dengan IoT, petani dapat melakukan pengaturan lebih presisi terhadap kondisi pertanian, meningkatkan hasil panen, dan mengurangi risiko kesalahan manusia (Setiawan & Sulistyasni, 2024).

2.5 Fuzzy Mamdani

Fuzzy Mamdani adalah salah satu metode dalam logika *fuzzy* yang paling banyak digunakan dalam sistem pengambilan keputusan dan pengendalian. Metode ini dikembangkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 dan telah banyak diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk pengendalian sistem otomatis, pengolahan sinyal, dan pengambilan keputusan yang melibatkan ketidakpastian. Dalam pendekatan *Fuzzy Mamdani*, *input* yang bersifat linguistik (seperti "tinggi", "rendah", "sedang") diubah menjadi nilai numerik menggunakan fungsi keanggotaan *fuzzy*. Proses ini memungkinkan pengolahan informasi yang tidak

pasti atau kabur dengan cara yang lebih fleksibel dan intuitif dibandingkan dengan logika klasik yang hanya mengandalkan nilai pasti (Rindengan & Langi, 2019).

Metode *Fuzzy Mamdani* sangat populer dalam berbagai aplikasi teknik, terutama dalam sistem kendali otomatis. Dalam *Fuzzy Mamdani*, keputusan atau *output* dihasilkan berdasarkan aturan-aturan yang disusun dalam bentuk "jika-maka" (*if-then*), di mana kondisi tertentu akan menghasilkan aksi atau keputusan tertentu. Misalnya, dalam sistem pengendalian suhu, aturan fuzzy dapat menyatakan "jika suhu tinggi, maka turunkan suhu". Keuntungan utama dari *Fuzzy Mamdani* adalah kemampuannya untuk menangani ketidakpastian dengan baik dan memberikan hasil yang lebih realistis ketika data *input* tidak bersifat pasti. Salah satu contoh penerapannya adalah dalam sistem kendali pH dan nutrisi pada pertanian hidroponik, di mana *Fuzzy Mamdani* dapat mengatur parameter-parameter tersebut berdasarkan *input* sensor yang memiliki fluktuasi atau ketidakpastian (Rusli, 2017). Menurut (Iancu, 2012) Proses kerja metode Mamdani terdiri dari beberapa tahapan, yaitu:

2.5.1 Fuzzifikasi

Tahap fuzzifikasi merupakan proses mengubah nilai *input* yang bersifat tegas (*crisp*) menjadi nilai *fuzzy* dengan menggunakan fungsi keanggotaan. Dalam konteks sistem ini, *input* yang digunakan adalah nilai pH air dan nilai TDS atau nutrisi yang terbaca dari sensor.

Contohnya:

- Nilai pH dapat dikategorikan menjadi asam, netral, dan basa.
- Nilai TDS atau nutrisi dapat dikategorikan menjadi rendah, normal, dan tinggi.

Setiap kategori tersebut memiliki derajat keanggotaan tertentu yang menggambarkan seberapa besar nilai *input* termasuk dalam himpunan *fuzzy* tersebut.

2.5.2 Aplikasi Aturan *Fuzzy* (*Rule Evaluation*)

Tahap ini merupakan inti dari sistem inferensi *fuzzy*. Setiap aturan *fuzzy* disusun berdasarkan logika if-then yang menggambarkan hubungan antara kondisi *input* (pH dan nutrisi) dengan *output* yang diharapkan, yaitu tindakan pada pompa (pH up, pH down, Nutrisi dan Air).

Contoh aturan:

- Jika pH rendah dan nutrisi rendah, maka aktifkan pompa pH up dan pompa nutrisi.
- Jika pH tinggi dan nutrisi normal, maka aktifkan pompa pH down.
- Jika pH normal dan nutrisi normal, maka semua pompa dimatikan.

Aturan-aturan tersebut dibentuk berdasarkan kebutuhan sistem untuk menjaga keseimbangan nutrisi dan pH air agar tetap sesuai dengan kondisi ideal bagi pertumbuhan daun bawang.

2.5.3 Inferensi (Agregasi)

Pada tahap ini, seluruh hasil dari aturan-aturan *fuzzy* yang telah diterapkan akan dikombinasikan untuk menghasilkan keluaran dalam bentuk *fuzzy*. Proses agregasi ini dilakukan menggunakan beberapa metode seperti:

- Metode MAX, yaitu mengambil nilai keanggotaan tertinggi dari semua aturan yang relevan.

- Metode SUM, yaitu menjumlahkan nilai keanggotaan dari semua aturan yang sesuai, dengan batas maksimal 1.
- Metode Probor, yaitu metode probabilistik yang menghitung keluaran dengan mempertimbangkan semua kombinasi nilai keanggotaan.

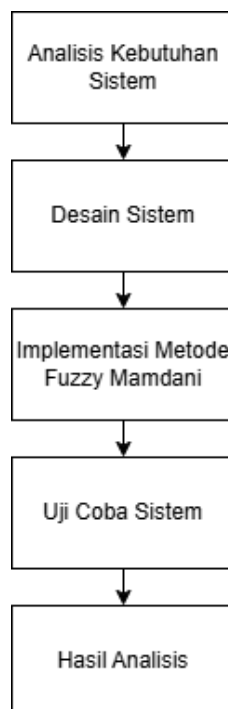
2.5.4 Defuzzifikasi

Tahap terakhir adalah defuzzifikasi, yaitu proses mengubah keluaran *fuzzy* menjadi nilai *crisp* atau nilai tegas yang dapat digunakan sistem. Dalam penelitian ini digunakan metode *Center of Area* (COA) yang mencari titik pusat dari area hasil komposisi aturan fuzzy.

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai metode yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian. Metodologi penelitian ini meliputi analisis kebutuhan sistem, desain sistem, prinsip kerja sistem, serta penerapan metode *Fuzzy Mamdani* dalam proses pengelolaan dan monitoring nutrisi serta pH air pada budidaya hidroponik tanaman daun bawang. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu memantau serta mengatur kadar nutrisi dan pH air secara *real-time*. Sistem ini diharapkan dapat membantu proses budidaya tanaman daun bawang menjadi lebih efisien dan terkontrol dengan baik. Adapun tahapan penelitian secara keseluruhan dapat dilihat pada diagram alur penelitian yang disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

Berdasarkan Gambar 3.1, penelitian diawali dengan tahap analisis kebutuhan sistem untuk mengidentifikasi kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan. Tahap selanjutnya adalah desain sistem yang mencakup perancangan perangkat keras, perangkat lunak, dan alur kerja sistem. Setelah itu dilakukan implementasi metode Fuzzy Mamdani untuk mengolah data pH dan TDS sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengendalian nutrisi dan pH air. Sistem yang telah dibangun kemudian diuji untuk mengetahui kinerjanya dalam melakukan monitoring dan pengelolaan larutan nutrisi secara otomatis. Tahap terakhir adalah analisis hasil pengujian guna mengevaluasi tingkat keberhasilan sistem yang telah dikembangkan.

3.1 Analisis Kebutuhan Sistem

Agar sistem pengelolaan dan monitoring nutrisi serta pH air pada budidaya hidroponik daun bawang berbasis IoT dengan algoritma *Fuzzy Mamdani* dapat berfungsi dengan baik, diperlukan serangkaian kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak. Berikut adalah rincian kebutuhan sistem tersebut.

3.1.1 Kebutuhan Perangkat Keras

3.1.1.1 Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler berbasis *sistem-on-chip (SoC)* yang dikembangkan oleh Espressif Systems. ESP32 dikenal sebagai versi lanjutan dari ESP8266, dengan performa yang lebih tinggi, fitur lebih lengkap, serta efisiensi daya yang lebih baik. Mikrokontroler ini sangat populer dalam pengembangan sistem *Internet of Things (IoT)* karena memiliki kemampuan komunikasi *Wi-Fi* dan

Bluetooth yang terintegrasi di dalam satu chip, sehingga tidak memerlukan modul tambahan (Cameron, 2023).



Gambar 3.2 Mikrokontroler ESP32

ESP32 memiliki prosesor dual-core 32-bit yang mampu bekerja hingga frekuensi 240 MHz, serta dilengkapi dengan berbagai antarmuka komunikasi seperti GPIO, ADC, DAC, UART, SPI, dan I2C. Fitur-fitur tersebut memungkinkan ESP32 untuk terhubung dengan berbagai sensor dan aktuator dalam suatu sistem kendali maupun monitoring. Pada penelitian ini, ESP32 digunakan sebagai pusat pengendali yang bertugas membaca data dari sensor pH dan TDS, memproses data menggunakan metode logika fuzzy Mamdani, mengendalikan pompa nutrisi dan penyesuaian pH melalui relay, serta mengirimkan data hasil monitoring ke server melalui jaringan Wi-Fi untuk ditampilkan pada dashboard berbasis web.

3.1.1.2 Sensor pH (PH-4502C)

Sensor pH (PH-4502C) merupakan sensor analog yang berfungsi untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Sensor ini banyak digunakan dalam sistem otomatisasi pertanian, akuaponik, dan hidroponik, termasuk pada penelitian ini untuk memantau pH air larutan nutrisi tanaman daun bawang. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi ion hidrogen (H^+) yang ada dalam air dan

mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca oleh mikrokontroler seperti ESP32 (Kurniawan & Amrulloh, 2024).



Gambar 3.3 Sensor pH

Sensor pH PH-4502C terdiri dari elektroda pH dan modul pengkondisi sinyal yang berfungsi mengubah tegangan hasil pembacaan elektroda menjadi sinyal analog yang dapat diproses oleh mikrokontroler. Sensor ini memiliki rentang pengukuran pH 0 hingga 14 dengan tingkat akurasi yang cukup baik untuk aplikasi hidroponik. Agar hasil pengukuran tetap akurat, sensor perlu dilakukan proses kalibrasi secara berkala menggunakan larutan buffer standar. Pada penelitian ini, sensor pH digunakan untuk memantau kondisi keasaman larutan nutrisi secara real-time, sehingga ESP32 dapat menentukan tindakan yang diperlukan melalui sistem logika fuzzy untuk menjaga nilai pH tetap berada pada rentang optimal bagi pertumbuhan tanaman daun bawang.

3.1.1.3 Sensor TDS (TDS Sensor Meter V1.0)

Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) Meter V1.0 merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur jumlah padatan terlarut (seperti garam, mineral, dan nutrisi) di dalam air (Panjaitan, 2024). Nilai TDS umumnya dinyatakan dalam satuan ppm (*part per million*) dan menjadi indikator tingkat kemurnian atau konsentrasi nutrisi pada air, khususnya pada sistem hidroponik. Sensor ini bekerja dengan cara mengukur konduktivitas listrik (EC – *Electrical Conductivity*) pada air.

Semakin banyak zat terlarut yang bersifat konduktor di dalam air, maka semakin tinggi nilai TDS-nya. Data yang diperoleh dari sensor ini kemudian diubah menjadi tegangan analog yang dapat dibaca oleh mikrokontroler seperti ESP32. Nilai tegangan tersebut akan dikonversi menjadi nilai ppm menggunakan rumus tertentu yang akan menghasilkan nilai ppm nya.



Gambar 3.4 Sensor TDS.

Sensor TDS Meter V1.0 terdiri dari probe dan modul pengolah sinyal yang dirancang untuk mengukur konsentrasi zat terlarut dalam air secara real-time. Sensor ini banyak digunakan pada sistem hidroponik karena mampu membantu memantau tingkat nutrisi yang tersedia bagi tanaman. Nilai TDS yang terlalu rendah menunjukkan bahwa kandungan nutrisi dalam larutan belum mencukupi, sedangkan nilai TDS yang terlalu tinggi dapat menyebabkan gangguan penyerapan unsur hara oleh akar tanaman. Pada penelitian ini, sensor TDS digunakan untuk mengukur konsentrasi nutrisi pada larutan hidroponik tanaman daun bawang. Data hasil pembacaan sensor kemudian diproses oleh ESP32 sebagai masukan pada sistem logika fuzzy Mamdani untuk menentukan kebutuhan penambahan nutrisi sehingga kondisi larutan tetap berada pada rentang yang optimal bagi pertumbuhan tanaman.

3.1.1.4 Relay

Relay merupakan komponen elektronik yang berfungsi sebagai saklar otomatis yang dikendalikan oleh mikrokontroler, seperti ESP32. Relay digunakan untuk menghubungkan dan memutuskan arus listrik AC ataupun DC dengan perintah dari sinyal logika bertegangan rendah (HIGH atau LOW) (Akbar et al., 2022).



Gambar 3.5 Relay

Modul relay 4 channel memiliki empat buah relay yang dapat dikendalikan secara independen oleh mikrokontroler melalui pin digital. Setiap channel relay berfungsi sebagai saklar elektronik yang memungkinkan ESP32 mengontrol perangkat dengan kebutuhan arus dan tegangan yang lebih besar dibandingkan kemampuan output pin mikrokontroler. Pada penelitian ini, relay 4 channel digunakan untuk mengendalikan empat pompa yang terdiri dari pompa pH up, pompa pH down, pompa nutrisi A, dan pompa nutrisi B. Aktivasi masing-masing pompa ditentukan berdasarkan hasil pengolahan data sensor pH dan TDS menggunakan metode logika fuzzy Mamdani, sehingga proses penyesuaian pH dan pemberian nutrisi dapat dilakukan secara otomatis sesuai kebutuhan tanaman daun bawang pada sistem hidroponik.

