

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN KENDALI KADAR
OKSIGEN DAN PH AIR TAMBAK UDANG VANAME DI BUMI
DIPASENA MENGGUNAKAN METODE *FUZZY LOGIC* BERBASIS IoT
(*Internet of Things*)**

(Skripsi)

Oleh :

ARYA NUGRAHA

2115031033



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2025

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN KENDALI KADAR OKSIGEN DAN PH AIR TAMBAK UDANG VANAME DI BUMI DIPASENA MENGGUNAKAN METODE *FUZZY LOGIC* BERBASIS IoT (*Internet of Things*)

Oleh:

Arya Nugraha

Perubahan kadar oksigen dan pH air tambak yang terlambat terdeteksi, dapat menimbulkan masalah serius bagi udang. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pemantauan dan pengendalian berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan metode *fuzzy logic* untuk menampilkan data kualitas air melalui *smartphone* atau *desktop*. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DO SEN 0237, sensor pH SEN0161, platform Thingspeak untuk menampilkan nilai kualitas air, dan Telegram untuk mengirimkan notifikasi secara *real-time* kepada petambak.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan berfungsi dengan baik. Pengujian kesesuaian informasi dan kendali membuktikan bahwa terdapat kesesuaian 100% pengendalian relay antara alat yang dirancang dengan tampilan pada platform Thingspeak. Pengujian akurasi dilakukan di dua lokasi yang berbeda, dan hasilnya menunjukkan bahwa nilai rata-rata persentase selisih tertinggi yang terukur adalah 1,3% untuk sensor pH dan 4,37% untuk sensor DO, yang keduanya masih berada di bawah batas toleransi selisih maksimum sebesar 10%.

Kata Kunci: Sistem Monitoring, *Internet of Things* (IoT), *Fuzzy Logic*, ESP32, Tambak Udang Vaname.

ABSTRACT

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MONITORING AND CONTROL SYSTEM FOR OXYGEN AND PH LEVELS IN VANNAMEI SHRIMP PONDS AT BUMI DIPASENA USING FUZZY LOGIC METHOD BASED ON IoT (Internet of Things)

By:

Arya Nugraha

Delayed detection of changes in oxygen levels and pH in the shrimp pond water can cause serious problems for the shrimp. This research aims to design and build a monitoring and control system based on the Internet of Things (IoT) using fuzzy logic methods to display water quality data through smartphones or desktops. The system uses an ESP32 microcontroller, DO sensor SEN 0237, pH sensor SEN0161, the Thingspeak platform to display water quality values, and Telegram to send real-time notifications to shrimp farmers.

The test results show that the developed system functions properly. Information and control conformity testing proved 100% consistency in relay control between the designed device and the display on the Thingspeak platform. Accuracy testing was conducted at two different locations, and the results showed that the highest measured average percentage difference was 1.3% for the pH sensor and 4.37% for the DO sensor, both of which are below the maximum tolerance limit of 10%.

Keywords: Monitoring System, Internet of Things (IoT), Fuzzy Logic, ESP32, Vannamei Shrimp Pond.

**RANCANG SISTEM BANGUN MONITORING DAN KENDALI KADAR
OKSIGEN DAN PH AIR TAMBAK UDANG VANAME DI BUMI
DIPASENA MENGGUNAKAN METODE *FUZZY LOGIC* BERBASIS IoT
(*Internet of Things*)**

**Oleh :
ARYA NUGRAHA**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik
Pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung**



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2025

Judul Skripsi

: **RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING
DAN KENDALI KADAR OKSIGEN DAN PH
AIR TAMBAK UDANG VANAME DI BUMI
DIPASENA MENGGUNAKAN METODE
FUZZY LOGIC BERBASIS IoT (*Internet of
Things*)**

Nama Mahasiswa

: **ARYA NUGRAHA**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2115031033**

Jurusan

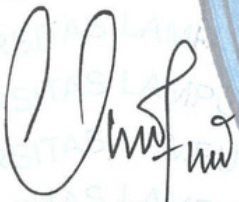
: **Teknik Elektro**

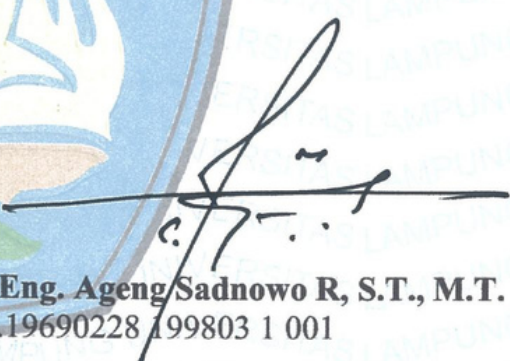
Fakultas

: **Teknik**



MENYETUJUI
Komisi Pembimbing


Umi Murdika, S.T., M.T.
NIP.19720206 200501 2 002


Dr. Eng. Ageng Sadnowo R, S.T., M.T.
NIP.19690228 199803 1 001

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ketua Program Studi Teknik Elektro


Herlinawati, S.T., M.T.
NIP.19710314 199903 2 001


Sumadi, S.T., M.T.
NIP.19731104 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Umi Murdika, S.T., M.T.

Sekretaris

: Dr. Eng. Ageng Sadnowo R, S.T., M.T.

Penguji

Bukan Pembimbing

: Syaiful Alam, S.T., M.T.

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 19750928 2001121 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 30 Juli 2025



SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kendali Kadar Oksigen dan pH Air Tambak Udang Vaname di Bumi Dipasena Menggunakan Metode *Fuzzy Logic* Berbasis IoT (*Internet Of Things*)” tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi akademik sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 30 Juli 2025



Arya Nugraha
NPM 2115031033

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sri Bawono, Lampung Timur pada tanggal 11 September 2002, sebagai anak pertama dari pasangan Bapak Sulardi dan Ibu Luluk Nurhayati.

Riwayat Pendidikan penulis dimulai dari TK Dharma Wanita Bumi Dipasena Mulya pada Tahun 2007 hingga 2009. SDN 1 Bumi Dipasena Mulya pada tahun 2009 hingga 2015. SMPN 1 Rawa Jitu Timur pada tahun 2015 hingga

2018. Kemudian dilanjutkan pendidikan tingkat atas SMKN 3 Metro pada tahun 2018 hingga 2021.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa, penulis bergabung dalam organisasi intra kampus Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) sebagai anggota Departemen Kewirausahaan pada tahun 2022 dan anggota Departemen Humas pada tahun 2023. Penulis juga bergabung dalam organisasi Forum Silaturahmi dan Studi Islam Fakultas Teknik (FOSSI-FT) sebagai anggota Departemen Biro Usaha Mandiri (BUM) pada tahun 2022, dan menjadi kepala departemen Biro Usaha Mandiri (BUM) pada tahun 2023. Penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Enviromate Technology International (ETI) di Simalungun, Sumatera Utara. Yang tergabung dalam divisi *electrical engineering* dan melanjutkan membuat laporan yang berjudul ANALISIS INSULATION DAN RESISTANCE TEST PADA MOTOR MIXER TANGKI TIMBUN CPO 121 DENGAN METODE DIELECTRIC ABSORPTION RATIO (DAR) DI PT. ENVIROMATE TECHNOLOGY INTERNATIONAL, SUMATERA UTARA” tahun 2024.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan Ridho Allah SWT

Teriring Shalawat & Salam kepada Nabi Muhammad SAW

KUPERSEMBAHKAN SKRIPSI INI KEPADA:

**"Kedua Orang Tua saya, Ayahanda Sulardi dan Ibunda
Luluk Nurhayati yang tak kenal lelah dalam berdo'a
dan bekerja demi memberikan semua hal terbaik untuk
anaknya dalam mencapai kesuksesan"**

Serta

Keluarga Besar, Dosen, Sahabat Teman,

dan

Almamater

MOTTO

لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya."

(QS. Al-Baqarah: 286)

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ﴿٥﴾ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ﴿٦﴾

"Maka, sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan."

(QS. Al-Insyirah: 5-6)

"Angin tidak berhembus untuk menggoyangkan pepohonan, melainkan menguji kekuatan akarnya."

(Ali bin Abi Thalib)

"Everybody is a genius. But if you judge a fish by its ability to climb a tree, it will live its whole life believing that it is stupid."

(Albert Einstein)

SANWACANA

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kendali Kadar Oksigen dan pH Air Tambak Udang Vaname di Bumi Dipasena Menggunakan Metode *Fuzzy Logic* Berbasis IoT (*Internet of Things*)” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selama proses penyusunan ini, penulis mendapatkan banyak dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua yang telah membantu, terutama kepada :

1. Untuk Bapakku Sulardi dan Mamaku Luluk Nurhayati, yang selalu menjadi panutan dan sumber kekuatanku. Terima kasih atas segala pengorbanan, perjuangan tanpa henti, dan doa-doa yang selalu mengiringi langkahku. Kalian telah memberikan dukungan luar biasa, meski tidak sempat merasakan pendidikan sampai bangku perkuliahan, namun kalian berdua mampu mendidik dan memotivasi penulis dengan cara yang tak ternilai harganya. Berkat bimbingan kalian, penulis dapat sampai pada titik ini dan menyelesaikan studi hingga jenjang sarjana. Gelar ini bukan hanya milik penulis, tetapi juga milik kalian yang telah mendampingi, membesarkan, dan mendoakan tanpa lelah. Dengan penuh cinta dan rasa hormat, saya persembahkan gelar sarjana ini untuk kalian berdua, Bapakku Sulardi dan Mamaku Luluk Nurhayati.
2. Keluarga besar almarhum mbah Darmo, dan almarhum mbah Hari tercinta yang selalu memberikan dukungan, do'a, dan motivasi kepada penulis selama menempuh pendidikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini di waktu yang tepat.

3. Kepada keluarga besar almarhum Pak Sunarto, S.Pd. dan Ibu Rubiati serta mas Wiwit yang telah memberikan fasilitas tempat tinggal, motivasi, dan dukungan kepada penulis layaknya keluarga selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung.
4. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A. IPM., ASEAN.Eng., selaku Rektor Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
6. Ibu Herlinawati, S.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
7. Bapak Sumadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung.
8. Ibu Umi Mardika, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bimbingan, arahan, motivasi, nasihat, dan pandangan hidup yang Ibu berikan dengan baik dan ramah di setiap kesempatan. Ibu tidak hanya memberikan ilmu, tetapi juga selalu menunjukkan rasa peduli seperti seorang ibu yang khawatir dengan keadaan anaknya. Setiap dukungan dan motivasi yang Ibu berikan sangat berarti bagi penulis. Terima kasih telah meluangkan waktu dan kesabaran untuk membimbing penulis. Semoga segala kebaikan dan ilmu Ibu menjadi amal jariyah dan membawa keberkahan.
9. Bapak Dr. Eng. Ageng Sadnowo Repelianto, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing kedua, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala arahan, bimbingan, dan perhatian yang telah Bapak berikan selama proses penyusunan skripsi ini. Bimbingan yang Bapak berikan sangat berharga, membantu penulis dalam melihat berbagai sudut pandang, memperbaiki isi tulisan, dan memperkuat kualitas penelitian ini. Penulis sangat menghargai setiap nasihat dan arahan yang penuh perhatian, seolah seorang ayah yang khawatir anaknya tidak bisa apa-apa, namun dengan sabar memberikan dukungan dan pengetahuan dalam skripsi ini. Semoga segala ilmu, kebaikan, dan dedikasi yang telah Bapak bagikan mendapatkan balasan terbaik dari Allah SWT.