3.1.1.5 Pompa Air Mini

Pompa Air Mini 5V merupakan komponen yang berfungsi untuk mengalirkan atau memompa air dari satu wadah ke wadah lain dengan menggunakan tenaga listrik bertegangan rendah. Pompa ini bekerja dengan memanfaatkan motor DC kecil yang menggerakkan impeller untuk menciptakan tekanan air. Tegangan kerja pompa ini umumnya berkisar antara 3V hingga 6V DC, dengan arus operasi sekitar 0,3A–0,5A, sehingga sangat cocok digunakan dalam sistem berbasis mikrokontroler seperti ESP32 yang membutuhkan perangkat hemat daya.



Gambar 3.6 Pompa Air Mini

Pompa air mini 5V banyak digunakan pada sistem otomasi skala kecil karena memiliki ukuran yang kompak, konsumsi daya yang rendah, serta kemampuan mengalirkan cairan secara kontinu. Pada penelitian ini, pompa air mini digunakan sebagai aktuator yang bertugas menyalurkan larutan pH up, pH down, nutrisi A, dan nutrisi B ke dalam bak penampung hidroponik sesuai hasil keputusan yang dihasilkan oleh sistem logika fuzzy Mamdani. Pengoperasian pompa dikendalikan melalui modul relay 4 channel yang terhubung dengan ESP32. Dengan adanya pompa air mini, proses penyesuaian kadar nutrisi dan pH larutan dapat dilakukan secara otomatis sehingga kondisi larutan tetap berada pada rentang yang sesuai untuk mendukung pertumbuhan tanaman daun bawang secara optimal.

3.1.1.6 Power Supply

Power Supply merupakan komponen yang berfungsi untuk menyuplai daya listrik ke seluruh rangkaian sistem agar setiap komponen dapat bekerja sesuai kebutuhan tegangannya. Dalam sistem pengelolaan dan monitoring nutrisi serta pH air berbasis IoT, power supply berperan sangat penting karena menjadi sumber energi utama bagi mikrokontroler ESP32, sensor-sensor (pH dan TDS), serta perangkat aktuator seperti relay dan pompa air mini 5V 3A.



Gambar 3.7 Power Supply

Power supply bekerja dengan mengubah sumber listrik dari jaringan PLN menjadi tegangan DC yang stabil sesuai kebutuhan komponen elektronik yang digunakan. Kestabilan tegangan sangat penting untuk menjaga akurasi pembacaan sensor dan memastikan aktuator dapat beroperasi dengan baik tanpa mengalami gangguan. Pada penelitian ini, power supply digunakan untuk menyediakan daya bagi ESP32, sensor pH, sensor TDS, modul relay 4 channel, serta pompa air mini yang digunakan dalam proses pengaturan nutrisi dan pH larutan hidroponik. Dengan suplai daya yang stabil, sistem dapat melakukan monitoring dan pengendalian secara kontinu sehingga mendukung kinerja keseluruhan sistem hidroponik berbasis Internet of Things (IoT).

3.1.2 Kebutuhan Perangkat Lunak

Kebutuhan perangkat lunak pada penelitian ini digunakan untuk mendukung proses pengembangan dan pengoperasian sistem monitoring serta pengelolaan nutrisi dan pH air berbasis IoT.

3.1.2.1 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengedit, dan mengunggah program ke mikrokontroler seperti ESP32 (Muliadi et al., 2020). Arduino IDE menyediakan antarmuka yang sederhana dan mudah digunakan oleh pengguna, baik pemula maupun profesional, dalam melakukan proses pemrograman perangkat berbasis mikrokontroler. Bahasa pemrograman yang digunakan dalam Arduino IDE berbasis pada C/C++, dengan tambahan library yang mempermudah komunikasi dengan berbagai sensor dan modul.

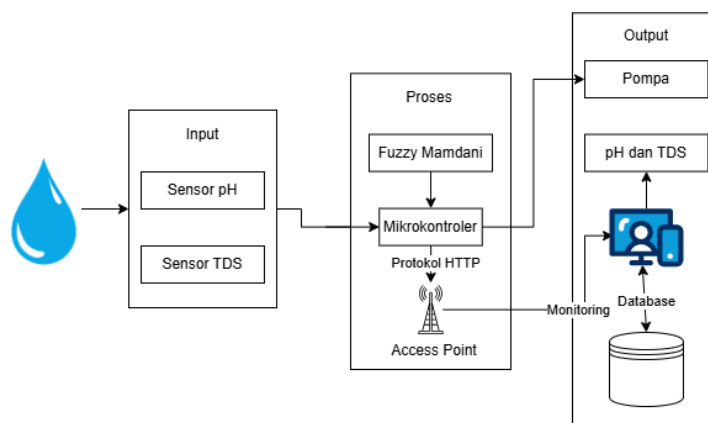
3.1.2.2 Protokol Pengiriman *HyperText* (HTTP)

HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) merupakan protokol komunikasi berbasis *client-server* yang digunakan dalam sistem ini untuk menghubungkan mikrokontroler ESP32 dengan *server web* (Rombe et al., 2019). Dalam sistem monitoring pH dan nutrisi air hidroponik daun bawang berbasis IoT ini, ESP32 berperan sebagai client yang mengirimkan data hasil pembacaan sensor pH dan TDS ke *server* melalui metode HTTP POST. Data yang diterima oleh *server* kemudian diproses dan disimpan ke dalam basis data MySQL agar dapat ditampilkan secara *real-time* pada *dashboard web*. Dengan penerapan protokol

HTTP ini, proses komunikasi antara perangkat IoT dan aplikasi *web* dapat berjalan secara efisien melalui jaringan WiFi, sehingga pengguna dapat memantau kondisi pH dan nutrisi air secara langsung tanpa perlu melakukan pengukuran manual.

3.1.2.3 Desain Sistem

Desain sistem merupakan tahapan penting dalam penelitian ini karena menggambarkan cara kerja sistem secara keseluruhan, mulai dari *input*, proses pengolahan data, hingga menghasilkan *output* yang sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem ini dirancang untuk melakukan pengelolaan dan monitoring pH serta nutrisi air pada budidaya hidroponik tanaman daun bawang secara otomatis dan *real-time*. Dengan penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan algoritma *Fuzzy Mamdani*, sistem mampu membantu pengguna dalam menjaga kestabilan kualitas air tanpa perlu melakukan pengukuran atau penyesuaian secara manual, sebagaimana dapat dilihat desain sistem pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Desain Sistem

Bagian *input* pada sistem ini terdiri dari dua sensor utama, yaitu sensor pH (PH-4502C) dan sensor TDS (*Total Dissolved Solids*). Sensor pH berfungsi untuk

mendeteksi tingkat keasaman atau kebasaan air, sedangkan sensor TDS digunakan untuk mengukur tingkat kepekatan nutrisi dalam larutan hidroponik. Kedua sensor tersebut dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pengumpulan dan pengiriman data. Nilai pH dan TDS yang diperoleh dari sensor akan menjadi masukan utama dalam proses pengolahan menggunakan algoritma *Fuzzy Mamdani* untuk menentukan kondisi kualitas air.

Proses pengolahan dimulai ketika mikrokontroler ESP32 mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke *server* melalui koneksi WiFi menggunakan protokol HTTP POST. *Server* kemudian menyimpan data tersebut ke dalam basis data MySQL dan mengolahnya dengan algoritma *Fuzzy Mamdani*. Proses *fuzzy* meliputi tahapan fuzzifikasi, penerapan aturan, inferensi, dan defuzzifikasi untuk menghasilkan keputusan yang menggambarkan kondisi air, seperti pH rendah, normal, atau tinggi, serta kadar nutrisi yang rendah, normal, atau tinggi. Hasil analisis ini selanjutnya dijadikan acuan untuk menentukan tindakan pengendalian yang diperlukan pada sistem.

Bagian *output* terdiri dari dua komponen utama, yaitu tampilan monitoring dan sistem kendali pompa otomatis. Tampilan monitoring berfungsi menampilkan grafik dan status kondisi air secara *real-time* melalui *dashboard web*, sehingga pengguna dapat memantau perubahan pH dan nutrisi secara langsung. Sementara itu, sistem kendali pompa terdiri dari empat pompa yang diatur melalui modul relay 4 channel, yaitu pompa pH Up, pompa pH Down, pompa Nutrisi dan Air. Pompa pH Up aktif ketika nilai pH terlalu rendah, pompa pH Down aktif saat pH terlalu tinggi, pompa Nutrisi aktif saat kadar nutrisi terdeteksi rendah dan pompa air aktif

saat nutrisi terlalu tinggi. Dengan sistem ini, pengaturan kualitas air dapat berlangsung otomatis dan akurat sesuai kebutuhan tanaman daun bawang.

3.1.2.4 Desain Perangkat

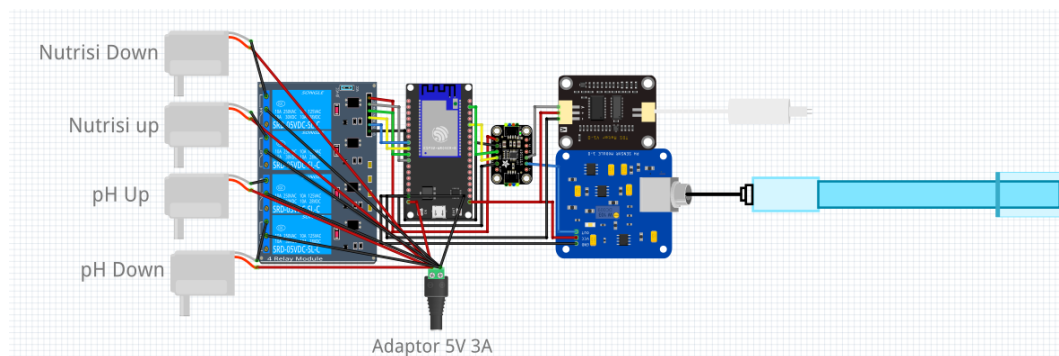
Pada tahap perancangan perangkat keras, sistem dirancang menggunakan mikrokontroler utama yaitu ESP32 DevKit V1 yang berfungsi sebagai pusat pengendali seluruh komponen pada sistem. Mikrokontroler ini dipilih karena memiliki kemampuan pemrosesan yang baik serta telah dilengkapi modul WiFi sehingga dapat digunakan untuk mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke *server* atau *dashboard web* secara nirkabel.

Sistem menggunakan dua sensor utama yaitu sensor pH dan sensor TDS untuk memantau kualitas air nutrisi hidroponik. Sensor pH yang digunakan adalah DFRobot Analog pH Sensor Kit yang berfungsi untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan larutan nutrisi. Sementara itu, pengukuran konsentrasi nutrisi dilakukan menggunakan Gravity Analog TDS Sensor yang dapat mendeteksi nilai *total dissolved solids* (TDS) dalam satuan ppm. Kedua sensor tersebut menghasilkan sinyal analog yang kemudian dibaca oleh pin analog pada ESP32 untuk diproses lebih lanjut menggunakan metode logika *fuzzy*.

Untuk mengendalikan pompa, sistem menggunakan 4 Channel Relay Module 5V yang berfungsi sebagai saklar elektronik yang dikendalikan oleh mikrokontroler. Modul relay ini memungkinkan ESP32 untuk mengaktifkan atau menonaktifkan beberapa pompa secara otomatis berdasarkan hasil keputusan dari sistem *fuzzy*. Pompa yang digunakan pada sistem terdiri dari beberapa pompa DC kecil yang berfungsi untuk menambahkan larutan Nutrisi, Air, larutan pH up, serta

larutan pH down ke dalam tangki utama. Aktivasi pompa dilakukan melalui relay yang menerima sinyal kontrol dari pin digital ESP32.

Seluruh komponen pada sistem mendapatkan suplai daya dari adaptor 5V yang kemudian didistribusikan ke mikrokontroler, sensor, dan modul relay. Pada desain rangkaian, seluruh jalur ground dari setiap komponen dihubungkan menjadi satu untuk menjaga kestabilan sistem dan memastikan komunikasi sinyal berjalan dengan baik. Desain rangkaian perangkat keras sistem ini dibuat menggunakan perangkat lunak Fritzing untuk mempermudah visualisasi koneksi antar komponen sebelum dilakukan implementasi pada perangkat sebenarnya. Adapun rancangan perangkat dapat dilihat pada gambar 3.9.



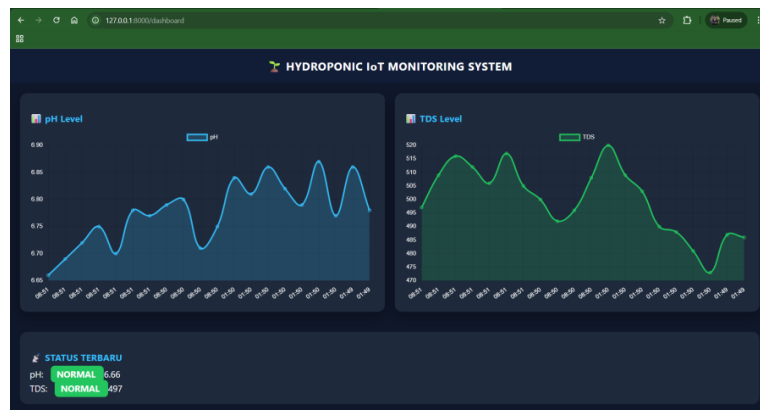
Gambar 3.9 Desain Perangkat

Gambar 3.9 menunjukkan hasil implementasi perangkat keras yang telah dirakit sesuai dengan rancangan sistem. Pada rangkaian tersebut, ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali yang terhubung dengan sensor pH dan sensor TDS untuk melakukan pemantauan kondisi larutan nutrisi secara real-time. Data yang diperoleh dari kedua sensor diproses menggunakan metode logika fuzzy Mamdani untuk menentukan tindakan pengendalian yang diperlukan. Hasil pengolahan tersebut digunakan untuk mengontrol modul relay 4 channel yang terhubung

dengan empat pompa, yaitu pompa pH up, pompa pH down, pompa nutrisi A, dan pompa nutrisi B. Seluruh komponen memperoleh suplai daya dari power supply sehingga sistem dapat beroperasi secara terpadu. Perangkat yang telah dirakit ini selanjutnya digunakan sebagai media pengujian untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam melakukan monitoring dan pengelolaan nutrisi serta pH air secara otomatis pada budidaya hidroponik tanaman daun bawang.