10. Bapak Syaiful Alam, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, masukan, saran, serta motivasi kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah.
11. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, bimbingan dengan baik dan tulus kepada penulis selama perkuliahan.
12. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan pengajaran dan pandangan hidup selama perkuliahan.
13. Staf administrasi Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
14. Teruntuk Jefri Prayoga, Ruli Amar Ma'ruf, Piz Roni, dan Rijal Mahmud Wahyudi, sahabat-sahabat penulis yang selalu mendampingi, memberi motivasi, dan semangat luar biasa selama perkuliahan hingga saat ini. Terima kasih telah menjadi teman yang sangat baik seperti saudara. Terima kasih karena selalu ada untuk penulis, tidak pernah membiarkan penulis sendirian, siap membantu kapan pun penulis butuh, dan selalu mendengarkan keluh kesah selama di perantauan ini.
15. Terima kasih kepada sahabat selama kerja praktik, Steevan Urian Robiyanto dan Jamed Christian Yoga Pratama, yang telah menemani, memberi tempat, dan berbagi kebersamaan selama kerja praktik, baik di saat suka maupun duka. Hingga saat akhir ini mengerjakan skripsi dengan penelitian yang sama di tambak udang vaname.
16. Ilham Aji Wicaksono, sebagai sahabat teman seperjuangan dalam penulisan skripsi ini, terima kasih telah membantu, menyemangati, dan mendoakan penulis selama proses penyusunan skripsi ini.
17. Terima kasih kepada sobat selama perkuliahan Faisal, Noven, Benyamin, Alex, Daniel, Farda Bayzura, Rika Septi, Ananda Saputri, Dona Eliza, dan Serly Ulya. Terima kasih atas semangat, dukungan, tawa, dan kebersamaan yang telah menjadi kenangan indah dalam kehidupan kampus penulis.
18. Rekan-rekan Madukoro Kost Blok C yaitu Febri Husnain, Inggomeye, mas Galih, mas Andre Gunawan, dan Febrian Cahyadi, yang selalu memberikan

canda tawa terutama di malam hari, alunan-alunan dan nyanyian yang meramaikan, serta agenda-agenda yang mendadak namun tetap terlaksana, terima kasih atas kebersamaannya blok c jaya jaya jaya.

19. Sahabat dan tetangga dari penulis kecil hingga sama-sama tumbuh dalam menempuh bangku perkuliahan yaitu mas Reza, Kenni, dan Esti.
20. Teruntuk Ichsan, Krespo, Putri, Kamelia, Maul, dan Zahra, terima kasih atas telah menjadi teman-teman KKN di Desa Mekar jaya.
21. Sahabat FOSSI-FT 2023 yang selalu memberikan semangat kepada penulis.
22. Segenap Keluarga Besar Angkatan EXCALTO 2021, dan teman – teman yang telah menjadi keluarga bagi penulis.
23. Rekan – rekan HIMATRO UNILA serta kakak – kakak dan adik – adik tingkat di Jurusan Teknik Elektro.
24. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
25. Terakhir, penulis ingin mengucapkan kepada diri sendiri Arya Nugraha, sebagai sosok yang cenderung pendiam ini, terima kasih yang sebesar-besarnya atas komitmenmu untuk menyelesaikan setiap hal yang telah kamu mulai. Terima kasih atas usaha yang tiada henti dan keteguhan hatimu untuk tidak menyerah, meskipun banyak rintangan yang sempat membuatmu berpikir untuk berhenti. Kamu tetap menikmati setiap proses, meski penuh tantangan dan rintangan. Terima kasih telah bertahan hingga akhirnya.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca serta menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

Bandar Lampung, 11 Agustus 2025

Penulis,

Arya Nugraha
NPM 2115031033

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xv
LEMBAR JUDUL	xviii
LEMBAR PERSETUJUAN	xviii
LEMBAR PENGESAHAN	xx
SURAT PERNYATAAN	xv
RIWAYAT HIDUP	xv
PERSEMBAHAN	ixviii
MOTTO	xx
SANWACANA	xv
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Hipotesis	5
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 Teori Dasar	10
2.2.1 Metode <i>Fuzzy Logic</i> Mamdani	10
2.2.2 Linearisasi Sensor	12

2.2.3 Sensor Kadar Oksigen (<i>Dissolved Oxygen</i>).....	13
2.2.4 Sensor pH.....	14
2.2.5 Mikrokontroler	15
2.2.6 <i>Internet of Things</i> (IoT).....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	18
3.2 Alat dan Bahan	18
3.3 Metode Penelitian	19
3.4 Skenario Perancangan Sistem.....	20
3.4 Perancangan Sistem.....	21
3.5 Diagram Blok Sistem.....	24
3.6 Metode <i>Fuzzy Logic</i>	26
3.6.1 Fungsi Keanggotaan <i>Input</i> dan <i>Output</i>	26
3.6.2 Grafik Keanggotaan	27
3.6.3 Aturan Logika <i>Fuzzy</i>	30
3.7 Metode Pengujian	31
3.7.1 Pengujian Sub Sistem.....	31
3.7.2 Pengujian Sistem Perancangan	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Implementasi Perancangan	33
4.1.1 Implementasi Alat Pada Kolam	34
4.1.2 Implementasi Alat Pada Tambak Udang Vaname	35
4.2 Prinsip Kerja Rangkaian.....	36
4.3 Hasil Pengujian Sub Sistem.....	37
4.3.1 Pengujian Sensor Kadar Oksigen (<i>Dissolved Oxygen</i>)	37
4.3.2 Data Hasil Pengujian Sensor pH air	41
4.3.3 Pengujian Pada OLED.....	45
4.3.4 Pengujian <i>Relay</i>	46
4.3.5 Pengujian Sistem <i>Internet of Things</i> (IoT).....	47
4.3.6 Pengujian pada <i>Thingspeak</i>	47
4.3.7 Pengujian Telegram.....	51
4.4 Perhitungan Logika <i>Fuzzy</i>	52
4.5 Pengujian Sistem Perancangan.....	55

4.5.1 Pengujian Pada Tambak Udang Vaname.....	55
4.5.2 Pengujian Akurasi Sensor.....	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	72
5.1 Kesimpulan.....	72
5.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Alir Proses <i>Fuzzy Logic</i>	10
Gambar 2.2 Proses linearisasi sensor	13
Gambar 2.3 Prinsip Kerja Sensor Analog Kadar Oksigen	14
Gambar 2.4 Sensor pH Air.....	14
Gambar 2.5 Mikrokontroler ESP 32	15
Gambar 2.6 Mekanisme Komunikasi Sistem.....	16
Gambar 2.7 Protokol Komunikasi Sistem.....	17
Gambar 3.1 Konsep Perancangan Sistem Monitoring	21
Gambar 3.2 Diagram Alir Logika <i>Fuzzy</i>	21
Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem	24
Gambar 3.4 Grafik Variabel pH.....	27
Gambar 3.5 Grafik Variabel DO	28
Gambar 3.6 Grafik Variabel Kualitas Air	29
Gambar 4.1 Realisasi Desain Alat	33
Gambar 4.2 Implementasi Pada Kolam	34
Gambar 4.3 Implementasi Pada Tambak Udang Vaname	35
Gambar 4.4 <i>Wiring</i> Diagram Sistem Rangkaian.....	36
Gambar 4.5 Skematik Rangkaian DO	38
Gambar 4.6 Proses Kalibrasi Sensor DO	38
Gambar 4.7 Grafik Regresi Linier Nilai Sensor DO dan Nilai DO Meter.....	40
Gambar 4. 8 Skematik Rangkaian pH.....	41
Gambar 4.9 Proses Pengujian Sensor pH.....	42
Gambar 4.10 Grafik Regresi Linier Nilai pH Sensor dan pH Meter	43
Gambar 4.11 Skematik Pengujian OLED	45
Gambar 4.12 Tampilan Hasil Pengujian OLED	45
Gambar 4.13 Skematik rangkaian <i>Relay</i>	46
Gambar 4.14 Pengujian <i>Relay</i>	47

Gambar 4.15.A Dashboard Thingspeak Nilai pH	48
Gambar 4.15.B Dashboard Thingspeak Nilai DO	48
Gambar 4.15.C Dashboard Thingspeak Nilai Output <i>Fuzzy</i>	48
Gambar 4.15.D Dashboard Thingspeak Grafik Nilai pH dan DO	48
Gambar 4.16 Tampilan Pesan Telegram.....	51
Gambar 4.17 Penggambaran prosedur pengambilan data akurasi	62
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan nilai DO alat dan DO meter pada Tambak ...	65
Gambar 4.19 Grafik Perbandingan nilai DO alat dan DO meter pada Kolam.....	66
Gambar 4.20 Grafik Perbandingan nilai pH dan pH meter pada Tambak	69
Gambar 4.22 Grafik Perbandingan nilai pH alat dan pH meter pada Kolam	71

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Alat dan Bahan.....	18
Tabel 3.2 Fungi Keanggotaan <i>Input</i> dan <i>Output</i>	26
Tabel 3.3 Aturan <i>Fuzzy</i>	30
Tabel 4.1 Data Hasil Kalibrasi Sensor DO	39
Tabel 4.2 Data Hasil Kalibrasi Sensor pH air	43
Tabel 4.3 Sampel Perhitungan	52
Tabel 4.4 Proses Aturan Bekerja.....	53
Tabel 4.5 Pengujian Kesesuaian Informasi dan Kendali pada Tambak Udang	56
Tabel 4.6 Pengujian Kesesuaian Informasi dan Kendali pada Kolam.....	59
Tabel 4.7 Pengujian Akurasi Sensor DO Pada Tambak	63
Tabel 4.8 Pengujian Akurasi Sensor DO Pada Kolam.....	66
Tabel 4.9 Pengujian Akurasi Sensor pH pada Tambak.....	67
Tabel 4.10 Pengujian Akurasi Sensor pH pada Kolam.....	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Monitoring merupakan proses rutin pengumpulan data dan pengukuran kemajuan atas suatu objektif program memantau perubahan kadar pH dan oksigen air yang berfokus pada proses dan *output*. Monitoring membantu mengumpulkan data dasar yang berguna untuk memahami suatu masalah. Selain itu, monitoring juga memberikan informasi tentang kondisi saat ini dan perubahan yang terjadi seiring waktu melalui pengukuran dan evaluasi yang dilakukan secara berkala [1]. Monitoring biasanya dilakukan untuk tujuan tertentu, yaitu memeriksa suatu proses atau menilai kondisi yang berguna untuk melihat sejauh mana kemajuan telah dicapai. Tujuannya adalah memastikan bahwa tindakan yang diambil memiliki efek yang diharapkan dan membantu menjaga agar manajemen tetap berjalan dengan baik. Pada penelitian ini, aktivitas monitoring bertujuan untuk mengetahui perubahan kadar oksigen dan pH air pada tambak udang vaname.

Sistem monitoring adalah sebuah kegiatan yang mencakup pengumpulan, peninjauan ulang dan tindakan atas sesuatu proses yang berjalan pada sebuah sistem. Pada dasarnya pemantauan atau monitoring digunakan untuk memastikan sebuah sistem dapat berjalan sesuai dengan keadaan yang telah ditetapkan [2]. Dengan pemantauan diharapkan sebuah sistem dapat menghasilkan *output* monitoring berupa peningkatan kualitas yang terjadi terhadap suatu objek yang dipantau, dengan menerapkan sistem kendali dan pemantau kualitas air tambak udang berbasis kadar oksigen, dan pH air.

Permasalahan yang sering dihadapi oleh petambak udang di Bumi Dipasena adalah kesulitan dalam memantau parameter kualitas air secara *real-time* dan

berkelanjutan. Metode pengukuran konvensional yang masih manual dan periodik tidak dapat memberikan informasi yang akurat tentang perubahan mendadak pada kondisi air tambak, yang dapat berakibat fatal bagi kesehatan dan pertumbuhan udang [3]. Keterlambatan dalam mendeteksi perubahan parameter kualitas air, khususnya kadar oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) dan derajat keasaman (pH), dapat menyebabkan stres pada udang, menurunkan tingkat pertumbuhan, bahkan kematian massal yang berujung pada kerugian ekonomi.

Seiring dengan berkembangnya teknologi, sistem monitoring kualitas air pada tambak udang semakin mengalami inovasi untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pemantauan parameter-parameter penting, seperti kadar oksigen terlarut (DO) dan pH air. Kualitas air tambak yang optimal memiliki nilai kadar oksigen lebih dari 4 mg/L, dan nilai pH air berada pada 7,5 sampai 8,5 [4][5]. Kualitas air yang optimal juga sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang vaname, sehingga diperlukan sistem monitoring yang dapat memberikan data secara *real-time* serta mampu melakukan analisis untuk menentukan tindakan yang tepat guna demi menjaga keseimbangan kadar oksigen dan pH air tambak [6].

Internet of Things (IoT) merupakan salah satu teknologi yang dapat diterapkan dalam sistem monitoring kualitas air. Dengan menggunakan sensor yang terintegrasi dengan IoT, data mengenai kadar oksigen dan pH air dapat dikumpulkan secara otomatis dan dikirimkan ke platform digital untuk dianalisis serta ditampilkan dalam antarmuka yang mudah diakses oleh petambak. Penggunaan metode *Fuzzy Logic* dalam sistem ini juga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih adaptif berdasarkan kondisi kualitas kadar oksigen dan pH air tambak, sehingga dapat memberikan peringatan dini yang lebih akurat dalam menjaga stabilitas kualitas air [7].