3.1.2.5 Desain Tampilan

Desain tampilan merupakan bagian penting dalam sistem pengelolaan dan monitoring pH serta nutrisi air hidroponik berbasis IoT ini karena berfungsi sebagai media interaksi antara pengguna dan sistem. Tampilan dibuat dalam bentuk *dashboard web* yang menampilkan informasi kondisi air secara *real-time* melalui grafik dan status pembacaan sensor. Data yang dikirim oleh mikrokontroler ESP32 akan ditampilkan dalam bentuk diagram garis untuk memudahkan pengguna dalam memantau perubahan nilai pH dan TDS dari waktu ke waktu. Selain itu, sistem juga menampilkan keterangan kondisi air seperti “pH terlalu rendah”, “nutrisi tinggi”, atau “kondisi normal” agar pengguna dapat dengan cepat memahami situasi tanpa harus membaca nilai numerik secara detail. Desain tampilan memiliki tata letak yang responsif agar dapat diakses dengan nyaman melalui perangkat komputer maupun ponsel. Dengan adanya desain tampilan ini, pengguna dapat melakukan pemantauan kondisi air hidroponik daun bawang secara mudah, cepat, dan efisien. Adapun rancangan tampilan sistem dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Desain Tampilan

Gambar 3.10 menunjukkan implementasi tampilan dashboard web yang digunakan untuk melakukan monitoring kondisi larutan nutrisi hidroponik secara real-time. Dashboard ini menampilkan informasi hasil pembacaan sensor pH dan TDS yang dikirimkan oleh ESP32 ke server melalui jaringan internet. Informasi tersebut disajikan dalam bentuk grafik untuk memudahkan pengguna dalam mengamati perubahan nilai pH dan konsentrasi nutrisi dari waktu ke waktu. Selain itu, dashboard juga menampilkan status kondisi larutan berdasarkan hasil pengolahan data, sehingga pengguna dapat mengetahui apakah nilai pH dan nutrisi berada pada kondisi rendah, normal, atau tinggi. Dengan adanya tampilan dashboard ini, proses pemantauan sistem hidroponik dapat dilakukan dengan lebih mudah, cepat, dan efisien tanpa harus melakukan pengukuran secara manual.

3.2 Implementasi Metode *Fuzzy Mamdani*

Implementasi Metode *Fuzzy Mamdani* akan dilakukan pada ESP32 dalam proses penentuan nilai pH dan Nutrisi pada air.

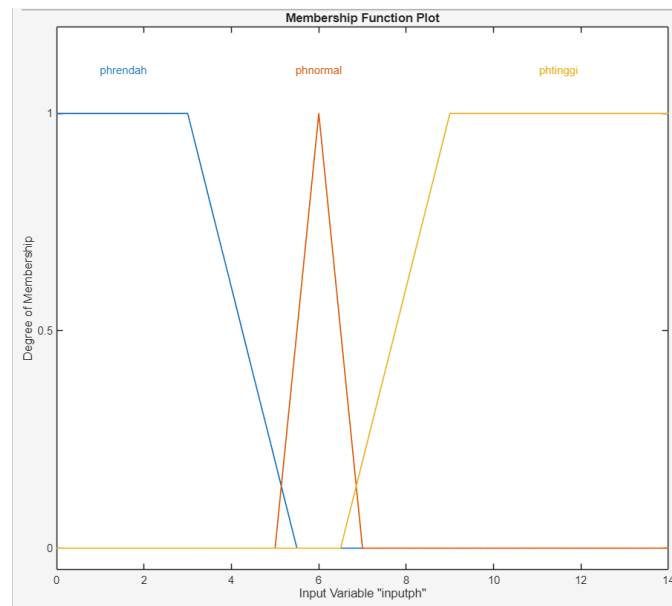
3.2.1 Pembentukan Himpunan *Fuzzy* (*Fuzzifikasi*)

Fuzzifikasi merupakan tahap awal dalam metode *Fuzzy Mamdani*, di mana nilai masukan yang semula berupa data tegas (*crisp input*) dari sensor diubah menjadi himpunan *fuzzy* berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan sebelumnya. Dalam penelitian ini, variabel *input* yang digunakan berasal dari dua sensor utama, yaitu sensor pH dan sensor TDS (*Total Dissolved Solid*). Sensor pH berfungsi untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan larutan nutrisi, sedangkan sensor TDS digunakan untuk mengukur kadar konsentrasi nutrisi dalam satuan ppm (*part per million*). Nilai dari kedua sensor tersebut kemudian dikonversi ke dalam bentuk *fuzzy* sehingga sistem dapat mengenali kondisi air secara linguistik dan melakukan proses inferensi *fuzzy* pada tahap berikutnya.

3.2.1.1 Variabel pH

Variabel pH air pada sistem hidroponik daun bawang dibagi menjadi tiga kategori utama menggunakan metode fuzzifikasi. Pembagian kategori ini mengacu pada rentang pH ideal untuk tanam daun bawang (*Allium fistulosum* L.) menurut (Santos et al., 2021), yaitu berada pada kisaran pH 5,5–6,5. Rentang tersebut diposisikan sebagai kondisi pH Normal, sedangkan nilai pH di bawah dan di atas kisaran tersebut dikatakan tidak ideal dan dimasukkan dalam kategori pH Rendah dan pH Tinggi. Dengan demikian, kategori pH yang digunakan dalam sistem fuzzy adalah sebagai berikut:

- pH Rendah 0 - 5,5
- pH Normal 5,5 – 6,5
- pH Tinggi 6,5 – 14,0



Gambar 3.11 Derajat Keanggotaan Ph

Gambar 3.11 menunjukkan pembagian nilai pH ke dalam tiga himpunan linguistik, yaitu pH Rendah, pH Normal, dan pH Tinggi. Kategori pH Rendah berada pada rentang 0 hingga 5,5 yang menunjukkan kondisi larutan bersifat terlalu asam sehingga dapat menghambat penyerapan nutrisi oleh tanaman. Kategori pH Normal berada pada rentang 5,5 hingga 6,5 yang merupakan kondisi ideal untuk pertumbuhan tanaman hidroponik karena unsur hara dapat diserap secara optimal. Sementara itu, kategori pH Tinggi berada pada rentang 6,5 hingga 14,0 yang menunjukkan kondisi larutan cenderung basa dan berpotensi mengurangi ketersediaan beberapa unsur hara bagi tanaman. Pembagian kategori ini digunakan sebagai proses fuzzifikasi dalam sistem fuzzy Mamdani untuk mengubah nilai pH yang diperoleh dari sensor menjadi nilai linguistik yang selanjutnya diproses pada tahap inferensi guna menentukan tindakan pengendalian yang sesuai.

Fungsi keanggotaan Ph dirancang pada rumus 3.1, 3.2 dan 3.3:

- pH Rendah

$$\mu p H_{Rendah}(x) = \begin{cases} 1, x \leq 5.5 \\ \frac{5.5-x}{5.5-5.0}, 5.0 < x < 5.5 \\ 0, x \geq 5.5 \end{cases} \quad (3.1)$$

- pH Normal

$$\mu p H_{Normal}(x) = \begin{cases} 0, x \leq 5.5 \text{ atau } x \geq 6.5 \\ \frac{x-5.5}{6.0-5.5}, 5.5 < x < 6.0 \\ \frac{6.5-x}{6.5-6.0}, 6.0 \leq x < 6.5 \end{cases} \quad (3.2)$$

- pH Tinggi

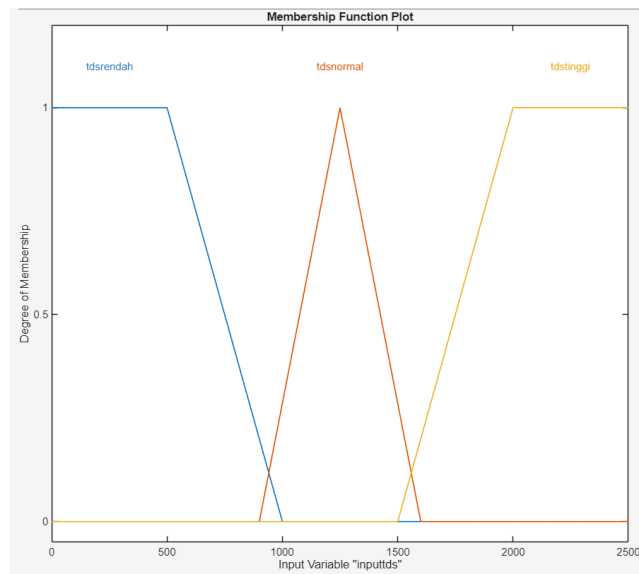
$$\mu p H_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0, x \leq 6.5 \\ \frac{x-6.5}{7.0-6.5}, 6.5 < x < 7.0 \\ 1, x \geq 7.0 \end{cases} \quad (3.3)$$

3.2.1.2 Variabel TDS

Dalam penelitian ini, variabel TDS (*Total Dissolved Solid*) digunakan untuk menggambarkan tingkat konsentrasi nutrisi yang terlarut dalam larutan hidroponik pada tanaman daun bawang. Parameter ini sangat penting karena menentukan jumlah unsur hara yang dapat diserap oleh tanaman, sehingga mempengaruhi pertumbuhan dan kualitas hasil panen. Berdasarkan penelitian Larasati (2019), tanaman daun bawang tumbuh optimal pada kisaran TDS 1000–1500 ppm. Agar nilai TDS dapat diproses melalui logika *fuzzy Mamdani*, nilai tersebut dibagi menjadi tiga kategori linguistik, yaitu TDS Rendah (<1000 ppm), TDS Normal (1000–1500 ppm), dan TDS Tinggi (>1500 ppm). Pembagian ini bertujuan memudahkan sistem dalam melakukan proses fuzzifikasi sehingga sistem mampu mengenali kondisi nutrisi secara otomatis dan menentukan tindakan pengendalian yang sesuai. Adapun kategori TDS yang digunakan adalah sebagai berikut:

- TDS Rendah 0 – 1000 ppm
- TDS Normal 1000 – 1500 ppm

- TDS Tinggi > 1500 ppm



Gambar 3.12 Derajat Keanggotaan TDS

Gambar 3.12 menunjukkan pembagian konsentrasi nutrisi ke dalam tiga himpunan linguistik, yaitu TDS Rendah, TDS Normal, dan TDS Tinggi. Kategori TDS Rendah berada pada rentang 0 hingga 1000 ppm yang menunjukkan bahwa kandungan nutrisi dalam larutan masih kurang dari kebutuhan tanaman sehingga perlu dilakukan penambahan nutrisi. Kategori TDS Normal berada pada rentang 1000 hingga 1500 ppm yang merupakan kondisi ideal karena konsentrasi nutrisi berada pada tingkat yang sesuai untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Sementara itu, kategori TDS Tinggi berada pada nilai lebih dari 1500 ppm yang menunjukkan bahwa konsentrasi nutrisi dalam larutan terlalu tinggi dan berpotensi menyebabkan ketidakseimbangan penyerapan unsur hara oleh tanaman. Pembagian kategori TDS ini digunakan pada tahap fuzzifikasi dalam sistem fuzzy Mamdani untuk mengubah nilai TDS yang dibaca sensor menjadi variabel

linguistik yang selanjutnya digunakan dalam proses inferensi untuk menentukan tindakan pengendalian nutrisi yang tepat.

Fungsi keanggotaan TDS dirancang pada rumus 3.4, 3.5 dan 3.6:

- TDS Rendah

$$\mu_{TDS_Rendah}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 800 \\ \frac{1000-x}{1000-800}, & 800 < x < 1000 \\ 0, & x \geq 1000 \end{cases} \quad (3.4)$$

- TDS Normal

$$\mu_{TDS_Normal}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 1000 \text{ atau } x \geq 1500 \\ \frac{x-1000}{1250-1000}, & 1000 < x < 1250 \\ \frac{1500-x}{1500-1250}, & 1250 \leq x < 1500 \end{cases} \quad (3.5)$$

- TDS Tinggi

$$\mu_{TDS_Tinggi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 1500 \\ \frac{x-1500}{1700-1500}, & 1500 < x < 1700 \\ 1, & x \geq 1700 \end{cases} \quad (3.6)$$

3.2.1.3 Variabel *Output*

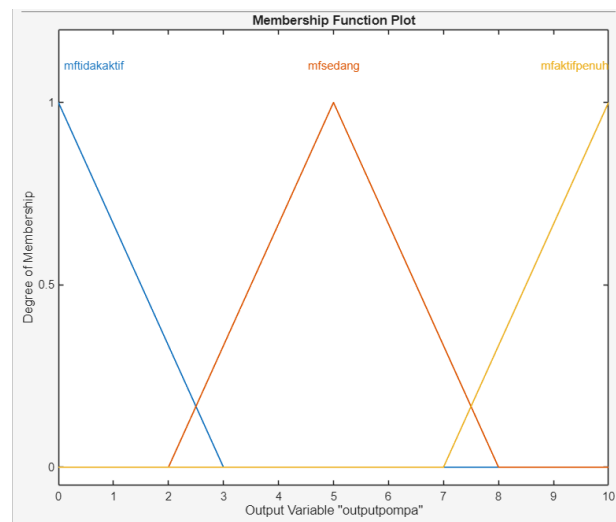
Variabel *output* pada sistem ini merepresentasikan tingkat aksi pompa yang berfungsi sebagai aktuator untuk menyesuaikan kondisi pH dan TDS pada larutan nutrisi. Terdapat empat pompa yang dikendalikan oleh sistem, yaitu:

1. Pompa pH Up
2. Pompa pH Down
3. Pompa Nutrisi
4. Pompa Air

Setiap pompa memiliki satu variabel *fuzzy* keluaran yang menggambarkan kategori aksi kerja pompa berdasarkan hasil inferensi *fuzzy*. Variabel keluaran terdiri dari tiga himpunan linguistik, yaitu Tidak Aktif, Sedang, dan Aktif Penuh.

Himpunan “Tidak Aktif” menunjukkan pompa dalam keadaan mati karena kondisi pH dan TDS berada dalam rentang normal. Himpunan “Sedang” menunjukkan pompa menyala untuk melakukan koreksi ringan dengan durasi waktu tetap 1 detik, sedangkan himpunan “Aktif Penuh” menunjukkan pompa menyala dengan waktu lebih lama yaitu 2 detik, untuk melakukan koreksi besar terhadap kondisi air.

Fungsi keanggotaan variabel keluaran berbentuk segitiga (triangular) dengan domain $z = 0$ hingga $z = 10$.



Gambar 3.13 Derajat Keanggotaan Pompa

Gambar 3.13 menunjukkan pembagian tingkat aktivasi pompa ke dalam tiga himpunan linguistik, yaitu Tidak Aktif, Sedang, dan Aktif Penuh. Himpunan Tidak Aktif direpresentasikan dengan parameter segitiga ($a = 0$, $b = 0$, $c = 3$) yang menunjukkan kondisi pompa tidak menyala atau tidak melakukan penyesuaian terhadap larutan nutrisi. Himpunan Sedang direpresentasikan dengan parameter ($a = 2$, $b = 5$, $c = 8$) yang menunjukkan kondisi pompa bekerja dengan intensitas menengah untuk melakukan koreksi secara bertahap. Sementara itu, himpunan

Aktif Penuh direpresentasikan dengan parameter ($a = 7, b = 10, c = 10$) yang menunjukkan kondisi pompa bekerja pada tingkat maksimum untuk mempercepat proses penyesuaian pH atau nutrisi. Ketiga fungsi keanggotaan ini digunakan sebagai variabel output pada sistem fuzzy Mamdani, sehingga hasil inferensi dapat dikonversi melalui proses defuzzifikasi menjadi nilai tegas yang menentukan tingkat aktivasi pompa dalam mengendalikan kondisi larutan hidroponik.

Nilai keanggotaan ditentukan sebagai berikut:

- Tidak Aktif: ($a = 0, b = 0, c = 3$)
- Sedang: ($a = 2, b = 5, c = 8$)
- Aktif Penuh: ($a = 7, b = 10, c = 10$)

3.2.2 Pembentukan Aturan *Fuzzy*

Proses pembentukan aturan *fuzzy* bertujuan untuk mendefinisikan hubungan antara variabel *input* pH dan TDS dengan variabel *output*. Secara umum, bentuk aturan *fuzzy Mamdani* adalah: IF (kondisi *input* 1) AND (kondisi *input* 2) THEN (*output*).

Tabel 3.1 menunjukkan kombinasi kondisi pH dan TDS serta aksi logika *fuzzy* yang dilakukan oleh sistem.

Tabel 3.1 Rule Fuzzy

Rule	Kondisi pH	Kondisi TDS	Pompa pH Up	Pompa pH Down	Pompa Nutrisi	Pompa Air
1	Rendah	Rendah	Aktif	Tidak Aktif	Aktif	Tidak Aktif
2	Rendah	Normal	Aktif	Tidak Aktif	Tidak Aktif	Tidak Aktif
3	Rendah	Tinggi	Aktif	Tidak Aktif	Tidak Aktif	Aktif
4	Normal	Rendah	Tidak Aktif	Tidak Aktif	Aktif	Tidak Aktif
5	Normal	Normal	Tidak Aktif	Tidak Aktif	Tidak Aktif	Tidak Aktif
6	Normal	Tinggi	Tidak Aktif	Tidak Aktif	Tidak Aktif	Aktif
7	Tinggi	Rendah	Tidak Aktif	Aktif	Aktif	Tidak Aktif
8	Tinggi	Normal	Tidak Aktif	Aktif	Tidak Aktif	Tidak Aktif
9	Tinggi	Tinggi	Tidak Aktif	Aktif	Tidak Aktif	Aktif

Berdasarkan Tabel 3.1, sistem fuzzy Mamdani menggunakan dua variabel input, yaitu pH dan TDS, yang masing-masing memiliki tiga kondisi linguistik, yaitu rendah, normal, dan tinggi. Kombinasi dari kedua variabel tersebut menghasilkan sembilan aturan (*rule*) yang digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam mengendalikan empat pompa, yaitu pompa pH Up, pompa pH Down, pompa nutrisi, dan pompa air. Ketika nilai pH berada pada kondisi rendah, sistem akan mengaktifkan pompa pH Up untuk meningkatkan nilai pH hingga mencapai rentang yang diinginkan. Sebaliknya, apabila nilai pH berada pada kondisi tinggi, sistem akan mengaktifkan pompa pH Down untuk menurunkan nilai pH. Jika nilai pH berada pada kondisi normal, maka kedua pompa pengatur pH tidak diaktifkan.

3.2.3 Inferensi Fuzzy

Seluruh hasil dari aturan-aturan *fuzzy* yang telah diterapkan pada sistem dikombinasikan untuk menghasilkan keluaran dalam bentuk *fuzzy* tunggal. Proses penggabungan ini disebut agregasi, dan bertujuan untuk memperoleh satu fungsi keanggotaan *fuzzy* hasil dari seluruh aturan yang aktif (Rahmawati, 2017).

Sebelum dilakukan agregasi, setiap aturan *fuzzy* terlebih dahulu dihitung nilai derajat kebenarannya (*firing strength*) melalui proses inferensi. Dalam metode *Fuzzy Mamdani*, operator logika AND direpresentasikan menggunakan operator MIN, sehingga nilai *firing strength* diperoleh dengan rumus 3.7:

$$\alpha_i = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (3.7)$$

α_i adalah nilai *firing strength* dari aturan ke-i, sedangkan $\mu_A(x)$ dan $\mu_B(y)$ masing-masing merupakan derajat keanggotaan variabel *input* pada himpunan *fuzzy* tertentu.

Nilai α_i tersebut kemudian diterapkan pada bagian konsekuen (THEN) melalui proses implikasi. Pada metode Mamdani, implikasi dilakukan menggunakan operator MIN dengan cara memotong (*clipping*) fungsi keanggotaan keluaran sesuai dengan nilai *firing strength*. Secara matematis, proses implikasi dinyatakan dengan rumus 3.8:

$$\mu_{Ci'}(z) = \min(\alpha_i, \mu_{Ci}(z)) \quad (3.8)$$

$\mu_{Ci}(z)$ merupakan fungsi keanggotaan keluaran asli dari aturan ke-i, dan $\mu_{Ci'}(z)$ adalah fungsi keanggotaan keluaran setelah dilakukan proses *clipping*.

Karena beberapa aturan dapat menghasilkan keluaran pada himpunan *fuzzy* yang sama, maka diperlukan proses agregasi untuk menggabungkan seluruh hasil *clipping* tersebut sehingga diperoleh satu fungsi keanggotaan keluaran yang merepresentasikan keputusan sistem secara keseluruhan (Rindengan & Langi, 2019). Dalam penelitian ini, metode agregasi yang digunakan adalah metode MAX, karena metode ini merupakan pendekatan standar dalam sistem inferensi *Fuzzy Mamdani* dan banyak diterapkan pada aplikasi pengendalian berbasis IoT. Selain itu, metode MAX dinilai stabil, sederhana secara komputasional, serta sesuai dengan kebutuhan sistem kendali durasi pompa yang bersifat diskret (Batubara, 2017). Secara matematis, proses agregasi dinyatakan dengan rumus 3.9:

$$\mu_{output}(z) = \max(\mu_{C1}(z), \mu_{C2}(z), \dots, \mu_{Cn}(z)) \quad (3.9)$$

$\mu_{C1}(z), \mu_{C2}(z), \dots, \mu_{Cn}(z)$ merupakan fungsi keanggotaan keluaran hasil *clipping* dari masing-masing aturan yang aktif. Melalui proses agregasi ini, sistem menghasilkan satu fungsi keanggotaan *fuzzy* gabungan untuk setiap aktuator, yaitu pompa pH Up, pH Down, Nutrisi, dan Pompa Air. Fungsi keanggotaan gabungan tersebut selanjutnya diproses pada tahap defuzzifikasi untuk mengubah nilai *fuzzy* menjadi nilai tegas (*crisp output*) yang merepresentasikan durasi waktu nyala pompa dalam satuan detik.

3.2.4 Defuzzifikasi

Tahap defuzzifikasi merupakan proses akhir dalam sistem inferensi *fuzzy Mamdani* yang berfungsi untuk mengubah keluaran *fuzzy* hasil agregasi menjadi nilai tegas (*crisp output*) (Widaningsih, 2017). Nilai *crisp* ini merepresentasikan durasi kerja pompa (dalam detik) yang akan dijalankan oleh mikrokontroler (ESP32) untuk mengatur pH dan TDS larutan nutrisi hidroponik. Secara umum, defuzzifikasi diperlukan karena mikrokontroler dan sistem kendali fisik tidak dapat menafsirkan nilai linguistik atau *fuzzy* (seperti “Sedang” atau “Aktif Penuh”), tetapi hanya dapat bekerja dengan nilai numerik (misalnya 1-2 detik).

Dalam penelitian ini digunakan metode *Centroid (Center of Area)* karena memiliki keakuratan tinggi, perhitungannya proporsional terhadap seluruh area *fuzzy* hasil agregasi, serta paling sesuai untuk sistem kontrol durasi pompa yang bersifat kontinu (Purnomo, 2016).

Secara matematis, proses defuzzifikasi dinyatakan dengan rumus 3.10:

$$z^* = \int \mu_{\text{output}}(z) dz / \int z \cdot \mu_{\text{output}}(z) dz \quad (3.10)$$

z^* adalah nilai *crisp output*, z merupakan domain variabel keluaran, dan $\mu_{output}(z)$ adalah fungsi keanggotaan hasil agregasi. Nilai z^* yang diperoleh kemudian digunakan sebagai parameter durasi nyala pompa dalam sistem pengelolaan dan monitoring nutrisi serta pH air pada budidaya hidroponik tanaman daun bawang.

3.3 Skenario Uji Coba

Skenario uji coba terdiri dari 2 tahapan yang meliputi pengujian sistem dan pengujian akurasi sensor agar mendapat hasil yang diharapkan.

3.3.1 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa keseluruhan sistem pengelolaan dan monitoring nutrisi serta pH air berbasis IoT dapat berjalan dengan baik sesuai dengan perancangan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa semua komponen baik perangkat keras maupun perangkat lunak berkerja secara terintegrasi. Pada tahap ini, sistem diuji dengan cara mengaktifkan perangkat ESP32 yang telah terhubung dengan jaringan *Wi-Fi* lokal serta *server* yang berjalan di komputer utama. Nilai pembacaan dari sensor pH dan TDS dikirimkan melalui protokol HTTP POST ke *server* dan disimpan ke dalam *database*. Data tersebut kemudian ditampilkan secara *real-time* pada halaman *dashboard web* dalam bentuk grafik dan status kondisi air.

Indikator keberhasilan pengujian sistem ini adalah:

1. Data sensor dapat dikirim dan tersimpan ke *database* tanpa error.

2. Tampilan *web* berhasil menampilkan nilai pH dan TDS yang diperbarui secara *real-time*.
3. Pompa pH up, pH down, nutrisi dan air dapat aktif sesuai hasil inferensi *fuzzy* yang dihasilkan mikrokontroler.

3.3.2 Pengujian Kalibrasi Sensor

Pengujian akurasi dilakukan untuk mengetahui tingkat ketepatan dan kesalahan (error) dari pembacaan sensor terhadap nilai sebenarnya. Sensor pH (PH4502C) dan sensor TDS (V1.0) dibandingkan dengan alat ukur standar laboratorium untuk mendapatkan nilai error atau penyimpangan pembacaan. Metode pengujian dilakukan dengan mencelupkan sensor ke dalam beberapa sampel air dengan variasi larutan berbeda, kemudian mencatat hasil pembacaan sensor dan hasil pengukuran alat pembanding (Maricar, 2019). Data yang diperoleh dihitung menggunakan rumus error pada rumus 3.11:

$$Error(\%) = \frac{\text{nilai alat ukur} - \text{nilai sensor}}{\text{nilai alat ukur}} \times 100\% \quad (3.11)$$

Rumus ini digunakan untuk menghitung perbedaan antara nilai hasil pengukuran aktual dengan nilai yang diperoleh dari sistem. Selisih tersebut kemudian dibagi dengan nilai aktual dan dikalikan 100 agar menghasilkan nilai persentase kesalahan. Melalui perhitungan ini, dapat diketahui tingkat ketepatan sistem dalam menghasilkan data atau rekomendasi yang sesuai dengan kondisi sebenarnya.