Menurut peneliti [8] membuat alat sistem monitoring kadar oksigen berbasis IoT untuk budidaya udang vaname. Sistem ini mengukur kadar oksigen terlarut yang sangat penting bagi pertumbuhan udang, dengan kadar oksigen optimal lebih dari 3 mg/L dan batas toleransi minimal 2 mg/L. Penelitian ini

menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis IoT yang dilengkapi indikator lampu hijau, LCD, dan platform Thingspeak dapat meningkatkan produktivitas budidaya udang vaname secara efektif. Lalu menurut peneliti [9], peneliti mengembangkan alat untuk memantau suhu dan pH air dalam budidaya lobster air tawar menggunakan algoritma *fuzzy logic* dan IoT. Alat ini bertujuan untuk mengatasi masalah ketidakstabilan suhu dan pH yang dapat mempengaruhi frekuensi molting (proses pergantian kulit yang dilakukan udang untuk tumbuh) dan meningkatkan kanibalisme antar lobster, yang berpengaruh pada produktivitas. Hasil uji menunjukkan tingkat kesalahan rata-rata sebesar 0,40% untuk sensor suhu dan 0,22% untuk sensor pH.

Penelitian ini menawarkan solusi berupa rancang bangun sistem monitoring kendali kadar oksigen dan pH air pada tambak udang vaname di Bumi Dipasena menggunakan metode *Fuzzy Logic* berbasis IoT. Sistem yang ditawarkan menyediakan fitur notifikasi melalui telegram yang akan memberi tahu petambak ketika parameter kualitas air berada di luar rentang yang optimal, sehingga petambak dapat mengambil tindakan dengan cepat. Sistem ini juga dirancang untuk memantau kadar oksigen terlarut dan pH air tambak secara *real-time*, sehingga dapat memberikan informasi yang akurat dan tepat waktu kepada petambak tentang kondisi kualitas air tambak. Pada sistem ini juga dilengkapi dengan pengendalian *relay* yang berfungsi untuk menghidupkan pompa air serta membuka saluran pembuangan air tambak jika kualitas air berada pada nilai yang sangat buruk.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasi sebuah system pemantauan berbasis *IoT* yang mengukur parameter kualitas air tambak yaitu kadar oksigen (*Dissolved Oxygen*) dan pH (*Potential of Hydrogen*) yang mampu memberikan data pengukuran secara *real time*?
2. Bagaimana penerapan metode *fuzzy logic* dalam mengembangkan sistem pemantauan kualitas air tambak yaitu kadar oksigen dan pH?

3. Bagaimana data yang dihasilkan oleh sistem monitoring kualitas air tambak dapat dimanfaatkan untuk mendukung analisis jangka panjang serta membantu petambak dalam pengambilan keputusan efektif dan efisien terkait pengelolaan tambak?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini hanya berfokus pada hasil monitoring kadar oksigen (*Dissolved Oxygen*) dan pH (*Potential of Hydrogen*) air tanpa mempertimbangkan parameter lain.
2. *Output* nilai hasil pengukuran hanya akan ditampilkan pada OLED dan *web server* di perangkat *mobile* maupun *desktop*.
3. Pembahasan hanya sampai pada pengiriman data ke *web server*.
4. Metode untuk pemantauan kadar oksigen dan pH air menggunakan *fuzzy logic* serta menggunakan thingspeak sebagai platform untuk memantau nilai *output sensor*.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang sistem monitoring berbasis IoT yang dapat bekerja secara *real-time* untuk mengukur dan mengendalikan kualitas air yaitu kadar oksigen dan pH pada tambak udang vaname.
2. Sistem yang dirancang mampu melakukan pengukuran kadar oksigen (*Dissolved Oxygen*) dan pH (*Potential of Hydrogen*) dengan maksimal toleransi selisih pengukuran di bawah 10%.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat meminimalisir resiko tingkat kematian udang vaname yang disebabkan oleh keterlambatan dalam mendeteksi perubahan kualitas kadar oksigen dan pH air tambak.

2. Membantu petambak dalam mengambil tindakan cepat dan tepat, dengan adanya fitur notifikasi peringatan dini saat kadar oksigen atau pH air berada diluar batas aman.
3. Meningkatkan pemahaman masyarakat terutama para petambak tradisional, mengenai manfaat teknologi IoT dalam mendukung budidaya udang vaname yang lebih modern dan efisien.

1.6 Hipotesis

Penggunaan metode *fuzzy logic* dalam pengembangan sistem monitoring kadar oksigen dan pH air berbasis IoT untuk tambak udang vaname di Bumi Dipasena. Diharapkan sistem ini mampu meningkatkan efektivitas dan efisiensi petambak dibandingkan metode konvensional. Dengan integrasi teknologi IoT, data kondisi kualitas air, seperti kadar oksigen dan pH, dapat diperoleh secara *real-time* dan diolah dengan menggunakan metode *fuzzy logic* untuk memberikan peringatan berupa notifikasi. Implementasi sistem ini juga diperkirakan dapat mengurangi risiko kematian udang vaname akibat perubahan kualitas air tambak yang terlambat terdeteksi. Selain itu, sistem ini diharapkan memudahkan petambak dalam memantau dan mengelola tambak dengan lebih efektif, yang pada akhirnya dapat meningkatkan produktivitas budidaya udang vaname di Bumi Dipasena.

1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat penelitian, hipotesis, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori yang menunjang dan mendasari penelitian serta menjadi referensi yang bersumber dari jurnal, buku, dan penelitian-penelitian terdahulu yang digunakan untuk menulis penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang waktu, tempat, alat dan bahan, alur sistem dari penelitian yang akan dilakukan selama waktu yang telah ditentukan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil dan pembahasan yang didapat selama proses penelitian berlangsung seperti data hasil, pengolahan, dan analisa yang didapatkan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran yang dapat diberikan untuk menunjang atau memperbaiki hal yang kurang dari penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian ini membahas tentang pemantauan kualitas air pada tambak udang vaname berbasis IoT (*Internet of Things*) agar memudahkan para petambak dalam memantau kualitas air tambaknya. Diambil dari referensi artikel yang telah diterbitkan ke dalam jurnal.

Pembahasan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Maxime Lafont dkk (2019) dalam penelitian yang berjudul “*Back to the future: IoT to improve aquaculture Real-time monitoring and algorithmic prediction of water parameters for aquaculture needs*” Penelitian ini mengkaji secara mendalam implementasi teknologi *Internet of Things* (IoT) yang memberikan dampak signifikan dalam sektor akuakultur. Penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam akuakultur tidak hanya meningkatkan aspek keberlanjutan dan profitabilitas, tetapi juga mendukung proses digitalisasi sektor ini. Mengingat kualitas air merupakan faktor fundamental dalam akuakultur dan menjadi penentu keberhasilan, integrasi sensor dengan kemampuan pengukuran dan transmisi data jarak jauh telah membuka peluang untuk pemantauan secara *real-time*. Ketersediaan data yang beragam dan berlimpah memungkinkan dilakukannya antisipasi dan prediksi terhadap perubahan parameter air. Dengan kontribusi IoT dalam pengembangan kecerdasan buatan, akuakultur dapat mengambil langkah teknologi yang diperlukan untuk mendukung pertumbuhan sektor ini dengan tetap memperhatikan aspek keberlanjutan lingkungan. Penelitian ini memaparkan hasil pengamatan dari implementasi IoT dalam pemantauan kualitas air secara *real-time* serta pengembangan sistem prediksi dalam konteks akuakultur[10].

Hesmi Aria Yanti dkk (2023) dalam penelitiannya yang berjudul “Simulasi Sistem Monitoring Oksigen Terlarut (DO) Pada Budidaya Udang Vaname Berbasis *Internet of Things* (IoT)”, Dalam pengembangannya, perangkat ini telah mengadopsi sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk optimalisasi produksi. Budidaya udang Vaname dilakukan secara intensif dengan kepadatan tinggi mencapai 150 m², di mana pengelolaan kualitas air, terutama kadar oksigen terlarut (DO), menjadi faktor kritis dalam menyeimbangkan metabolisme bioenergi udang vaname. Penelitian mengungkapkan bahwa kadar DO minimum untuk pertumbuhan udang vaname adalah 3,0 mg/L, dengan nilai optimal >3 mg/L dan batas toleransi 2 mg/L, sementara kadar <2,0 mg/L dapat menyebabkan kematian. Implementasi sistem monitoring berbasis IoT telah dikembangkan dengan fitur indikator lampu hijau sebagai penanda tercapainya kadar oksigen yang sesuai, dilengkapi dengan tampilan LCD untuk pemantauan *real-time*, serta analisis suhu menggunakan platform *ThingsBoard*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem ini dapat diimplementasikan secara efektif dalam kondisi nyata untuk meningkatkan produktivitas budidaya udang vaname [8].

Patra L. Tobing dkk (2024), dalam penelitiannya yang berjudul "Sistem Pemantauan dan Pengendalian Suhu dan Kadar Oksigen pada Model Tambak Udang Vaname dengan Teknologi IoT", bertujuan untuk merancang sebuah sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dapat memantau dan mengendalikan suhu serta kadar oksigen di tambak udang Vaname. Dalam sistem ini, Arduino Mega digunakan sebagai unit pengendali utama, sementara ESP32 berfungsi sebagai pengirim data ke aplikasi Blynk yang dapat diakses melalui *smartphone*. Untuk mendeteksi kadar oksigen terlarut dalam air, digunakan sensor DO SKU SEN 0237, sedangkan suhu air dipantau menggunakan sensor DS18B20. Data dari kedua sensor tersebut diproses oleh Arduino Mega dan kemudian dikirimkan ke ESP32 agar dapat dipantau dan dikendalikan secara *real-time*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu bekerja secara efektif dalam memantau serta menjaga kondisi air di model tambak, sehingga mendukung keberlangsungan lingkungan budidaya udang vaname yang lebih optimal [11].

Adi Susilo dkk (2024) dalam penelitiannya yang berjudul "Implementasi Alat Ukur Suhu dan pH Air untuk Budidaya Lobster dengan Algoritma *Fuzzy Logic* Berbasis IoT", mengkaji bagaimana kualitas suhu dan pH air dapat berdampak signifikan terhadap aktivitas budidaya lobster air tawar. Salah satu temuan penting dari penelitian ini adalah bahwa suhu dan pH yang tidak stabil dapat mempengaruhi frekuensi molting (proses ganti kulit) dan meningkatkan risiko kanibalisme antar lobster. Hal ini pada akhirnya menurunkan produktivitas budidaya. Untuk menjawab permasalahan tersebut, tim peneliti mengembangkan sebuah alat berbasis algoritma logika *fuzzy* yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT). Alat ini dirancang untuk memantau dan mengendalikan kondisi suhu serta pH air secara otomatis dan *real-time*. Dari hasil pengujian sebanyak 10 kali, alat ini menunjukkan tingkat akurasi yang cukup tinggi, dengan rata-rata kesalahan (*error*) pada sensor suhu sebesar 0,40% dan pada sensor pH sebesar 0,22% [9].

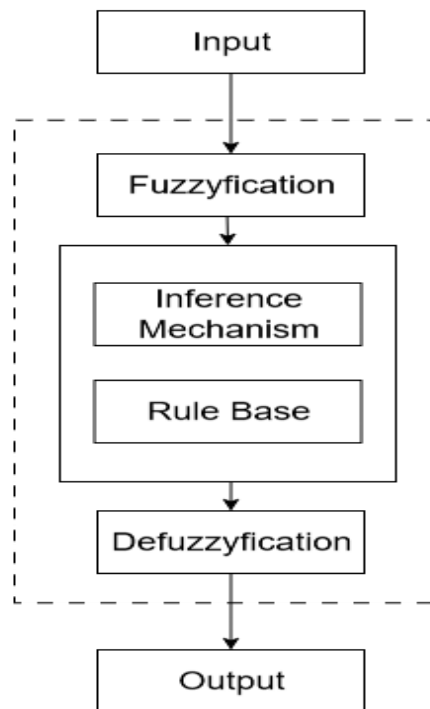
Alwansyah dkk (2024) dalam penelitiannya yang berjudul "Implementasi *Internet of Things* (IoT) untuk Sistem *Monitoring* Kualitas Air Shrimp Farming Vaname Pada Aplikasi Berbasis Android", pada penelitian ini berbagai parameter kualitas air seperti suhu, *Total Dissolved Solid* (TDS), dan pH yang tidak terkontrol dapat mengakibatkan hambatan pertumbuhan dan memicu penyebaran penyakit. Untuk mengatasi tantangan tersebut, peneliti mengembangkan sistem monitoring berbasis *mobile* dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) yang memungkinkan pemantauan kualitas air secara *real-time*. Pengembangan sistem ini dilakukan melalui tiga tahap utama yaitu perancangan sistem monitoring, pembuatan alat berbasis IoT, dan pengembangan aplikasi Android menggunakan Android Studio yang terintegrasi dengan mikrokontroler untuk pengiriman data secara *real-time*. Hasil penelitian membuktikan keberhasilan aplikasi dalam menampilkan pengukuran parameter kualitas air yang selaras dengan data *real-time* pada *Firebase*, dengan validasi khusus pada parameter suhu menunjukkan konsistensi data antara alat di lokasi tambak, *Firebase*, dan aplikasi. Sistem ini juga dilengkapi dengan fitur *alert* yang dapat memberikan notifikasi secara tepat kepada pengguna ketika terjadi penurunan kualitas air[12].

2.2 Teori Dasar

Adapun teori dasar yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

2.2.1 Metode *Fuzzy Logic* Mamdani

Metode Mamdani pada penerapannya menggunakan operasi MIN-MAX atau MAX-PRODUCT. Metode Mamdani diperkenalkan oleh Ebrahim H. Mamdani pada tahun 1975. Model Mamdani merupakan model relasional *fuzzy* dimana setiap aturan direpresentasikan dengan hubungan IF-THEN, karena baik anteseden maupun konsekuen merupakan proposisi *fuzzy*, disebut juga sebagai model linguistik atau pengumpulan data. Strukturnya dibuat secara manual [13].



Gambar 2.1 Diagram Alir Proses *Fuzzy Logic*

Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy*, yaitu: max, additive dan probabilistik OR.

- Metode Max (Maksimum)

Pada metode ini, himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk

memodifikasi daerah *fuzzy*, dan mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operator OR.

- Metode Additive (Sum)

Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan *bounded-sum* terhadap semua *output* daerah *fuzzy*.

- Metode Probabilistik OR (Probor)

Pada metode Probabilistik OR diperoleh dengan cara melakukan *product* terhadap semua *output* daerah *fuzzy*.

Pada metode Mamdani, terdapat beberapa komposisi aturan pada tahap defuzzyfikasi. Diantaranya, yaitu :

- Metode Centroid (*Composite Moment*)

Pada metode Centroid, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil pada titik pusat (z^*) pada daerah *fuzzy*.

Dengan persamaan :

$$z = \frac{\int \mu(z)x z dz}{\int \mu(z)dz} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

z = Hasil *output crisp* yang ingin dicari

$\mu(z)$ = Derajat keanggotaan *fuzzy* dari nilai z

$\mu(z)x z dz$ = momen (mengalikan z dengan derajat keanggotaanya, lalu dijumlahkan atau integralkan)

$\int \mu(z)dz$ = Luas area *fuzzy* (jumlah semua derajat keanggotaan)

- Metode Bisektor

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain *fuzzy* yang memiliki nilai keanggotaan separo dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah *fuzzy*.

2.2.2 Linearisasi Sensor

Linearisasi sensor adalah proses mengubah respons sensor yang tidak linier menjadi lebih linier agar lebih mudah dianalisis dan digunakan dalam sistem elektronik atau kontrol. Banyak sensor memiliki respons yang tidak linier terhadap perubahan parameter pengukuran. Namun, ada beberapa sensor, termasuk sensor elektrokimia tertentu, yang bersifat linier tetapi hanya dalam rentang pengukuran tertentu [14]. Hal ini bisa menyulitkan pembacaan data dan akurasi pengukuran.

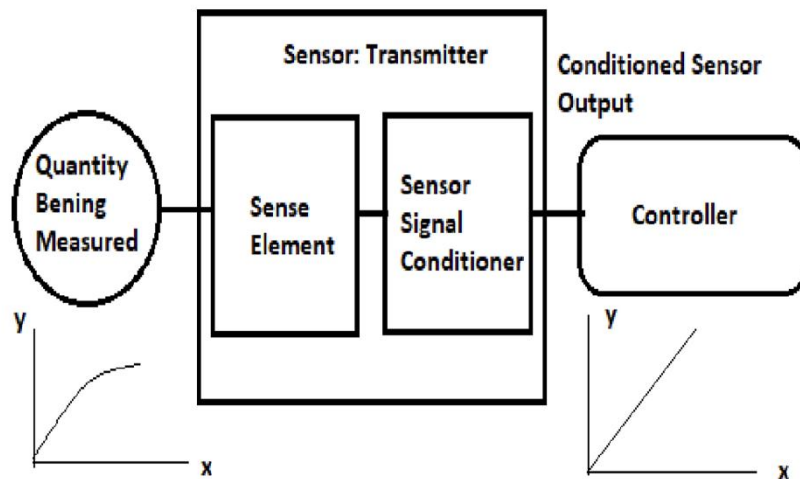
Metode linearisasi dapat digunakan, baik dengan pendekatan perangkat keras seperti rangkaian tambahan, maupun perangkat lunak dengan algoritma koreksi. Dengan linearisasi, sensor dapat memberikan hasil yang lebih akurat dan mudah dikonversi ke dalam satuan yang diinginkan, sehingga meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan.

Persamaan regresi adalah rumus matematika yang digunakan untuk memperkirakan atau memprediksi nilai suatu variabel yang bergantung (*dependent variable*) berdasarkan nilai variabel yang mempengaruhi atau bebas (*independent variable*). Konsep perhitungan ini pertama kali diperkenalkan oleh Sir Francis Galton (1822-1911). Untuk memvisualisasikan hubungan antara kedua variabel ini, digunakan diagram pencar (*scatter diagram*), di mana nilai variabel bebas ditempatkan pada sumbu X (*horizontal*), sementara nilai variabel tak bebas ditempatkan pada sumbu Y (*vertical*) [15].

Dalam sensor, persamaan regresi dapat digunakan untuk mencari nilai tegangan atau arus pada sisi masukan sensor (X), dengan menjadikan nilai *output* sensor sebagai acuan (Y) untuk menentukan nilai yang sebenarnya. Dapat dilihat pada persamaan 2.2 berikut ini :

$$y = ax + b \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana (Y) merupakan variabel dependen, (a) merupakan konstanta, (b) merupakan koefisien variabel (X), dan (X) merupakan variabel independent.

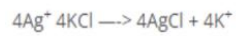


Gambar 2.2 Proses linearisasi sensor

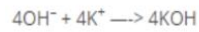
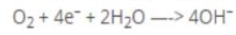
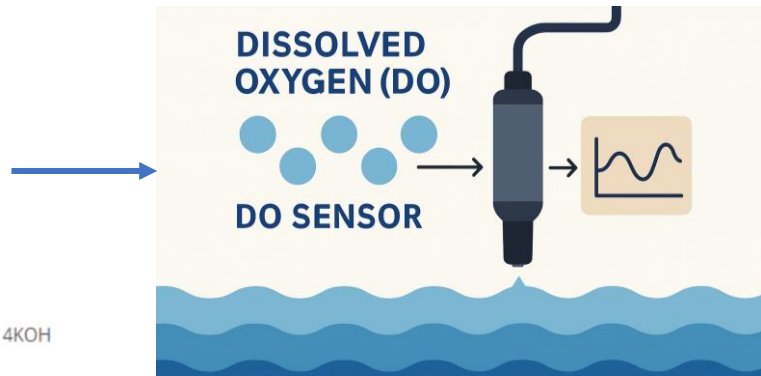
2.2.3 Sensor Kadar Oksigen (*Dissolved Oxygen*)

Sensor kadar oksigen (*Dissolved Oxygen*) adalah perangkat elektronik yang dirancang khusus untuk mengukur kadar oksigen terlarut dalam air, yang menjadi parameter kualitas air dalam sistem perairan seperti tambak, akuakultur, dan pengolahan air. Sensor ini menggunakan prinsip elektrokimia atau teknologi optik untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi molekul oksigen yang terlarut dalam air, dengan hasil pengukuran biasanya dinyatakan dalam satuan mg/L (*miligram per liter*) [16].

Sensor DO galvanik (*dissolved oxygen*) bekerja berdasarkan prinsip elektrokimia. Sensor ini terdiri dari dua elektroda, yaitu elektroda kerja dan elektroda referensi, yang terendam dalam larutan sampel. Ketika larutan mengandung oksigen terlarut, oksigen tersebut akan berinteraksi dengan elektroda kerja, menghasilkan reaksi reduksi yang memproduksi aliran arus listrik. Besarnya arus ini sebanding dengan jumlah oksigen terlarut dalam sampel, sehingga memungkinkan pengukuran konsentrasi oksigen. Sensor DO galvanik sering digunakan dalam aplikasi pemantauan kualitas air karena memberikan pembacaan yang akurat dan stabil tanpa membutuhkan kalibrasi yang sering.

Reaksi pada Anoda**Reaksi pada Katoda**

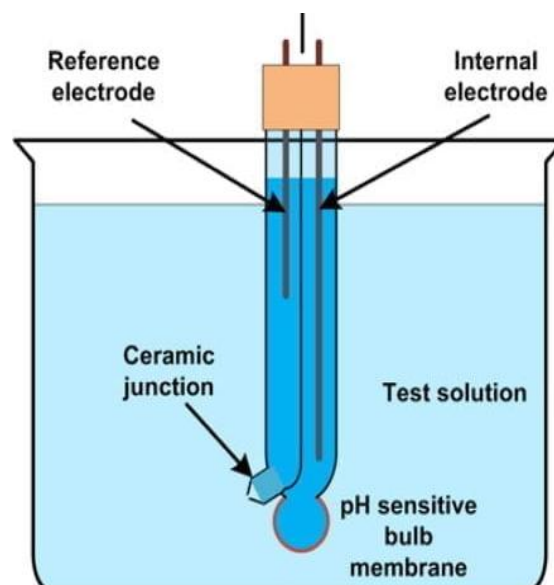
*Katoda emas adalah katoda inert

**Reaksi Keseluruhan**

Gambar 2.3 Prinsip Kerja Sensor Analog Kadar Oksigen

2.2.4 Sensor pH

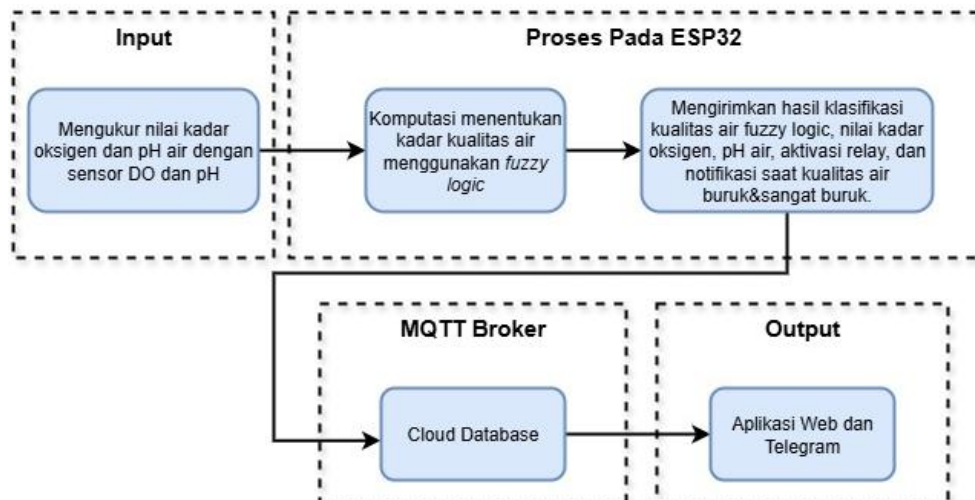
Sensor pH adalah perangkat elektronik yang dirancang khusus untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan, yang dinyatakan dalam skala pH dari 0 hingga 14. Prinsip kerja sensor pH didasarkan pada pengukuran perubahan potensial listrik antara elektroda referensi dan elektroda kaca yang sensitif terhadap konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam larutan. Elektroda kaca memiliki lapisan tipis yang dapat berinteraksi dengan ion H^+ , menyebabkan perbedaan potensial yang proporsional dengan pH larutan. Perbedaan potensial ini diukur dan diubah menjadi nilai pH. Semakin banyak ion H^+ dalam larutan, semakin rendah nilai pH, dan sebaliknya.[17].