Adapun hasil pengujian akurasi sensor pH dan TDS beserta perhitungan nilai *error* akan disajikan dalam bentuk tabel pada bagian berikutnya.

Tabel 3.2 Rencana Pengujian Kalibrasi Sensor

No	Nilai pH/TDS	pH/TDS Sistem	Error pH (%)
1			
2			
3			
Rata-rata Error (%)			

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas proses implementasi dan pengujian sistem yang telah dibuat, baik pada perangkat keras maupun perangkat lunak. Selain itu, pada bab ini juga dijelaskan penerapan metode *Fuzzy Mamdani* dalam proses otomatisasi pengelolaan dan monitoring pH serta nutrisi (TDS) pada budidaya hidroponik tanaman daun bawang berbasis *Internet of Things (IoT)*. Pengujian perangkat keras dilakukan untuk mengetahui apakah sensor pH, sensor TDS, dan sistem kendali pompa yang terhubung dengan ESP32 dapat bekerja sesuai dengan logika *fuzzy* yang telah dirancang. Sedangkan pengujian perangkat lunak dilakukan untuk memastikan sistem dapat memantau kondisi pH dan nutrisi secara *real-time* serta menampilkan data monitoring pada *dashboard* dengan baik.

4.1 Implementasi Sistem

Implementasi sistem pada penelitian ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Kedua bagian tersebut dirancang dan dihubungkan secara terintegrasi untuk membangun sistem pengelolaan dan monitoring nutrisi serta pH air pada budidaya hidroponik tanaman daun bawang berbasis *Internet of Things (IoT)*. Sistem yang dibuat mampu melakukan pemantauan kondisi air serta pengendalian nutrisi dan pH secara otomatis menggunakan metode logika *Fuzzy Mamdani* yang diterapkan pada mikrokontroler ESP32.

4.1.1 Hasil Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras pada penelitian ini dilakukan dengan merancang dan menghubungkan seluruh komponen elektronik yang digunakan pada sistem monitoring dan pengelolaan nutrisi serta pH air pada budidaya hidroponik. Semua komponen disusun pada papan PCB agar rangkaian menjadi lebih rapi, stabil, dan lebih mudah saat digunakan.

Perangkat keras yang digunakan pada sistem ini terdiri dari mikrokontroler ESP32, sensor pH, sensor *Total Dissolved Solids* (TDS), modul ADC ADS1115, modul relay, empat buah pompa yang terdiri dari pompa air, pompa nutrisi, pompa pH up, dan pompa pH down, serta power supply sebagai sumber tegangan utama.

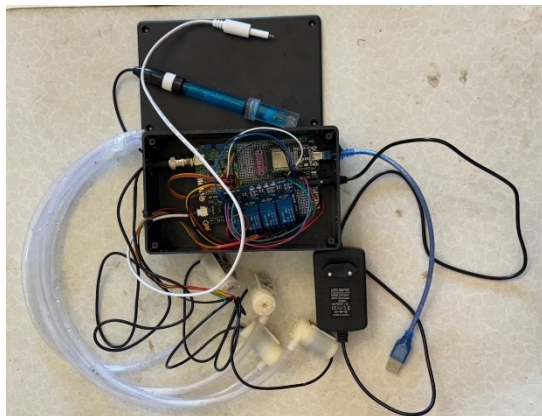
ESP32 digunakan sebagai pusat kendali sistem untuk membaca data sensor dan mengontrol aktuator. Data analog dari sensor pH dan sensor TDS terlebih dahulu dikonversi menjadi data digital menggunakan modul ADS1115 agar hasil pembacaan sensor lebih stabil dan akurat. Setelah itu, data diproses menggunakan metode *Fuzzy Mamdani* untuk menentukan aksi yang akan dilakukan oleh sistem. Sensor pH digunakan untuk membaca tingkat keasaman larutan nutrisi, sedangkan sensor TDS digunakan untuk mengetahui konsentrasi nutrisi yang terlarut di dalam air. Nilai dari kedua sensor tersebut menjadi dasar sistem dalam menentukan keputusan pengendalian kualitas air. Modul relay digunakan sebagai penghubung antara ESP32 dengan pompa. Relay bekerja sebagai saklar elektronik yang memungkinkan ESP32 mengontrol pompa secara otomatis. Setiap channel relay terhubung dengan masing-masing pompa sehingga sistem dapat mengatur kondisi hidup dan mati pompa sesuai hasil pengolahan data.

Pompa air digunakan untuk menambahkan atau mengencerkan larutan ketika diperlukan. Pompa nutrisi digunakan untuk menambahkan larutan nutrisi ke dalam sistem hidroponik. Sedangkan pompa pH up dan pH down digunakan untuk menyesuaikan nilai pH agar tetap berada pada rentang yang diinginkan.

Power supply digunakan sebagai sumber daya utama yang menyuplai listrik ke seluruh komponen sistem. Tegangan dari power supply didistribusikan ke setiap komponen melalui jalur PCB sehingga sistem dapat bekerja dengan lebih stabil.

Seluruh komponen kemudian diintegrasikan dalam satu papan PCB agar rangkaian lebih rapi dan koneksi antar komponen menjadi lebih aman dibandingkan menggunakan breadboard. Selain itu, penggunaan PCB juga membantu mengurangi kesalahan pemasangan pada sistem.

Hasil implementasi rangkaian perangkat keras yang telah dibuat dan dipasang pada papan PCB dapat dilihat pada gambar 4.1:



Gambar 4.1 Rangkaian

Gambar 4.1 menunjukkan susunan komponen utama pada sistem yang terdiri dari ESP32, modul relay, ADS1115, serta koneksi sensor dan pompa yang telah dirangkai menjadi satu sistem terintegrasi.

Selain menggunakan komponen elektronik, sistem ini juga memanfaatkan media tanam sebagai bagian dari implementasi hidroponik. Media tanam digunakan sebagai tempat tumbuh akar tanaman sekaligus membantu menjaga kelembaban di sekitar akar. Sistem hidroponik yang diterapkan pada penelitian ini menggunakan metode *wick system*, yaitu larutan nutrisi disalurkan ke media tanam melalui sumbu. Kondisi larutan nutrisi yang dipantau menggunakan sensor pH dan sensor TDS akan mempengaruhi proses penyerapan nutrisi oleh tanaman.

Implementasi media tanam pada sistem hidroponik yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.2:



Gambar 4.2 Media Tanam Hidroponik

Gambar 4.2 menunjukkan penggunaan media tanam pada sistem hidroponik metode *wick system* yang terhubung langsung dengan larutan nutrisi. Media tanam digunakan sebagai tempat tumbuh akar tanaman dan membantu proses penyerapan nutrisi pada tanaman daun bawang. Selain itu, media tanam juga menjadi bagian dari sistem yang dipantau dan dikendalikan secara otomatis melalui sensor pH dan sensor TDS.

Dengan implementasi perangkat keras yang telah dibuat, sistem dapat melakukan *monitoring* dan pengendalian kualitas air secara otomatis. ESP32 sebagai pusat kendali memproses data dari sensor menggunakan metode *Fuzzy*

Mamdani untuk menentukan pompa yang perlu diaktifkan, sehingga kondisi larutan nutrisi dapat tetap terjaga sesuai kebutuhan tanaman.

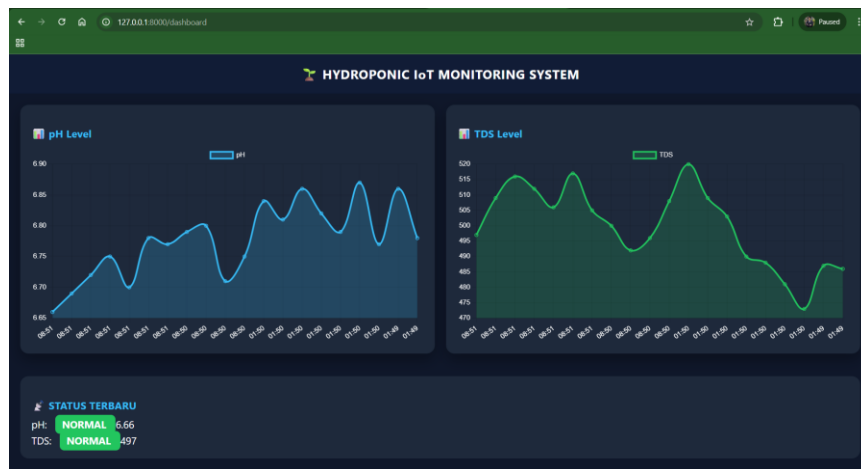
4.1.2 Hasil Implementasi Perangkat Lunak

Implementasi perangkat lunak pada penelitian ini dilakukan untuk mendukung proses *monitoring* dan pengendalian kualitas air secara otomatis pada sistem hidroponik. Perangkat lunak yang dibuat meliputi *dashboard monitoring* berbasis *web* dan penerapan logika *Fuzzy Mamdani* pada mikrokontroler ESP32. Kedua bagian tersebut saling terhubung sehingga sistem dapat bekerja secara *real-time*.

Dashboard monitoring dibuat berbasis *web* sebagai antarmuka untuk memantau kondisi sistem. *Dashboard* ini terhubung dengan *database* yang digunakan untuk menyimpan data hasil pembacaan sensor. Data yang disimpan meliputi nilai pH, nilai TDS, waktu pembacaan sensor, serta status pompa yang sedang aktif. Seluruh informasi tersebut kemudian ditampilkan pada *dashboard* sehingga pengguna dapat melihat kondisi sistem dengan lebih mudah.

Selain menampilkan data secara *real-time*, *dashboard* juga menyediakan data historis sehingga pengguna dapat melihat perubahan kondisi larutan dari waktu ke waktu. Dengan adanya *dashboard* ini, proses *monitoring* dapat dilakukan dari jarak jauh tanpa harus datang langsung ke lokasi sistem.

Tampilan *dashboard monitoring* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.3:



Gambar 4.3 Dashboard Monitoring Sistem

Gambar 4.3 menampilkan *dashboard monitoring* yang berisi informasi utama sistem, seperti nilai pH, nilai TDS, dan status kualitas air pada hidroponik. Selain *dashboard*, perangkat lunak pada sistem ini juga menerapkan logika *Fuzzy Mamdani* pada mikrokontroler ESP32. Logika *fuzzy* digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan berdasarkan data dari sensor pH dan TDS. Data yang terbaca kemudian diproses oleh ESP32 untuk menentukan aksi yang perlu dilakukan, terutama dalam mengatur kerja pompa.

Pseudocode implementasi logika *Fuzzy Mamdani* yang digunakan pada sistem dapat dilihat pada gambar 4.4:

Gambar 4.4 Logika Fuzzy Mamdani

- 1 Algoritma Fuzzy Mamdani Pengendalian pH dan Nutrisi
- 2 Input:
- 3 pH, TDS
- 4 Output:
- 5 Durasi Pompa
- 6 Fungsi $phRendah(x)$:
- 7 Jika $x \leq 5.0$ return 1
- 8 Jika $x \geq 5.5$ return 0
- 9 Return $(5.5 - x) / 0.5$
- 10 Fungsi $phNormal(x)$:
- 11 Jika $x \leq 5.5$ atau $x \geq 6.5$ return 0

```

12  Jika  $x \leq 6.0$  return  $(x - 5.5) / 0.5$ 
13  Return  $(6.5 - x) / 0.5$ 

14  Fungsi phTinggi(x):
15  Jika  $x \leq 6.5$  return 0
16  Jika  $x \geq 7.0$  return 1
17  Return  $(x - 6.5) / 0.5$ 

18  Fungsi tdsRendah(x):
19  Jika  $x \leq 800$  return 1
20  Jika  $x \geq 1000$  return 0
21  Return  $(1000 - x) / 200$ 

22  Fungsi tdsNormal(x):
23  Jika  $x \leq 1000$  atau  $x \geq 1500$  return 0
24  Jika  $x \leq 1250$  return  $(x - 1000) / 250$ 
25  Return  $(1500 - x) / 250$ 

26  Fungsi tdsTinggi(x):
27  Jika  $x \leq 1500$  return 0
28  Jika  $x \geq 1700$  return 1
29  Return  $(x - 1500) / 200$ 

30  Fungsi fuzzyMamdani(ph, tds):

31  Fuzzifikasi:
32   $pR \leftarrow \text{phRendah}(\text{ph})$ 
33   $pN \leftarrow \text{phNormal}(\text{ph})$ 
34   $pT \leftarrow \text{phTinggi}(\text{ph})$ 
35   $tR \leftarrow \text{tdsRendah}(\text{tds})$ 
36   $tN \leftarrow \text{tdsNormal}(\text{tds})$ 
37   $tT \leftarrow \text{tdsTinggi}(\text{tds})$ 

38  Inisialisasi output:
39   $\text{phUpMati} \leftarrow 0$ 
40   $\text{phUpSedang} \leftarrow 0$ 
41   $\text{phUpPenuh} \leftarrow 0$ 
42   $\text{phDownMati} \leftarrow 0$ 
43   $\text{phDownSedang} \leftarrow 0$ 
44   $\text{phDownPenuh} \leftarrow 0$ 
45   $\text{nutrisiMati} \leftarrow 0$ 
46   $\text{nutrisiSedang} \leftarrow 0$ 
47   $\text{nutrisiPenuh} \leftarrow 0$ 
48   $\text{airMati} \leftarrow 0$ 
49   $\text{airSedang} \leftarrow 0$ 
50   $\text{airPenuh} \leftarrow 0$ 

51  Evaluasi Rule:

52  Rule 1:
53   $r1 \leftarrow \min(pR, tR)$ 
54   $\text{phUpPenuh} \leftarrow \max(\text{phUpPenuh}, r1)$ 
55   $\text{nutrisiPenuh} \leftarrow \max(\text{nutrisiPenuh}, r1)$ 

56  Rule 2:

```

```

57  r2 ← min(pR, tN)
58  phUpSedang ← max(phUpSedang, r2)

59  Rule 3:
60  r3 ← min(pR, tT)
61  phUpSedang ← max(phUpSedang, r3)
62  airPenuh ← max(airPenuh, r3)

63  Rule 4:
64  r4 ← min(pN, tR)
65  nutrisiSedang ← max(nutrisiSedang, r4)

66  Rule 5:
67  r5 ← min(pN, tN)
68  phUpMati ← max(phUpMati, r5)
69  phDownMati ← max(phDownMati, r5)
70  nutrisiMati ← max(nutrisiMati, r5)
71  airMati ← max(airMati, r5)

72  Rule 6:
73  r6 ← min(pN, tT)
74  airSedang ← max(airSedang, r6)

75  Rule 7:
76  r7 ← min(pT, tR)
77  phDownPenuh ← max(phDownPenuh, r7)
78  nutrisiPenuh ← max(nutrisiPenuh, r7)

79  Rule 8:
80  r8 ← min(pT, tN)
81  phDownSedang ← max(phDownSedang, r8)

82  Rule 9:
83  r9 ← min(pT, tT)
84  phDownSedang ← max(phDownSedang, r9)
85  airPenuh ← max(airPenuh, r9)

86  Agregasi MAX:
87  outputPompa ← max(
88  phUpSedang,
89  phUpPenuh,
90  phDownSedang,
91  phDownPenuh,
92  nutrisiSedang,
93  nutrisiPenuh,
94  airSedang,
95  airPenuh
96  )

97  Defuzzifikasi (Center of Area):
98  z_mati ← 0
99  z_sedang ← 5
100  z_penuh ← 10

101  numerator ←

```

```

102      (phUpMati * z_mati) +
103      (phUpSedang * z_sedang) +
104      (phUpPenuh * z_penuh)

105      denominator ←
106      phUpMati +
107      phUpSedang +
108      phUpPenuh

109      z ← numerator / denominator

110      Jika z < 3:
111          return Relay Mati

112      Jika z >= 3 dan z < 7:
113          return Relay ON 1 detik

114      Jika z >= 7:
115          return Relay ON 2 detik

```

Pseudocode pada sistem ini dibagi menjadi beberapa bagian utama. Baris 1–5 menunjukkan inisialisasi algoritma yang berisi nama algoritma, *input* berupa nilai pH dan TDS, serta *output* berupa durasi aktivasi pompa. Bagian ini menjelaskan parameter utama yang digunakan dalam proses pengambilan keputusan pada sistem *Fuzzy Mamdani*.

Baris 6–29 menunjukkan fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk variabel *input* pH dan TDS. Pada tahap ini, nilai *crisp* (nilai nyata) dari sensor diubah menjadi nilai *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Variabel pH dikategorikan menjadi pH rendah, pH normal, dan pH tinggi, sedangkan variabel TDS dikategorikan menjadi TDS rendah, TDS normal, dan TDS tinggi. Setiap kategori memiliki derajat keanggotaan dengan rentang nilai 0 hingga 1.

Baris 30–37 menunjukkan proses *fuzzifikasi input*. Pada bagian ini, sistem menghitung derajat keanggotaan masing-masing nilai pH dan TDS menggunakan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil *fuzzifikasi* tersebut kemudian digunakan sebagai *input* pada proses inferensi *fuzzy*.

Baris 38–50 menunjukkan proses inisialisasi variabel *output fuzzy*. Variabel tersebut digunakan untuk menyimpan nilai keluaran *fuzzy* dari masing-masing pompa, yaitu pompa pH up, pompa pH down, pompa nutrisi, dan pompa air, dengan kondisi mati, sedang, dan penuh.

Baris 51–85 menunjukkan proses evaluasi *rule base* dan inferensi menggunakan metode Mamdani. Pada tahap ini digunakan 9 aturan fuzzy yang menghubungkan kondisi pH dan TDS terhadap keputusan aktivasi pompa. Operator MIN digunakan untuk menentukan *firing strength* pada setiap *rule*, sedangkan operator MAX digunakan untuk proses agregasi *output* dari seluruh *rule* yang aktif.

Baris 86–96 menunjukkan proses agregasi *output fuzzy*. Pada bagian ini, seluruh hasil inferensi dari masing-masing *rule* digabungkan untuk memperoleh nilai keluaran *fuzzy* akhir yang akan digunakan pada tahap *defuzzifikasi*.

Baris 97–109 menunjukkan proses *defuzzifikasi* menggunakan metode *Center of Area (COA)* atau *centroid*. Proses ini bertujuan mengubah nilai *fuzzy* menjadi nilai *crisp* menggunakan persamaan *centroid* sehingga diperoleh nilai akhir berupa tingkat aktivasi pompa.

Baris 110–115 menunjukkan proses penentuan *output relay* berdasarkan hasil *defuzzifikasi*. Jika nilai *output* berada pada rentang tertentu, maka *relay* akan berada pada kondisi mati, aktif sedang selama 1 detik, atau aktif penuh selama 2 detik.

Secara keseluruhan, perangkat lunak pada sistem ini bekerja secara terintegrasi, di mana ESP32 melakukan pembacaan sensor, pengolahan data menggunakan logika *Fuzzy Mamdani*, serta pengendalian relay untuk mengaktifkan

pompa sesuai kondisi kualitas air. Selain itu, data *monitoring* juga dikirimkan ke *dashboard* berbasis *web* sehingga sistem dapat melakukan *monitoring* dan pengendalian kualitas air secara otomatis dan berkelanjutan

4.1.3 Pengujian Kalibrasi Sensor

Pengujian kalibrasi sensor pH dan TDS dilakukan untuk mengetahui seberapa akurat sensor ini mendeteksi pH dan TDS yang akan diukur.

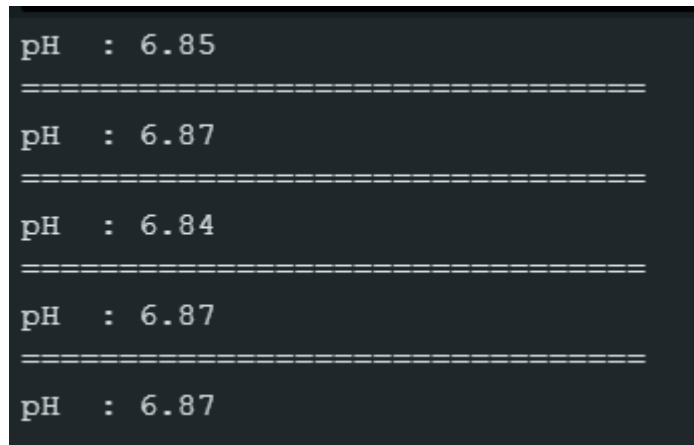
4.1.3.1 Sensor pH

Pengujian sensor pH dilakukan menggunakan larutan buffer standar pH 6,86 untuk memastikan sensor dapat membaca nilai pH dengan baik dan mendekati nilai referensi. Pada proses pengujian, sensor dicelupkan ke dalam larutan buffer pH 6,86, kemudian nilai pembacaan ditampilkan melalui sistem monitoring. Dokumentasi hasil pembacaan sensor pH menggunakan larutan buffer dan sensor pH sistem ditampilkan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 di bawah ini sebagai bukti proses pengujian yang telah dilakukan.



Gambar 4.5 Larutan pH Buffer

Gambar 4.5 menunjukkan hasil pembacaan larutan pH 6,86 dengan menggunakan sensor ph dan menunjukan nilai yang sudah sesuai yang akan digunakan untuk kalibrasi sensor sistem.



Gambar 4.6 Nilai Sensor pH

Gambar 4.6 menunjukkan hasil percobaan pembacaan pH dari sensor yang sudah dikalibrasi

Tabel 4.1 Hasil Kalibrasi Sensor pH

No	Nilai pH	pH Sistem	Error pH (%)
1	6.86	6.85	0.15%
2	6.86	6.87	0.15%
3	6.86	6.84	0.29%
4	6.86	6.87	0.15%

5	6.86	6.87	0.15%
Rata-rata Error (%)			0.18%

Berdasarkan hasil pengujian yang yang ditampilkan pada gambar 4.5 dan 4.6, diperoleh data pembacaan sensor pH yang kemudian dibandingkan dengan nilai referensi larutan buffer untuk menghitung persentase error sensor. Hasil kalibrasi sensor pH ditunjukkan pada Tabel 4.1 yang berisi nilai referensi, hasil pembacaan sensor, serta nilai error pada setiap pengujian. Dari hasil tersebut diperoleh rata-rata error sebesar 0,18%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sensor pH memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dan hasil pembacaannya cenderung stabil. Dengan nilai error yang kecil, sensor pH dinilai sudah layak digunakan pada sistem monitoring dan pengendalian kualitas air hidroponik.

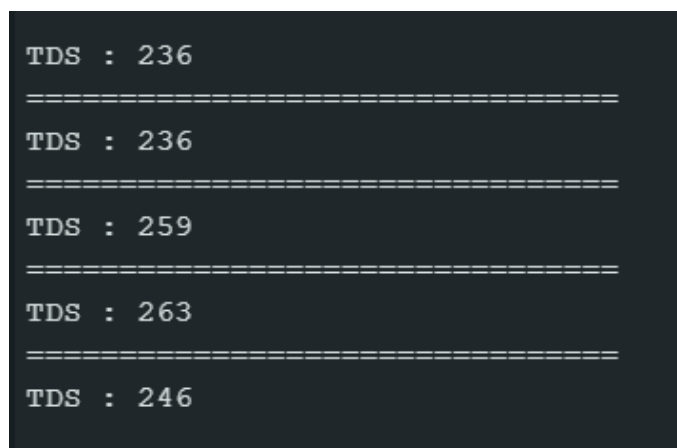
4.1.3.2 Sensor TDS

Pengujian sensor TDS dilakukan menggunakan satu sampel air PDAM sebagai objek pengujian. Nilai konsentrasi padatan terlarut pada sampel air tersebut diukur menggunakan sensor TDS pada sistem dan dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan alat TDS meter sebagai acuan dalam satuan ppm (*parts per million*). Selama proses pengujian, hasil pembacaan dari kedua alat didokumentasikan untuk mengetahui tingkat kesesuaian dan akurasi sensor TDS yang digunakan pada sistem. Dokumentasi hasil pembacaan TDS meter dan sensor TDS pada sistem ditampilkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.



Gambar 4.7 Pembacaan alat ukur TDS meter

Gambar 4.7 menunjukkan hasil pembacaan nilai ppm air dengan menggunakan sensor tds dan menunjukan nilai yang akan digunakan untuk kalibrasi sensor sistem.



Gambar 4.8 Pembacaan Sensor TDS

Gambar 4.8 menunjukkan hasil percobaan pembacaan tds dari sensor yang sudah dikalibrasi

Tabel 4.2 Hasil Kalibrasi Sensor TDS

No	Nilai TDS (ppm)	TDS Sistem (ppm)	Error TDS(%)
1	264	236	10,61%
2	264	236	10,61%
3	264	259	1,89%
4	264	263	0,38%
5	264	246	6,82%
Rata-rata Error (%)			6,06%

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada gambar 4.7 dan 4.8, data pembacaan sensor TDS kemudian dibandingkan dengan nilai referensi dari alat ukur TDS meter untuk mengetahui tingkat akurasi sensor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai pembacaan sensor TDS cukup mendekati nilai referensi dengan rata-rata error sebesar 6,06%. Meskipun masih terdapat perbedaan antara hasil pembacaan sensor dan alat ukur referensi, sensor TDS tetap menunjukkan hasil pembacaan yang cukup stabil sehingga masih layak digunakan untuk monitoring dan pengelolaan nutrisi pada sistem hidroponik yang dikembangkan.

4.1.4 Pengujian Sistem

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap sistem monitoring dan pengendalian kualitas air hidroponik berbasis *Internet of Things* menggunakan metode *Fuzzy Mamdani*. Pengujian bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam memantau kondisi larutan nutrisi serta melakukan pengendalian secara otomatis berdasarkan nilai pH dan *Total Dissolved Solids* (TDS) yang terbaca oleh sensor.

Pengujian dilakukan menggunakan air PDAM sebagai media awal. Pemilihan air PDAM dilakukan karena kondisi awal air menunjukkan nilai pH yang berada di atas rentang normal yang dibutuhkan tanaman hidroponik, sedangkan nilai TDS masih berada di bawah rentang yang direkomendasikan. Kondisi tersebut digunakan sebagai skenario pengujian untuk mengetahui kemampuan sistem dalam melakukan penyesuaian kualitas air hingga mencapai kondisi yang lebih sesuai untuk pertumbuhan tanaman.