Gambar 2.4 Sensor pH Air

2.2.5 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah versi mini dari sistem komputer yang dirancang dalam satu chip tunggal namun memiliki fungsi yang lengkap seperti halnya sebuah komputer. Di dalam chip ini terdapat komponen penting seperti prosesor sebagai pusat pemrosesan data, memori dalam kapasitas terbatas (baik RAM maupun memori program), serta unit *input-output* yang berperan untuk berkomunikasi dengan perangkat lain di sekitarnya. Walaupun ukurannya jauh lebih kecil dibandingkan dengan komputer *desktop* atau *mainframe*, mikrokontroler tetap mengandalkan elemen dasar yang sama dan menjalankan proses kerja serupa, yaitu menerima data masukan, memprosesnya berdasarkan instruksi yang telah diprogram, lalu menghasilkan respon *output* yang sesuai [18].



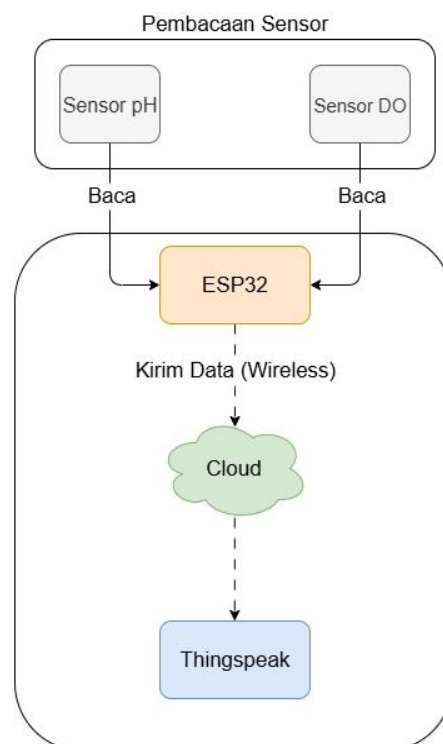
Gambar 2.5 Mikrokontroler ESP 32

Mikrokontroler ESP32 digunakan untuk mengukur nilai pH dan kadar oksigen terlarut (DO) dalam air dengan bantuan sensor pH dan DO. Data yang diperoleh akan digunakan untuk menentukan kualitas air menggunakan metode *fuzzy logic*, yang mengklasifikasikan kualitas air berdasarkan nilai pH dan DO. Hasil klasifikasi ini kemudian dikirimkan ke *cloud database* melalui MQTT broker untuk disimpan dan diakses secara *real-time*. Selain itu, informasi yang terakumulasi, termasuk status kualitas air dan notifikasi jika kualitas air sangat buruk, dapat diakses melalui aplikasi web yang terhubung dengan sistem, memungkinkan pemantauan kualitas air secara efektif dan cepat.

2.2.6 Internet of Things (IoT)

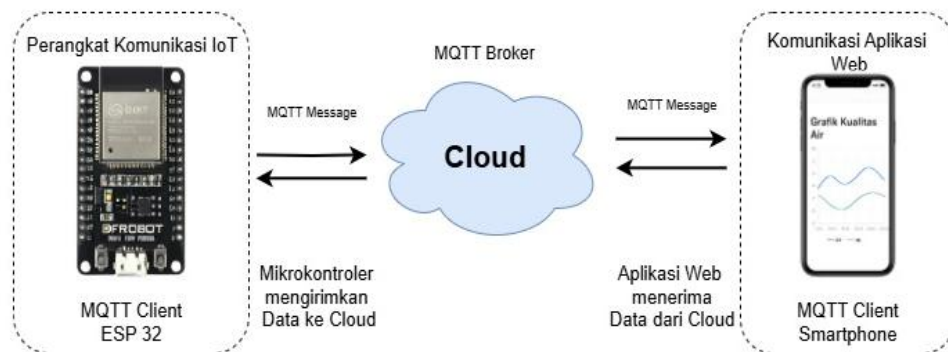
Internet of Things (IoT) merupakan suatu konsep dimana objek tertentu mempunyai kemampuan untuk mentransfer data lewat jaringan Internet tanpa memerlukan adanya interaksi dari manusia ke manusia ataupun dari manusia ke perangkat komputer [19]. Oleh karena itu, IoT sebagai salah satu teknologi terbaru yang dapat menjadi solusi untuk memantau dan me-monitoring suatu kondisi secara *real-time*.

Sistem monitoring kualitas air ini dirancang dengan menggunakan ESP32 sebagai unit pengontrol utama yang terhubung dengan dua sensor, yaitu sensor pH dan sensor DO. Pada lapisan fisik, kedua sensor ini digunakan untuk mengukur kadar pH dan oksigen terlarut dalam air. ESP32 secara berkala membaca data dari kedua sensor tersebut dan mengirimkannya secara *wireless* ke *cloud* melalui koneksi internet. Data yang telah dikirimkan kemudian disimpan di *cloud* dan dapat diakses melalui platform Thingspeak untuk pemantauan dan analisis lebih lanjut. Dengan cara ini, sistem memungkinkan pemantauan kualitas air secara *real-time* melalui antarmuka web yang terintegrasi.



Gambar 2.6 Mekanisme Komunikasi Sistem

Proses transmisi data ke lapisan *cloud* dilakukan dengan menggunakan protokol MQTT seperti yang terlihat pada Gambar 2.6 Mikrokontroler ESP32 bertindak sebagai perangkat IoT yang mengirimkan data sensor secara *real-time* melalui pesan *cloud*. Data yang dikirim mencakup parameter kualitas air yang terukur, seperti pH dan kadar oksigen terlarut. Setelah data diterima oleh *cloud*, aplikasi web yang berfungsi sebagai klien kemudian mengakses dan menampilkan data yang telah disimpan. Dengan cara ini, aplikasi web dan aplikasi *smartphone* dapat memperoleh informasi mengenai kualitas air secara langsung melalui grafik dan tampilan yang diperbarui secara berkala.



Gambar 2.7 Protokol Komunikasi Sistem

Sistem ini menggunakan protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) untuk mentransmisikan data dari perangkat ESP32 ke *cloud*. Setiap ESP32 pada lokasi yang berbeda bertindak sebagai MQTT *client* yang membaca data dari sensor pH dan DO, kemudian mengirimkan informasi kualitas air melalui pesan MQTT ke *broker cloud*. *Broker* MQTT di *cloud* menerima dan menyimpan data yang diterima dari berbagai perangkat secara paralel. Setelah itu, broker mengirimkan konfirmasi untuk menunjukkan bahwa data telah berhasil diterima.

Aplikasi web yang terhubung ke *broker cloud* menggunakan MQTT untuk menerima data terbaru secara *real-time*, sehingga dapat menampilkan status kualitas air dengan akurat. Dengan pendekatan ini, MQTT memungkinkan komunikasi yang efisien dan cepat antar perangkat IoT, memastikan pengiriman data berlangsung tanpa hambatan dan informasi kualitas air diperbarui secara langsung.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Kendali, Laboratorium Terpadu Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, dan pengimplementasian alat berada dipertambahan Bumi Dipasena Kecamatan Rawajitu Timur Kabupaten Tulang Bawang, Lampung. Dimulai pada bulan Desember 2024 sampai dengan bulan Juni 2025.

3.2 Alat dan Bahan

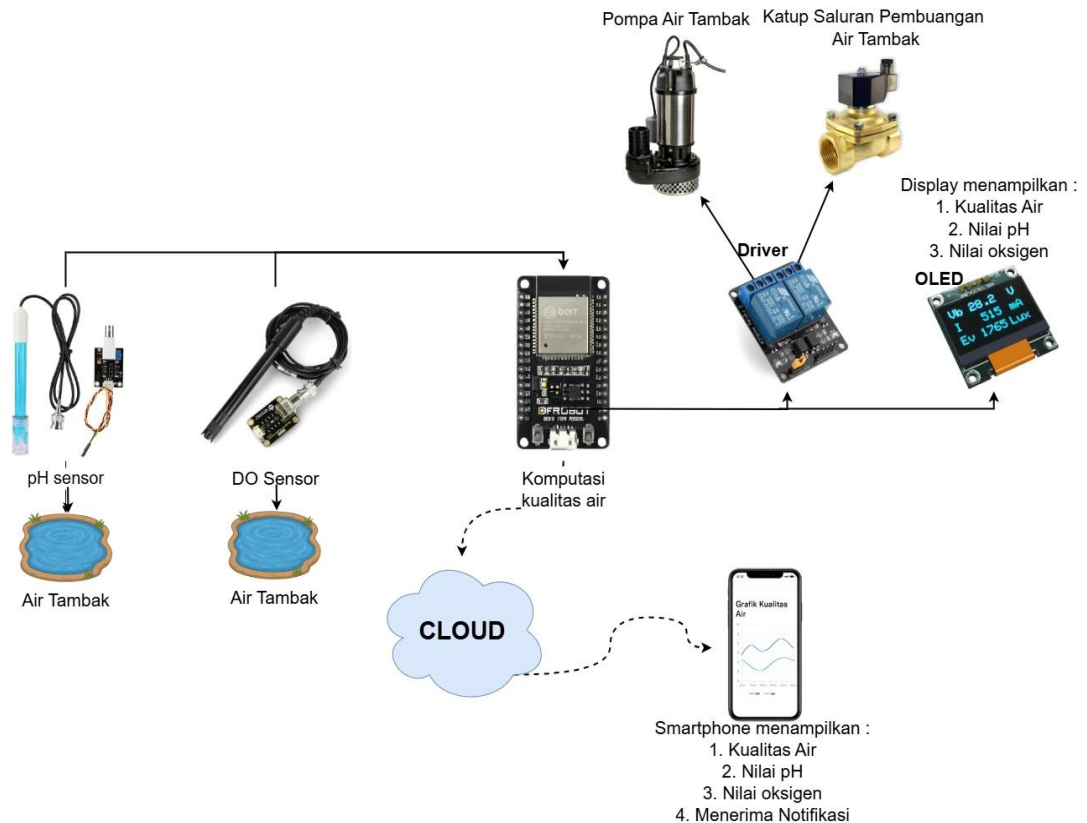
Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Alat dan Bahan

No	Nama Komponen dan Perangkat Lunak	Keterangan Penggunaan
1.	ESP32	Sebagai mikrokontroler dan pengiriman data.
2.	Sensor pH SEN0161	Sebagai pendeteksi tingkat ph air.
3.	Sensor Kadar Oksigen SEN0237	Sebagai sensor kadar oksigen air.
4.	Kabel Penghubung	Sebagai penghubung antar komponen.
5.	Baterai 18650	Sebagai sumber daya perangkat.
6.	Box <i>Waterproof</i>	Sebagai tempat penyimpanan perangkat dan sensor.
7.	Pelampung <i>Styrofoam</i>	Sebagai media tempat pengapung perangkat di atas permukaan air.
8.	Arduino IDE	Perangkat lunak ini digunakan untuk merancang program yang dijalankan pada mikrokontroler.
9.	<i>Thingspeak</i>	Platform ini digunakan untuk memantau modul seperti ESP32 yang terhubung ke internet dari jarak jauh.
10.	Laptop Asus	Sebagai perangkat keras untuk perancangan sistem dan program sistem.
11.	<i>Smartphone</i> Vivo	Sebagai perangkat keras untuk menampilkan visualisasi dari hasil sistem.

3.3 Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan konsep sistem yang dibangun dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1 Konsep Perancangan Sistem Monitoring

Berdasarkan Gambar 3.1, sistem pemantauan kualitas air pada tambak udang vaname berbasis IoT dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Sistem ini menggunakan sensor pH dan DO untuk mengukur kadar oksigen terlarut dan tingkat keasaman (pH) air pada tambak.
2. Data yang diperoleh dari sensor pH dan DO diproses oleh mikrokontroler ESP32 yang terhubung ke *cloud* untuk memantau kualitas air secara *real-time*.
3. Mikrokontroler ESP32 menggunakan metode logika *fuzzy* untuk mengklasifikasikan kualitas air berdasarkan data yang diterima dari sensor, dengan tiga kategori kualitas air: Sangat Buruk, Buruk, dan Baik.
4. Jika kualitas air terdeteksi dalam kondisi buruk, *relay* akan mengaktifkan pompa dan katup saluran pembuangan air untuk menjaga keseimbangan kondisi air.

5. Data yang telah diproses dan diklasifikasikan akan ditampilkan pada layar OLED dan aplikasi *smartphone*, serta dikirimkan ke platform *cloud* dan Telegram untuk memberikan notifikasi kepada petambak jika kualitas air berada pada nilai yang sangat buruk dan buruk.
6. Sistem ini memungkinkan pemantauan yang efisien dan otomatis, serta memberikan peringatan dini untuk mencegah kerugian akibat perubahan kualitas air yang tidak terdeteksi secara tepat waktu.

3.4 Skenario Perancangan Sistem

Skenario perancangan sistem adalah sebagai berikut:

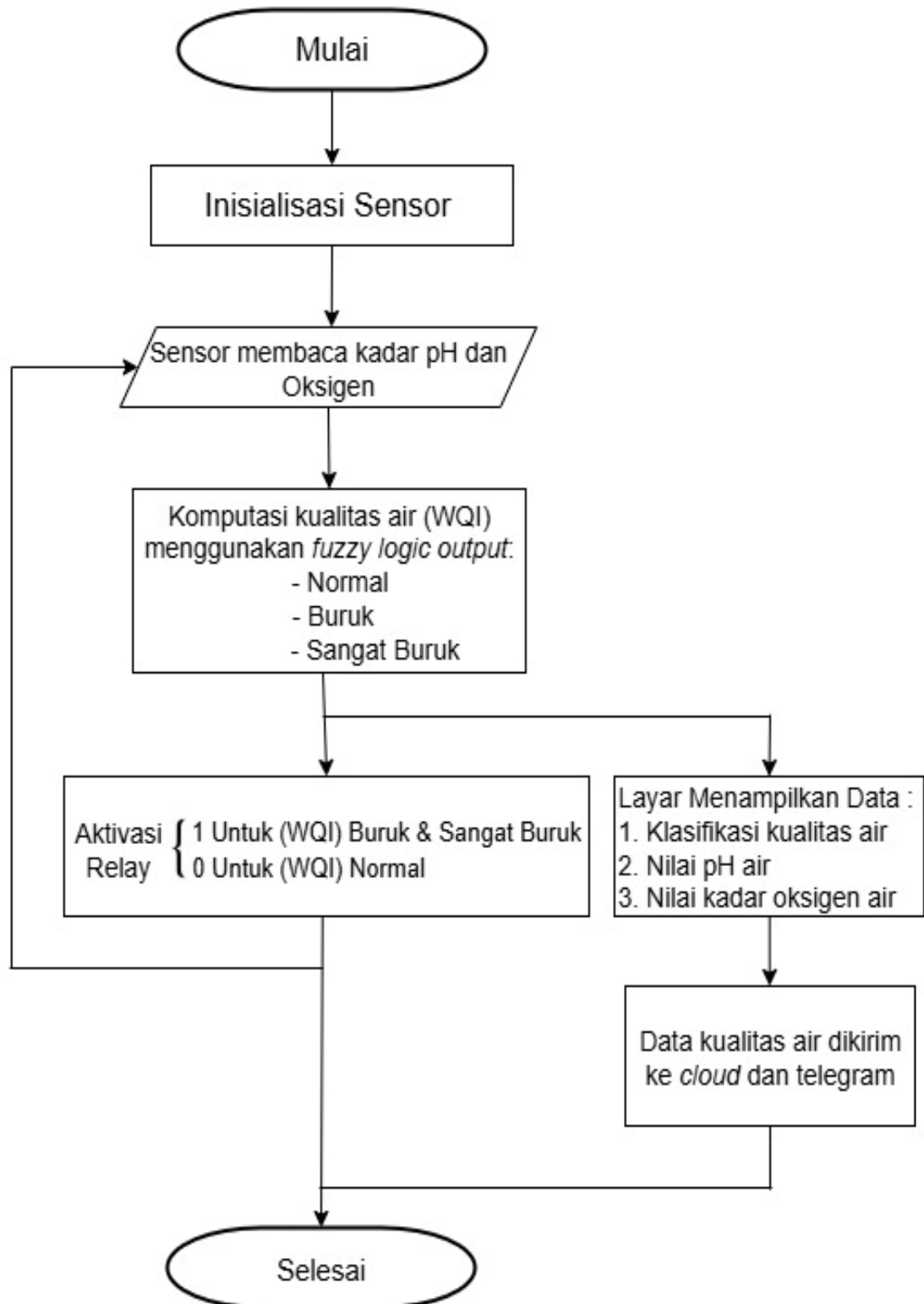
Skenario sistem dimulai dengan pengukuran pH (*Potential of Hydrogen*) dan DO (*Dissolved Oxygen*) menggunakan sensor yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Jika nilai pH air berada di rentang 7.4 - 8.6, maka kondisinya dianggap baik; jika tidak, maka bernilai buruk. Begitu juga dengan nilai DO, jika berada dalam rentang 3.4 - 10 mg/L, dianggap baik; jika kurang dari itu, maka bernilai buruk. Jika kedua nilai pH dan DO buruk, hasilnya sangat buruk, jika salah satu buruk, hasilnya buruk, dan jika keduanya baik, maka hasilnya baik.

Setelah itu, sistem melakukan komputasi menggunakan logika *fuzzy* untuk mengklasifikasikan kualitas air sebagai Sangat Buruk, Buruk, dan Baik. Jika kualitas air buruk atau sangat buruk, maka *relay* akan mengaktifkan pompa dan katup saluran pembuangan air tambak sampai nilai kualitas air tambak menjadi baik. Sebaliknya, jika kualitas air baik, maka *relay* yang terhubung ke pompa dan katup saluran pembuangan akan dimatikan.

Hasil klasifikasi dan status kontrol *relay* kemudian dikirimkan ke *cloud* dan diperbarui secara *real-time*. Petambak dapat mengakses data kualitas air melalui aplikasi di *smartphone* maupun *desktop*, dan akan memberikan notifikasi melalui telegram jika kualitas air buruk atau sangat buruk, serta menampilkan nilai pH dan kadar oksigen pada notifikasi tersebut.

3.4 Perancangan Sistem

Adapun tahapan-tahapan dari sistem pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.2 Diagram Alir Logika *Fuzzy*

Pada penelitian ini menerapkan sistem pengendalian berbasis kontrol logika *fuzzy* yang memanfaatkan dua jenis sensor sebagai masukannya. Sensor-sensor tersebut terdiri dari sensor suhu pH (*Potential of Hydrogen*) SEN0161, dan Kadar Oksigen (*Dissolved Oxygen*) SEN0237, yang masing-masing berfungsi untuk melakukan pengukuran parameter tingkat keasaman (pH), dan kadar oksigen (DO) air dalam tambak udang vaname.

Dalam sistem pemantauan kualitas air tambak udang vaname berbasis IoT, tahap pertama dilakukan dengan inisialisasi sensor-sensor yang terpasang proses dimulai dengan melakukan konfigurasi awal pada semua sensor yang terhubung ke sistem. Inisialisasi ini mencakup pengaturan pin *input/output* pada mikrokontroler ESP32 yang akan digunakan untuk komunikasi dengan masing-masing sensor, serta konfigurasi parameter-parameter dasar seperti komunikasi serial dan kalibrasi nilai pembacaan sensor.

Tahap selanjutnya dilakukan dengan membaca parameter dengan menggunakan dua sensor. Sistem ini memanfaatkan sensor pH (*Potential of Hydrogen*) untuk mendeteksi tingkat keasaman dengan skala 0-14, dan sensor kadar oksigen (*Dissolved Oxygen*) untuk memantau tingkat kandungan oksigen pada air dalam rentang 0-20 mg/L. Kondisi yang optimal untuk budidaya udang vaname yaitu dengan pH (*Potential of Hydrogen*) berkisar antara 7,5-8,5, serta tingkat kandungan kadar oksigen (*Dissolved Oxygen*) yang berada pada rentang 3-5 mg/L. Seluruh data yang terkumpul dari sensor-sensor tersebut kemudian diteruskan ke mikrokontroler ESP32, yang selanjutnya mengolah informasi tersebut menggunakan metode *fuzzy logic* untuk menentukan nilai parameter tindakan yang tepat dalam menentukan kondisi kualitas air tambak.

Tahapan selanjutnya yaitu komputasi untuk klasifikasi indeks kualitas air atau *water quality index* (WQI) dengan menggunakan aturan *fuzzy*, langkah pertama adalah fuzzyfikasi, pada tahap proses fuzzyfikasi, dilakukan pembagian data dari sensor-sensor menjadi beberapa kelompok keanggotaan *fuzzy*. Sensor pH (*Potential of Hydrogen*) diklasifikasikan ke dalam tiga kategori keanggotaan, yaitu "Asam", "Sedang", dan "Basa". Sementara itu, untuk sensor kadar oksigen

(*Dissolved Oxygen*) hanya dibagi menjadi dua kelompok keanggotaan *fuzzy*, yakni "Rendah", "Sedang" dan "Tinggi".

Langkah kedua yaitu Evaluasi aturan *fuzzy* yang merupakan sebuah proses penting bertujuan untuk mentransformasikan nilai-nilai *input* menjadi *output fuzzy* dengan mengacu pada aturan-aturan yang telah ditetapkan sebelumnya. Dalam tahapan ini, sistem melakukan analisis menyeluruh terhadap hubungan antara *input* dan *output* pada setiap aturan yang ada, sambil memperhatikan bagaimana sistem memberikan respon ketika terjadi perubahan dalam kondisi lingkungan. Proses evaluasi ini mempertimbangkan berbagai aspek keterkaitan antara variabel *input* dan *output*, sehingga dapat menghasilkan keputusan yang sesuai dengan logika *fuzzy* yang telah dirancang.

Pada aturan *fuzzy* ini diterapkan sebuah *rule base* yaitu: Jika "pH Asam" dan kadar oksigen "Rendah" maka kualitas air "Sangat Buruk". Jika "pH Asam" dan kadar oksigen "Sedang" maka kualitas air "Buruk". Jika "pH Asam" dan kadar oksigen "Tinggi" maka kualitas air "Buruk". Jika "pH Normal" dan kadar oksigen "Rendah" maka kualitas air "Buruk". Jika "pH Normal" dan kadar oksigen "Sedang" maka kualitas air "Baik". Jika "pH Normal" dan kadar oksigen "Tinggi" maka kualitas air "Baik". Jika "pH Basa" dan kadar oksigen "Rendah" maka kualitas air "Sangat Buruk". Jika "pH Basa" dan kadar oksigen "Sedang" maka kualitas air "Buruk". Jika "pH Basa" dan kadar oksigen "Tinggi" maka kualitas air "Buruk".

Langkah ketiga adalah defuzzifikasi, tahapan ini berfungsi untuk mengkonversi *output fuzzy* ke dalam bentuk nilai yang tegas atau (*crisp*). Nilai tegas yang dihasilkan ini kemudian digunakan untuk menghasilkan notifikasi pada perangkat *mobile*.

Langkah keempat adalah *output fuzzy*, tahapan ini merupakan hasil akhir dari tahapan *fuzzy logic* berfungsi untuk memberikan sebuah notifikasi dari nilai parameter pengukuran sensor yang berada pada rentang nilai yang buruk.