Proses pengujian dilakukan dengan mengamati perubahan nilai pH dan TDS secara *real-time*. Data yang diperoleh dari sensor kemudian diproses menggunakan metode *Fuzzy Mamdani* untuk menentukan keputusan pengendalian yang sesuai. Berdasarkan hasil inferensi *fuzzy*, sistem akan mengaktifkan pompa nutrisi apabila nilai TDS berada di bawah rentang yang ditentukan. Selain itu, sistem juga akan mengaktifkan pompa pH Down apabila nilai pH berada di atas rentang normal yang telah ditetapkan.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, sistem mampu melakukan monitoring dan pengendalian secara otomatis sesuai dengan kondisi air yang terdeteksi. Pada kondisi awal, nilai pH berada pada kategori tinggi dan nilai TDS berada pada kategori rendah. Setelah proses pengendalian dilakukan, nilai TDS mengalami peningkatan hingga mencapai kategori normal akibat penambahan larutan nutrisi, sedangkan nilai pH mengalami penurunan secara bertahap hingga berada pada rentang normal yang diinginkan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu bekerja sesuai dengan aturan *fuzzy* yang telah ditetapkan dalam proses pengambilan keputusan pengendalian kualitas air.

Seluruh data hasil monitoring dan pengendalian disimpan ke dalam *database* serta ditampilkan pada *dashboard* sistem untuk memudahkan proses pengamatan dan analisis. Data hasil pengujian yang meliputi nilai pH, status pH, nilai TDS, status TDS, pompa yang aktif, durasi pompa, serta waktu pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian

No	pH	Status pH	TDS (ppm)	Status TDS	Pompa Aktif	Durasi Pompa (ms)	Waktu
1	7.66	Tinggi	300.0	Rendah	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:16:20
2	7.67	Tinggi	300.0	Rendah	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:17:19
3	7.67	Tinggi	300.0	Rendah	Nutrisi, pH Down	2000	2026-06-25 08:17:24
4	7.58	Tinggi	751.0	Rendah	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:18:20
5	7.57	Tinggi	750.0	Rendah	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:19:20
6	7.57	Tinggi	750.0	Rendah	Nutrisi, pH Down	2000	2026-06-25 08:19:24
7	7.48	Tinggi	1211.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:20:20
8	7.47	Tinggi	1210.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:21:20
9	7.47	Tinggi	1210.0	Normal	pH Down	1000	2026-06-25 08:21:21
10	7.37	Tinggi	1208.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:22:20
11	7.4	Tinggi	1210.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:23:20
12	7.4	Tinggi	1210.0	Normal	pH Down	1000	2026-06-25 08:23:21
13	7.31	Tinggi	1208.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:24:19
14	7.28	Tinggi	1210.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:25:20
15	7.28	Tinggi	1210.0	Normal	pH Down	1000	2026-06-25 08:25:21
16	7.23	Tinggi	1209.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:26:20
...	...	...	...	...	...	...	...
90	6.42	Normal	1209.0	Normal	Tidak ada	0	2026-06-25 09:15:20

Berdasarkan data pada Tabel 4.3, sistem menunjukkan kemampuan dalam melakukan pengelolaan pH dan nutrisi larutan hidroponik secara otomatis menggunakan metode Fuzzy Mamdani. Pada awal pengujian, nilai pH berada pada kondisi tinggi, yaitu sebesar 7,66 dengan nilai TDS 300 ppm yang termasuk kategori rendah. Pada kondisi tersebut sistem mengaktifkan pompa nutrisi dan pompa pH down selama 2000 ms untuk meningkatkan konsentrasi nutrisi sekaligus menurunkan nilai pH agar mendekati kondisi ideal. Setelah beberapa kali proses

penambahan nutrisi, nilai TDS meningkat secara bertahap dari 300 ppm menjadi sekitar 1210 ppm dan masuk ke kategori normal. Selanjutnya sistem hanya mengaktifkan pompa pH down selama 1000 ms karena kondisi nutrisi telah sesuai, sedangkan nilai pH masih berada pada kategori tinggi. Aktivasi pompa pH down yang dilakukan secara berkala berhasil menurunkan nilai pH dari 7,66 menjadi 6,42 pada akhir pengujian. Pada data ke-90, nilai pH dan TDS telah berada pada kategori normal sehingga tidak ada pompa yang diaktifkan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mengendalikan kondisi larutan nutrisi secara otomatis hingga mencapai nilai pH dan TDS yang sesuai dengan kebutuhan tanaman daun bawang.

4.1.5 Pengujian Aktuator Pompa

Pengujian aktuator pompa dilakukan untuk mengetahui apakah pompa yang digunakan pada sistem dapat bekerja sesuai dengan perintah yang dihasilkan oleh metode Fuzzy Mamdani. Pengujian dilakukan dengan membandingkan keputusan sistem yang ditampilkan pada dashboard dan data yang tersimpan pada database dengan kondisi aktual pompa saat pengujian berlangsung. Parameter yang diamati meliputi jenis pompa yang diaktifkan, durasi aktivasi pompa, serta kesesuaian antara perintah sistem dan kondisi pompa yang sebenarnya. Hasil pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam mengendalikan proses penyesuaian nutrisi dan pH air secara otomatis pada budidaya hidroponik tanaman daun bawang.

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Pompa

No	pH	Status pH	TDS (ppm)	Status TDS	Pompa Aktif	Durasi Pompa (ms)	Kondisi Pompa
1	7.66	Tinggi	300.0	Rendah	Tidak Ada	0	Tidak Aktif
2	7.67	Tinggi	300.0	Rendah	Tidak Ada	0	Tidak Aktif

3	7.67	Tinggi	300.0	Rendah	Nutrisi, pH Down	2000	Aktif
4	7.58	Tinggi	751.0	Rendah	Tidak Ada	0	Tidak Aktif
5	7.57	Tinggi	750.0	Rendah	Tidak Ada	0	Tidak Aktif
6	7.57	Tinggi	750.0	Rendah	Nutrisi, pH Down	2000	Aktif
7	7.48	Tinggi	1211.0	Normal	Tidak Ada	0	Tidak Aktif
8	7.47	Tinggi	1210.0	Normal	Tidak Ada	0	Tidak Aktif
9	7.47	Tinggi	1210.0	Normal	pH Down	1000	Aktif
10	7.37	Tinggi	1208.0	Normal	Tidak Ada	0	Tidak Aktif
11	7.4	Tinggi	1210.0	Normal	Tidak Ada	0	Tidak Aktif
12	7.4	Tinggi	1210.0	Normal	pH Down	1000	Aktif
13	7.31	Tinggi	1208.0	Normal	Tidak Ada	0	Tidak Aktif
14	7.28	Tinggi	1210.0	Normal	Tidak Ada	0	Tidak Aktif
15	7.28	Tinggi	1210.0	Normal	pH Down	1000	Aktif
16	7.23	Tinggi	1209.0	Normal	Tidak Ada	0	Tidak Aktif
...	...	...	...	...	...	...	...
90	6.42	Normal	1209.0	Normal	Tidak ada	0	Tidak Aktif

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 4.4, sistem berhasil melakukan proses penyesuaian nutrisi dan pH air secara otomatis sesuai dengan kondisi yang terdeteksi oleh sensor. Selama pengujian berlangsung, sistem melakukan sebanyak 17 kali aktivasi pompa sebagai bentuk penyesuaian terhadap nilai pH dan TDS yang belum berada pada rentang optimal. Setiap perintah aktivasi yang dihasilkan oleh metode Fuzzy Mamdani kemudian dibandingkan dengan kondisi aktual pompa saat pengujian. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa seluruh pompa yang diperintahkan aktif oleh sistem berhasil menyala sesuai dengan durasi yang telah ditentukan, sedangkan pada kondisi ketika tidak diperlukan penyesuaian, pompa tetap dalam keadaan tidak aktif. Dari total 17 kali proses penyesuaian yang dilakukan, seluruhnya menunjukkan kesesuaian antara perintah sistem dan kondisi aktual pompa sehingga diperoleh tingkat error sebesar 0%. Persentase error tersebut dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Persentase Error} = \frac{\text{Jumlah Total Aktivasi} - \text{Jumlah Aktivasi}}{\text{Jumlah Total Aktivasi}} \times 100\% \quad (4.1)$$

$$\text{Persentase Error} = \frac{17-17}{17} \times 100\% = 0\% \quad (4.2)$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu menerapkan keputusan yang dihasilkan oleh metode Fuzzy Mamdani ke dalam pengendalian pompa secara akurat, sehingga proses pengelolaan nutrisi dan pH air pada sistem hidroponik dapat berjalan dengan baik sesuai kebutuhan tanaman daun bawang.

4.2 Hasil Analisis

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, sistem pengelolaan dan monitoring nutrisi serta pH air berbasis Internet of Things (IoT) yang dibangun telah mampu beroperasi dengan baik sesuai dengan tujuan penelitian. Seluruh komponen perangkat keras, yang terdiri dari ESP32, sensor pH, sensor TDS, modul relay, dan pompa, dapat bekerja secara terintegrasi dalam melakukan proses monitoring dan pengendalian kualitas larutan nutrisi hidroponik. Data hasil pembacaan sensor berhasil dikirimkan oleh ESP32 ke database melalui jaringan Wi-Fi dan selanjutnya dapat ditampilkan pada dashboard web secara real-time sehingga pengguna dapat memantau kondisi pH dan TDS dengan mudah. Hasil kalibrasi sensor menunjukkan tingkat kesalahan yang relatif kecil, yaitu sebesar 0,18% pada sensor pH dan 6,06% pada sensor TDS, yang menunjukkan bahwa kedua sensor memiliki tingkat akurasi yang baik untuk digunakan dalam sistem hidroponik. Selain itu, hasil pengujian aktuator menunjukkan bahwa seluruh perintah aktivasi pompa yang dihasilkan oleh metode Fuzzy Mamdani berhasil dijalankan sesuai kondisi yang diharapkan dengan tingkat akurasi mencapai 100%.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu melakukan monitoring dan pengelolaan nutrisi serta pH air secara otomatis, akurat, dan andal untuk mendukung budidaya hidroponik tanaman daun bawang.

4.3 Kajian Islam

Penelitian mengenai sistem monitoring dan pengendalian kualitas air berbasis *Internet of Things* menggunakan metode *Fuzzy Mamdani* memiliki keterkaitan dengan nilai-nilai Islam, khususnya dalam menjaga kualitas air sebagai sumber kehidupan. Konsep monitoring dan pengendalian kualitas air pada penelitian ini sejalan dengan firman Allah SWT dalam Surah Al-Anbiya ayat 30:

أَوَلَمْ يَرِ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمُوتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ ﴿٣٠﴾

“Apakah orang-orang kafir tidak mengetahui bahwa langit dan bumi, keduanya, dahulu menyatu, kemudian Kami memisahkan keduanya dan Kami menjadikan segala sesuatu yang hidup berasal dari air? Maka, tidakkah mereka beriman?” (QS. Al-Anbiya: 30).

Ayat tersebut menjelaskan bahwa air merupakan sumber kehidupan bagi seluruh makhluk hidup yang diciptakan oleh Allah SWT. Oleh karena itu, manusia memiliki tanggung jawab untuk menjaga dan mengelola air dengan baik agar dapat memberikan manfaat secara optimal bagi kehidupan (Shihab, 2002). Dalam penelitian ini, sistem monitoring dan pengendalian kualitas air dibuat untuk mengontrol kestabilan parameter air seperti pH dan *Total Dissolved Solids (TDS)* agar tetap berada pada kondisi yang sesuai. Pengendalian dilakukan secara otomatis menggunakan metode *Fuzzy Mamdani* sehingga kualitas air dapat dipertahankan secara lebih stabil dan efisien.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring dan pengendalian nutrisi serta pH air berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan metode *Fuzzy Mamdani* pada budidaya hidroponik tanaman daun bawang berhasil dirancang dan berjalan dengan baik. Sistem mampu melakukan monitoring nilai pH dan TDS secara *real-time* melalui *dashboard* berbasis *web* serta dapat mengendalikan pompa pH up, pH down, nutrisi, dan air secara otomatis berdasarkan hasil perhitungan *fuzzy*. Pengujian dilakukan menggunakan masing-masing 5 sampel pada sensor pH dan sensor TDS. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor pH memiliki rata-rata error sebesar 0,18% dan sensor TDS memiliki rata-rata error sebesar 6,06%, sehingga sensor yang digunakan cukup baik untuk monitoring kualitas air pada sistem hidroponik. Selain itu, pengujian aktuator menunjukkan nilai error sebesar 0%, di mana seluruh pompa berhasil bekerja sesuai dengan perintah yang dihasilkan oleh sistem. Metode *Fuzzy Mamdani* yang diterapkan mampu membantu sistem dalam menentukan keputusan pengendalian kualitas air secara otomatis sesuai kondisi pembacaan sensor. Sistem juga berhasil menghubungkan perangkat keras dan perangkat lunak, mulai dari pembacaan sensor, proses *fuzzy* pada ESP32, hingga pengiriman data ke *dashboard* monitoring berbasis *web*. Dengan adanya sistem ini, proses pengelolaan kualitas air