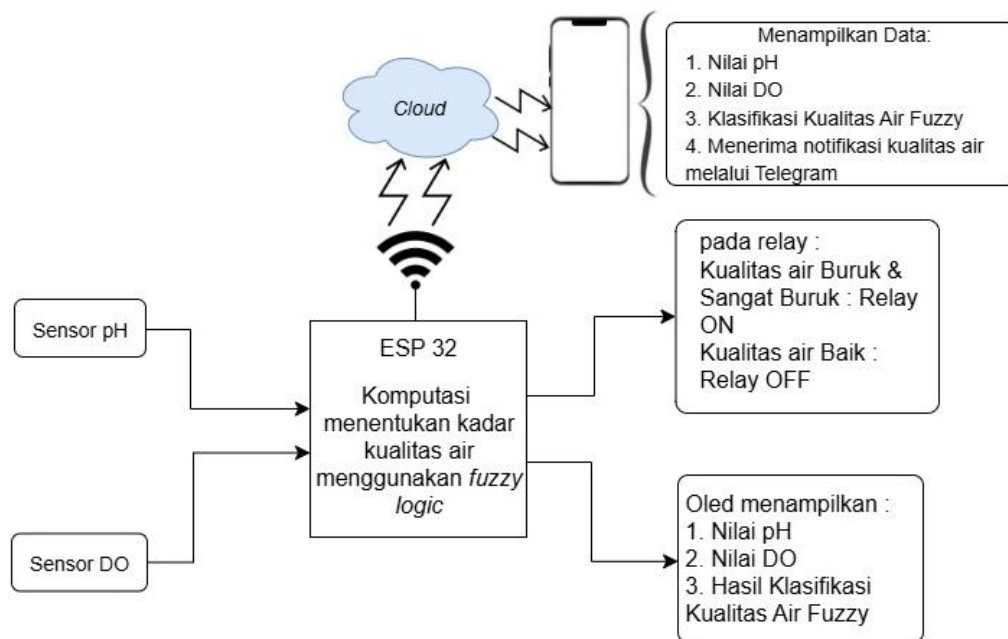
Tahap selanjutnya adalah aktivasi *relay*, jika indeks kualitas air atau *water quality index* (WQI) berada pada kualitas yang buruk dan sangat buruk maka

relay akan ON, jika indeks kualitas air (WQI) berada pada kualitas yang baik maka *relay* akan off. *Relay* disini berfungsi sebagai *driver* untuk menghidupkan pompa dan saluran pembuangan air tambak.

Tahap selanjutnya berada pada tahap yang terakhir yaitu ESP mengirimkan data hasil pengukuran dua parameter sensor pH (*Potential of Hydrogen*) dan kadar oksigen air (*Dissolved Oxygen*) yang mana data tersebut akan ditampilkan pada layar yang berada pada perangkat dan juga ditampilkan pada *cloud* dan *telegram* sehingga dapat diakses dengan perangkat *smartphone* serta memberikan notifikasi dan menghidupkan *relay* jika nilai parameter pengukuran berada pada rentang yang buruk dan sangat buruk.

3.5 Diagram Blok Sistem

Adapun tahapan-tahapan pada diagram blok sistem yang dapat dilihat pada Gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem

Gambar 3.3 di atas memberikan gambaran mengenai penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam sistem pemantauan kualitas air pada tambak udang vaname. Diagram tersebut menyajikan skema hubungan antara berbagai perangkat dan sensor yang terkait dalam penelitian ini. Setiap komponen dalam sistem memiliki peran penting dalam memastikan nilai kualitas air yang

dijelaskan berdasarkan tiga tahap utama: *input*, proses, dan *output*. Berikut merupakan penjelasan dari bagian *input*, proses, dan *output*.

Pada bagian *input* sistem, terdapat dua jenis sensor yang berfungsi untuk mendeteksi berbagai parameter dalam tambak udang vaname. Pertama, sensor pH (*Potential of Hydrogen*) yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman air. Data yang dihasilkan sensor ini membantu memantau kondisi kualitas air agar tetap ideal bagi kehidupan udang vaname di tambak. Selanjutnya, terdapat sensor kadar oksigen (*Dissolved Oxygen*) yang berfungsi untuk mengukur tingkat kandungan oksigen air, sehingga perubahan kualitas air dapat terdeteksi dengan cepat. Semua sensor tersebut terhubung ke sistem mikrokontroler yang mendapat suplai tegangan dari baterai untuk memastikan operasional perangkat berjalan dengan stabil.

Pada tahap proses, semua data yang diperoleh dari sensor akan diproses secara sistematis oleh mikrokontroler ESP32. Dalam tahap ini, data yang telah dibaca oleh sensor pH (*Potential of Hydrogen*) dan kadar oksigen (*Dissolved Oxygen*) akan diolah dengan menggunakan logika *fuzzy* dan dianalisis untuk menghasilkan *output* berupa komputasi menentukan kadar kualitas air. Selain itu, ESP memiliki peran penting dalam mengatur komponen eksternal, seperti layar dan *relay*.

Pada bagian *output* sistem, terdapat perangkat layar yang berfungsi untuk menampilkan nilai parameter lingkungan sesuai dengan kondisi air tambak udang vaname. Parameter yang ditampilkan yaitu nilai pengukuran pH (*Potential of Hydrogen*) dan kadar oksigen (*Dissolved Oxygen*), dan klasifikasi kualitas air tambak dengan *fuzzy logic*. Semua data yang diperoleh dari sensor-sensor dalam sistem ini tidak hanya ditampilkan pada layar tetapi dikirimkan juga oleh modul ESP ke *cloud* melalui jaringan internet yang telah terhubung, dan akan mengirimkan notifikasi ke perangkat *smartphone* jika hasil nilai parameter klasifikasi kualitas air berada pada rentang yang buruk. Kemudian terdapat juga *relay* yang berfungsi sebagai saklar untuk menghidupkan dan mematikan pompa maupun saluran pembuangan jika nilai klasifikasi pada air tambak berada dalam kondisi yang sangat buruk.

3.6 Metode *Fuzzy Logic*

Hasil dari perancangan kendali fuzzy didapatkan berdasarkan tahapan-tahapan melalui proses survei lapangan, dan selanjutnya akan diproses oleh mikrokontroler ESP32.

3.6.1 Fungsi Keanggotaan *Input* dan *Output*

Dalam sistem ini memiliki dua variabel *input*, pH dan DO. Fungsi keanggotaan yang digunakan dalam sistem ini telah dirangkum pada Tabel 3.1.

Tabel 3.2 Fungsi Keanggotaan *Input* dan *Output*

Fungsi	Variabel	Fungsi Keanggotaan	Himpunan <i>fuzzy</i>	Domain
<i>Input</i>	pH	Trapezium	pH Asam	[0 0 7 8]
		Segitiga	pH Normal	[7 8 9]
		Trapezium	pH Basa	[8 9 14 14]
	DO	Trapezium	DO Rendah	[0 0 3 4]
		Trapezium	DO Sedang	[3 4 5 7]
		Trapezium	DO Tinggi	[5 7 10 10]
<i>Output</i>	Kualitas Air	Trapezium	Sangat Buruk	[0 0 0.2 0.3]
		Trapezium	Buruk	[0.2 0.3 0.5 0.6]
		Trapezium	Baik	[0.2 0.6 1 1]

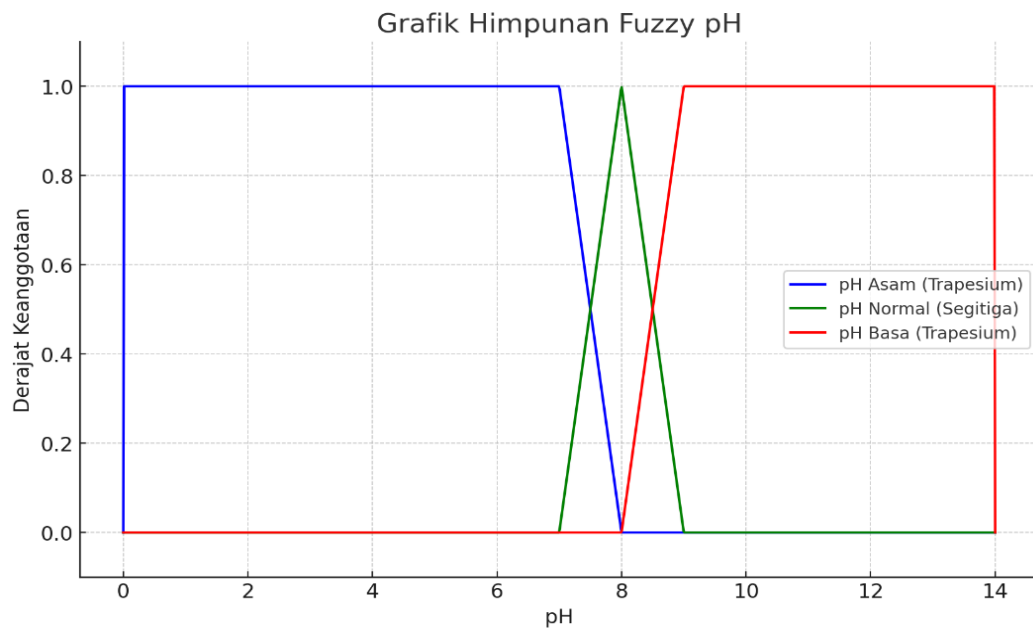
Berdasarkan Tabel 3.1, sistem *fuzzy* dalam analisis kualitas air ini menggunakan dua jenis fungsi keanggotaan, yaitu trapesium dan segitiga, untuk mengklasifikasikan nilai-nilai pH dan DO (*Dissolved Oxygen*) ke dalam kategori yang telah ditentukan.

Pada variabel pH, ada tiga kategori: pH Asam (nilai pH antara 0 hingga 8), pH Normal (nilai pH antara 7 hingga 9), dan pH Basa (nilai pH antara 8 hingga 14). Untuk variabel DO, terdapat tiga kategori: DO Rendah (nilai antara 0 hingga 4), DO Sedang (nilai antara 3 hingga 7), dan DO Tinggi (nilai antara 5 hingga 10).

Pada variabel Kualitas Air, terdapat tiga kategori: Sangat Buruk (nilai antara 0 hingga 0.3), Buruk (nilai antara 0.2 hingga 0.6), dan Baik (nilai antara 0.2 hingga 1). Fungsi keanggotaan ini memberikan dasar untuk menentukan seberapa besar suatu nilai (baik pH atau DO) sesuai dengan kategori kualitas air tertentu. Dengan begitu, sistem ini bisa memberikan penilaian yang lebih fleksibel dan sesuai dengan kondisi lingkungan.

3.6.2 Grafik Keanggotaan

1. Variabel pH



Gambar 3.4 Grafik Variabel pH

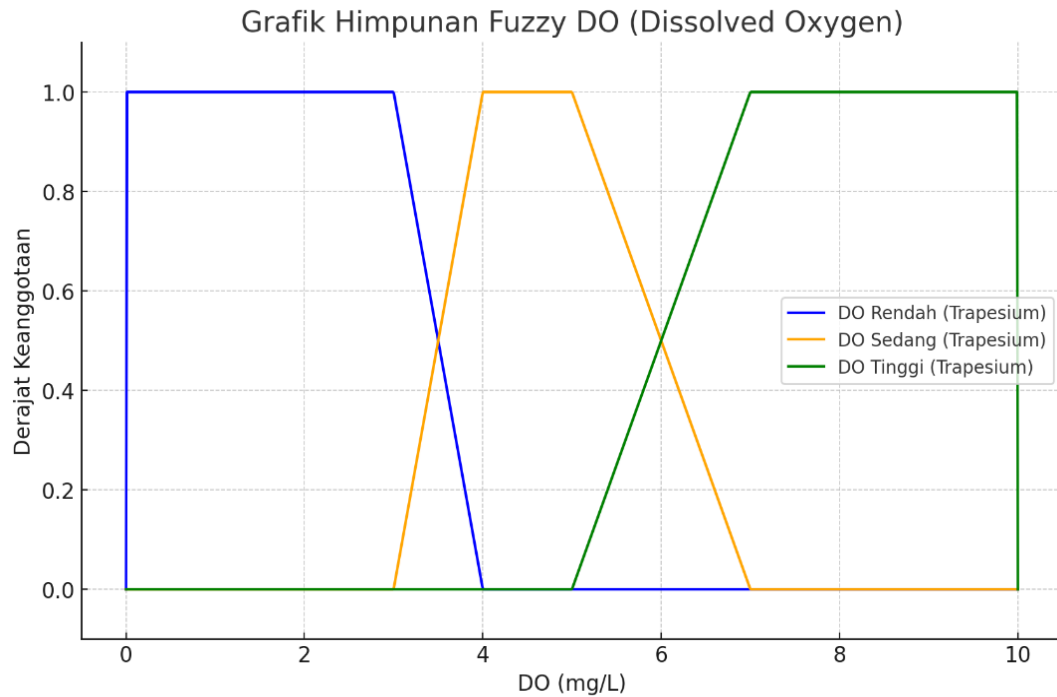
Grafik 3.4 di atas menggambarkan fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk variabel *input* pH yang terbagi ke dalam tiga himpunan *fuzzy*, yaitu pH Asam, pH Normal, dan pH Basa. Himpunan pH Asam menggunakan trapesium dengan domain $[0, 0, 7, 8]$. Sementara itu, pH Normal direpresentasikan dengan fungsi segitiga pada domain $[7, 8, 9]$. Adapun pH Basa dibentuk oleh fungsi trapesium dengan domain $[8, 9, 14, 14]$. Adapun derajat keanggotaan pada variabel pH dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\mu_{\text{Asam}}(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \text{ atau } x > 8 \\ 1, & 0 \leq x \leq 7 \\ \frac{8-x}{8-7}, & 7 < x < 8 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Normal}}(x) = \begin{cases} 0, & x < 7 \text{ atau } x > 9 \\ \frac{x-7}{8-7}, & 7 \leq x \leq 8 \\ \frac{9-x}{9-8}, & 8 < x \leq 9 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Basa}}(x) = \begin{cases} 0, & x < 8 \text{ atau } x > 14 \\ \frac{x-8}{9-8}, & 8 \leq x \leq 9 \\ 1, & 9 < x < 14 \end{cases}$$