pada budidaya hidroponik daun bawang menjadi lebih mudah dipantau, lebih efisien, dan dapat mengurangi pengendalian manual oleh pengguna.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan parameter lain seperti suhu air, kelembaban, dan intensitas cahaya agar proses monitoring kondisi tanaman hidroponik menjadi lebih lengkap. Selain itu, pengujian sistem dapat dilakukan dalam jangka waktu yang lebih lama dan pada skala yang lebih besar untuk mengetahui kestabilan serta kinerja sistem secara berkelanjutan. Akurasi sensor TDS juga masih dapat ditingkatkan dengan melakukan kalibrasi secara berkala atau menggunakan sensor dengan tingkat presisi yang lebih baik. Pengembangan aplikasi monitoring berbasis Android juga dapat dilakukan agar pengguna lebih mudah dalam memantau kondisi sistem secara *real-time*. Selain itu, metode *Fuzzy Mamdani* yang digunakan pada penelitian ini dapat dibandingkan dengan metode lain seperti *Fuzzy Sugeno* atau Artificial Neural Network untuk mengetahui metode yang lebih optimal dalam pengendalian kualitas air pada sistem hidroponik.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A., Zaenudin, Z., Mutaqin, Z., & Samsumar, L. D. (2022). IoT-based smart room using web server-based Esp32 microcontroller. *Formosa Journal of Computer and Information Science*, 1(2), 79–86.
- Aprilia, A. (2023). *TA: BUDIDAYA TANAMAN BAWANG DAUN (Allium fistulosum L.) SECARA ORGANIK DI CV TANI ORGANIK MERAPI*. Politeknik Negeri Lampung.
- Aryanta, I. W. R. (2019). Bawang merah dan manfaatnya bagi kesehatan. *Widya Kesehatan*, 1(1), 29–35.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Produksi sayuran daun di Indonesia tahun 2019–2023*. Diakses dari <https://www.bps.go.id> pada 10 Januari 2026.
- Cameron, N. (2023). ESP32 microcontroller. In *ESP32 Formats and Communication: Application of Communication Protocols with ESP32 Microcontroller* (pp. 1–54). Springer.
- Dida, N., & Watiasih, R. (2022). Aplikasi Teknologi IoT Pada Sistem Kontrol dan Monitoring Tandon Air. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, 60–72.
- Izzuddin, A. (2016). Wirausaha santri berbasis budidaya tanaman hidroponik. *Jurnal Pengabdian Masyarakat/DIMAS*, 12(2), 351–366.
- Kementerian Agama Republik Indonesia. (2024). *Tafsir Al-Qur'an Surat Al-Baqarah ayat 164*. Diakses dari <https://quran.kemenag.go.id> pada 10 Januari 2026.
- Kurniawan, R. A., & Amrulloh, M. F. (2024). RANCANG BANGUN SISTEM SENSOR PH 4502C DAN SENSOR SEN0189 PADA AIR LIMBAH UNTUK MENDETEKSI TINGKAT CAIRAN BERBAHAYA. *SPIRIT*, 16(2).
- Kusumaningrum, S. I. (2019). Pemanfaatan sektor pertanian sebagai penunjang pertumbuhan perekonomian indonesia. *Transaksi*, 11(1), 80–89.
- Larasati, N. (2019). *Pengaruh Konsentrasi Larutan Nutrisi terhadap Pertumbuhan Tanaman Daun Bawang (Allium fistulosum L.) pada Sistem Hidroponik Wick*. Skripsi. Universitas Negeri Semarang.
- Maricar, M. A. (2019). Analisa perbandingan nilai akurasi moving average dan exponential smoothing untuk sistem peramalan pendapatan pada perusahaan xyz. *Jurnal Sistem Dan Informatika (JSI)*, 13(2), 36–45.
- Meltin, L. (2009). *Budidaya tanaman bawang daun (Allium fistulosum L.) di kebun benih hortikultura (KBH) Tawangmangu*.

- Muliadi, M., Imran, A., & Rasul, M. (2020). Pengembangan tempat sampah pintar menggunakan ESP32. *Jurnal Media Elektrik*, 17(2), 73–79.
- Mustofa, B., & Ma, A.-I. L. (2015). Al-Ibriz li Ma ‘rifati Tafsir al-Qur’an al-‘Aziz. *Kudus: Menara Kudus, Tt*.
- Panjaitan, R. A. (2024). Prototype Sistem Pemberian Nutrisi Otomatis Pada Tanaman Hidroponik Selada Dengan Wick System Berbasis Internet Of Thing (IoT). *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(2).
- Purnomo, M. R. A. (2016). *Prediksi Konsumsi Solar Sebagai Bahan Bakar Mesin Pompa Air Menggunakan Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) Dan Subtractive Clustering*.
- Putra, E. K. (2020). *Sistem monitorig kualitas air pada budidaya bibit ikan hias menggunakan metode fuzzy mamdani berbasis internet of things*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Rahmawati, S. (2017). Perancangan aplikasi fuzzy logic dalam menentukan volume produksi dengan menggunakan metode mamdani. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Pendidikan*, 10(1), 1–10.
- Rindengan, A. J., & Langi, Y. A. (2019). *Sistem Fuzzy*. Bandung: CV. Patra Media Grafindo.
- Rombe, A. N., Aksara, L. F., & Surimi, L. (2019). Analisis perbandingan real time streaming protocol (RTSP) dan hypertext transfer protocol (HTTP) pada layanan live video streaming. *semanTIK*, 5(1), 149–156.
- Rusli, M. (2017). *Dasar Perancangan Kendali Logika Fuzzy*. Universitas Brawijaya Press.
- Selay, A., Andigha, G. D., Alfarizi, A., Wahyudi, M. I. B., Falah, M. N., Khaira, M., & Encep, M. (2022). Internet Of Things. *Karimah Tauhid*, 1(6), 860–868.
- Seni, B. A. S. (2022). *Kendali Dan Monitoring Tds Nutrisi Dan Ph Pada Budidaya Tanaman Selada (Lactuca Sativa Var. Crispa L) Hidroponik Berbasis Internet Of Things (Iot)*. Universitas Komputer Indonesia.
- Setiawan, M. A., & Sulistyasni, S. (2024). Sistem Pertanian Hidroponik Padi Cerdas Berbasis Internet of Things pada Lahan Perkotaan Guna Menambah Ketahanan Pangan Masyarakat: Smart Internet of Things Based Hydroponic Rice Farming System in Urban Areas to Enhance Food Security for the Community. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 4(1), 118–129.

- Setyawan, D. Y., Warsito, W., Marjunus, R., & Sumaryo, S. (2024). Automasi dan Internet of Things (IoT) pada Pertanian Cerdas: Review artikel pada Jurnal Terakreditasi Kemenristek. *Prosiding Semnastek*.
- Shihab, M. Q. (2002). Tafsir al-misbah. *Jakarta: Lentera Hati*, 2, 52–54.
- Sugandi, B. (2025). Monitoring Suhu, pH dan Kelembapan Untuk Aplikasi Smart Farming Berbasis Internet Of Things. *Electrician: Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, 19(3), 394–403.
- Sundoro, B. T. (2022). Penyuluhan penggunaan teknik hidroponik wick system dengan media botol plastik bekas sebagai media cocok tanam di desa ngawu, playen, gunung kidul. *Jurnal Atma Inovasia*, 2(3), 339–343.
- Suryatini, F., Pancono, S., Bhaskoro, S. B., & Muljono, P. M. S. (2021). Sistem Kendali Nutrisi Hidroponik berbasis Fuzzy Logic berdasarkan Objek Tanam. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 9(2), 263.
- Widaningsih, S. (2017). Analisis Perbandingan Metode Fuzzy Tsukamoto, Mamdani dan Sugeno dalam Pengambilan Keputusan Penentuan Jumlah Distribusi Raskin di Bulog Sub. Divisi Regional (Divre) Cianjur. *Infoman's*, 11(1), 51–65.

LAMPIRAN

Tabel Hasil Uji

No	pH	Status pH	TDS (ppm)	Status TDS	Pompa Aktif	Durasi Pompa (ms)	Waktu
1	7.66	Tinggi	300.0	Rendah	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:16:20
2	7.67	Tinggi	300.0	Rendah	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:17:19
3	7.67	Tinggi	300.0	Rendah	Nutrisi, pH Down	2000	2026-06-25 08:17:24
4	7.58	Tinggi	751.0	Rendah	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:18:20
5	7.57	Tinggi	750.0	Rendah	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:19:20
6	7.57	Tinggi	750.0	Rendah	Nutrisi, pH Down	2000	2026-06-25 08:19:24
7	7.48	Tinggi	1211.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:20:20
8	7.47	Tinggi	1210.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:21:20
9	7.47	Tinggi	1210.0	Normal	pH Down	1000	2026-06-25 08:21:21
10	7.37	Tinggi	1208.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:22:20
11	7.4	Tinggi	1210.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:23:20
12	7.4	Tinggi	1210.0	Normal	pH Down	1000	2026-06-25 08:23:21
13	7.31	Tinggi	1208.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:24:19
14	7.28	Tinggi	1210.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:25:20
15	7.28	Tinggi	1210.0	Normal	pH Down	1000	2026-06-25 08:25:21
16	7.23	Tinggi	1209.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:26:20
17	7.22	Tinggi	1207.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:27:20
18	7.22	Tinggi	1207.0	Normal	pH Down	1000	2026-06-25 08:27:21
19	7.14	Tinggi	1206.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:28:20
20	7.13	Tinggi	1206.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:29:20
21	7.13	Tinggi	1206.0	Normal	pH Down	1000	2026-06-25 08:29:21
22	7.04	Tinggi	1205.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:30:19
23	7.05	Tinggi	1207.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:31:19
24	7.05	Tinggi	1207.0	Normal	pH Down	1000	2026-06-25 08:31:21
25	6.95	Tinggi	1206.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:32:19
26	6.93	Tinggi	1204.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:33:20
27	6.93	Tinggi	1204.0	Normal	pH Down	1000	2026-06-25 08:33:21
28	6.85	Tinggi	1202.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:34:19
29	6.85	Tinggi	1204.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:35:20
30	6.85	Tinggi	1204.0	Normal	pH Down	1000	2026-06-25 08:35:21
31	6.78	Tinggi	1203.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:36:20
32	6.81	Tinggi	1201.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:37:20
33	6.81	Tinggi	1201.0	Normal	pH Down	1000	2026-06-25 08:37:21
34	6.76	Tinggi	1200.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:38:20
35	6.75	Tinggi	1202.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:39:20
36	6.75	Tinggi	1202.0	Normal	pH Down	1000	2026-06-25 08:39:21
37	6.65	Tinggi	1201.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:40:20
38	6.65	Tinggi	1202.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:41:20
39	6.65	Tinggi	1202.0	Normal	pH Down	1000	2026-06-25 08:41:21
40	6.58	Tinggi	1204.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:42:20
41	6.61	Tinggi	1205.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:43:20
42	6.61	Tinggi	1205.0	Normal	pH Down	1000	2026-06-25 08:43:21
43	6.56	Tinggi	1204.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:44:20
44	6.55	Tinggi	1205.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:45:20
45	6.55	Tinggi	1205.0	Normal	pH Down	1000	2026-06-25 08:45:21

46	6.5	Normal	1204.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:46:20
47	6.48	Normal	1203.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:47:19
48	6.48	Normal	1203.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:47:20
49	6.49	Normal	1201.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:48:20
50	6.49	Normal	1202.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:49:20
51	6.49	Normal	1202.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:49:20
52	6.49	Normal	1201.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:50:20
53	6.52	Tinggi	1200.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:51:20
54	6.52	Tinggi	1200.0	Normal	pH Down	1000	2026-06-25 08:51:21
55	6.47	Normal	1199.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:52:19
56	6.48	Normal	1199.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:53:20
57	6.48	Normal	1199.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:53:20
58	6.48	Normal	1201.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:54:20
59	6.46	Normal	1201.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:55:20
60	6.46	Normal	1201.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:55:21
61	6.46	Normal	1202.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:56:20
62	6.47	Normal	1204.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:57:20
63	6.47	Normal	1204.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:57:20
64	6.49	Normal	1205.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:58:20
65	6.47	Normal	1207.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:59:19
66	6.47	Normal	1207.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 08:59:20
67	6.44	Normal	1208.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:00:20
68	6.43	Normal	1209.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:01:19
69	6.43	Normal	1209.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:01:20
70	6.44	Normal	1210.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:02:20
71	6.46	Normal	1210.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:03:19
72	6.46	Normal	1210.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:03:20
73	6.49	Normal	1211.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:04:19
74	6.49	Normal	1211.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:05:19
75	6.49	Normal	1211.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:05:20
76	6.49	Normal	1211.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:06:19
77	6.5	Tinggi	1210.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:07:20
78	6.5	Tinggi	1210.0	Normal	pH Down	1000	2026-06-25 09:07:21
79	6.41	Normal	1208.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:08:20
80	6.41	Normal	1210.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:09:20
81	6.41	Normal	1210.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:09:20
82	6.44	Normal	1209.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:10:20
83	6.45	Normal	1209.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:11:20
84	6.45	Normal	1209.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:11:20
85	6.47	Normal	1209.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:12:20
86	6.45	Normal	1209.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:13:20
87	6.45	Normal	1209.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:13:20
88	6.42	Normal	1210.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:14:20
89	6.42	Normal	1209.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:15:20
90	6.42	Normal	1209.0	Normal	Tidak Ada	0	2026-06-25 09:15:20