2. Variabel DO



Gambar 3.5 Grafik Variabel DO

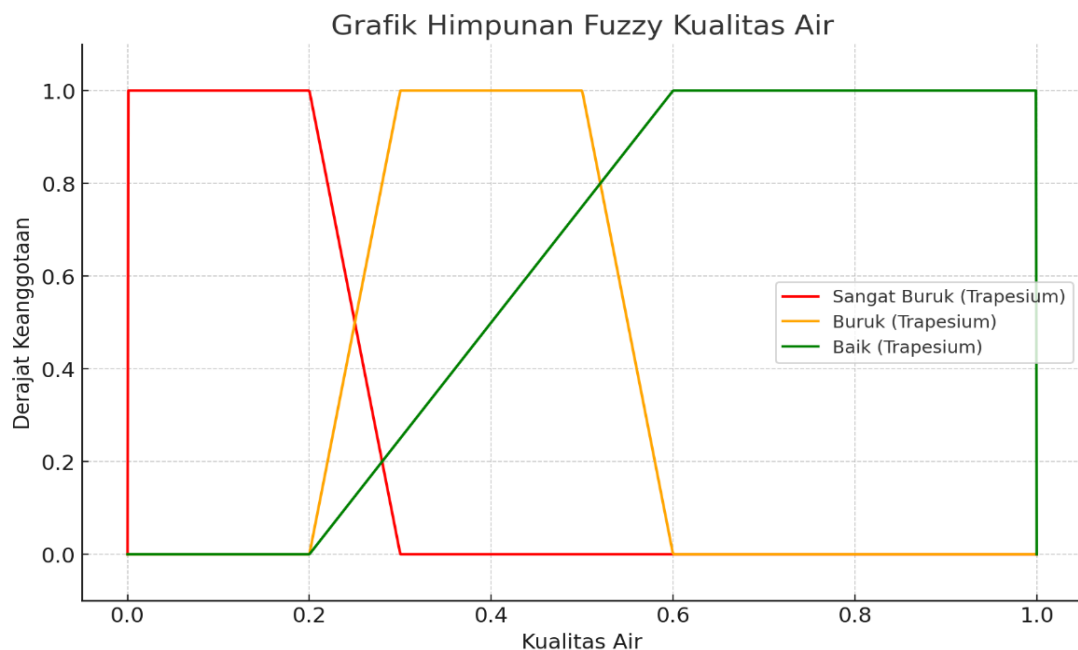
Berdasarkan grafik 3.5 di atas menggambarkan fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk variabel DO (Dissolved Oxygen) yang terdiri dari tiga himpunan *fuzzy*, yaitu DO Rendah, DO Sedang, dan DO Tinggi. Ketiga himpunan ini menggunakan fungsi keanggotaan berbentuk trapesium. Himpunan DO Rendah memiliki domain [0, 0, 3, 4]. DO Sedang memiliki domain [3, 4, 5, 7]. Adapun DO Tinggi memiliki domain [5, 7, 10, 10]. Adapun derajat keanggotaan pada variabel pH dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\mu_{\text{Rendah}}(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \text{ atau } x \geq 4 \\ 1, & 0 \leq x \leq 3 \\ \frac{4-x}{4-3}, & 3 < x < 4 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Sedang}}(x) = \begin{cases} 0, & x < 3 \text{ atau } x \geq 7 \\ \frac{x-3}{4-3}, & 3 \leq x \leq 4 \\ 1, & 4 < x < 5 \\ \frac{7-x}{7-5}, & 5 \leq x \leq 7 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Tinggi}}(x) = \begin{cases} 0, & x < 5 \text{ atau } x \geq 10 \\ \frac{x-5}{7-5}, & 5 \leq x \leq 7 \\ 1, & 7 < x < 10 \end{cases}$$

3. Variabel Kualitas Air



Gambar 3.6 Grafik Variabel Kualitas Air

Berdasarkan grafik 3.6 di atas menampilkan fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk variabel *output* Kualitas Air, yang terdiri dari tiga himpunan *fuzzy*, yaitu Sangat Buruk, Buruk, dan Baik. Seluruh himpunan menggunakan fungsi keanggotaan berbentuk trapesium. Himpunan Sangat Buruk memiliki domain $[0, 0, 0.2, 0.3]$. Himpunan Buruk menggunakan trapesium dengan domain $[0.2, 0.3, 0.5, 0.6]$. Sementara itu, Baik direpresentasikan oleh trapesium dengan domain $[0.2, 0.6, 1, 1]$. Adapun derajat keanggotaan pada variabel pH dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\mu_{\text{SangatBuruk}}(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \text{ atau } x \geq 0.3 \\ 1, & 0 \leq x \leq 0.2 \\ \frac{0.3 - x}{0.3 - 0.2}, & 0.2 < x < 0.3 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Buruk}}(x) = \begin{cases} 0, & x < 0.2 \text{ atau } x \geq 0.6 \\ \frac{x - 0.2}{0.3 - 0.2}, & 0.2 \leq x \leq 0.3 \\ 1, & 0.3 < x < 0.5 \\ \frac{0.6 - x}{0.6 - 0.5}, & 0.5 \leq x \leq 0.6 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Baik}}(x) = \begin{cases} 0, & x < 0.2 \text{ atau } x \geq 1 \\ \frac{x - 0.2}{0.6 - 0.2}, & 0.2 \leq x \leq 0.6 \\ 1, & 0.6 < x < 1 \end{cases}$$

3.6.3 Aturan Logika Fuzzy

Setelah mendefinisikan fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk masing-masing variabel, langkah selanjutnya adalah menetapkan aturan logika *fuzzy* yang digunakan untuk menentukan *output* berdasarkan kombinasi nilai *input*. Aturan ini disusun dalam bentuk pernyataan logika IF-THEN yang merepresentasikan hubungan antara variabel *input* pH dan DO terhadap *output* Kualitas Air.

Tabel 3.3 Aturan Fuzzy

No.	pH	DO	Kualitas Air	Kondisi Relay
R1	Asam	Rendah	Sangat Buruk	Hidup
R2	Asam	Sedang	Buruk	Hidup
R3	Asam	Tinggi	Buruk	Hidup
R4	Normal	Rendah	Buruk	Hidup
R5	Normal	Sedang	Baik	Mati
R6	Normal	Tinggi	Baik	Mati
R7	Basa	Rendah	Sangat Buruk	Hidup
R8	Basa	Sedang	Buruk	Hidup
R9	Basa	Tinggi	Buruk	Hidup

Berdasarkan tabel aturan yang dibuat didapatkan penjelasan sebagai berikut :

- R1: IF pH is Asam AND DO is Rendah THEN Kualitas Air is Sangat Buruk
 R2: IF pH is Asam AND DO is Sedang THEN Kualitas Air is Buruk
 R3: IF pH is Asam AND DO is Tinggi THEN Kualitas Air is Buruk
 R4: IF pH is Normal AND DO is Rendah THEN Kualitas Air is Buruk
 R5: IF pH is Normal AND DO is Sedang THEN Kualitas Air is Baik
 R6: IF pH is Normal AND DO is Tinggi THEN Kualitas Air is Baik
 R7: IF pH is Basa AND DO is Rendah THEN Kualitas Air is Sangat Buruk
 R8: IF pH is Basa AND DO is Sedang THEN Kualitas Air is Buruk
 R9: IF pH is Basa AND DO is Tinggi THEN Kualitas Air is Buruk

3.7 Metode Pengujian

Adapun metode pengujian pada penelitian ini sebagai berikut, pada metode pengujian sistem terdapat susunan langkah-langkah yang diperlukan. Hal ini bertujuan untuk menguji komponen maupun sistem apakah dapat bekerja dengan normal:

3.7.1 Pengujian Sub Sistem

Pengujian Sub Sistem dilakukan pada komponen yang menyusun sistem monitoring kadar oksigen dan pH air tambak yaitu :

1. Sensor oksigen yang dipakai adalah DFRobot SEN0237, menggunakan probe galvanik, bekerja pada tegangan 3.3–5V, dapat mengukur 0–20 mg/L, dan memiliki 3 pin: VCC, GND, dan *output* analog.
2. Sensor pH yang dipakai adalah DFRobot SEN0161, bekerja pada tegangan 3.3–5V DC, bisa mengukur pH 0–14, dan memiliki 3 pin: VCC, GND, dan analog out.
3. Mikrokontroler yang digunakan pada penelitian ini adalah ESP32 dengan spesifikasi tegangan kerja berada pada 3.3-5V DC, dan jumlah pin GPIO 30 pin.
4. Penampil layar hasil pengukuran parameter sensor yang digunakan adalah OLED I2C dengan spesifikasi tegangan kerja berada pada 3.3-5V DC, dan memiliki 4 pin yaitu VCC, GND, SDA, serta SCL.

5. *Relay* yang digunakan adalah *relay dual channel* dengan spesifikasi tegangan kerja berada pada 3.3-5V DC, kapasitas arus 10A, dan jumlah pin *input* 4 buah yaitu VCC, GND, IN1, serta IN2.

3.7.2 Pengujian Sistem Perancangan

Pada pengujian sistem hasil perancangan alat di ujicobakan dengan menginstal semua komponen perangkat menjadi satu kesatuan yang dirancang untuk memperoleh hasil.

Pengambilan data pengujian *fuzzy logic* Mamdani bertujuan untuk membandingkan hasil perhitungan yang dilakukan oleh perangkat dengan perhitungan manual menggunakan metode *fuzzy* Mamdani. Tujuan utamanya adalah untuk mengevaluasi kesesuaian hasil perangkat dengan perhitungan manual, guna memastikan akurasi dan keandalan sistem dalam menerapkan logika *fuzzy*.

Pengujian sensor pH dan oksigen dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dari alat konvensional dan alat yang dirancang khusus. Tujuannya untuk menilai akurasi dan kinerja sensor yang dirancang dalam mendeteksi kadar pH dan oksigen, serta memastikan kesesuaian hasil pengukuran dengan alat standar yang umum digunakan. Untuk mengevaluasi kesalahan atau deviasi antara kedua alat tersebut, digunakan rumus persentase *error* :

$$\text{Persentase Error} = \left(\frac{vA - vE}{vE} \right) \times 100\% \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana:

vA = Nilai sebenarnya yang diamati

vE = Nilai yang diharapkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, serta pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring dan kendali kualitas air tambak udang vaname di Bumi Dipasena telah berhasil dirancang dan dibangun menggunakan metode *fuzzy logic* berbasis IoT. Sistem ini memanfaatkan sensor pH dan DO untuk memantau kadar oksigen terlarut dan pH air secara *real-time*. Data dari sensor diproses melalui logika *fuzzy* untuk menilai kualitas air dan memberikan notifikasi kepada pengguna jika kualitas air tidak aman. Dengan akurasi 100%, sistem ini terbukti efektif dalam memantau kualitas air, serta meningkatkan efisiensi pengelolaan tambak udang dengan memberikan informasi tepat waktu kepada petambak.
2. Nilai persentase selisih rata-rata sensor DO di tambak adalah 4,37%, sedangkan nilai persentase selisih rata-rata sensor DO alat di kolam adalah 2,41%. Untuk sensor pH di tambak nilai persentase selisih rata-ratanya mencapai 1,3%. Sedangkan pengujian di kolam nilai persentase selisih rata-rata sensor pH sebesar 1,26%. Hal ini menunjukkan bahwa alat yang dirancang memiliki nilai toleransi selisih hasil ukur di bawah 5%, yang berarti alat tersebut dapat berfungsi dengan baik dan layak digunakan.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penambahan parameter sensor, seperti suhu, TDS (*Total Dissolved Solid*), dan salinitas, untuk memperkaya analisis kualitas air tambak secara lebih menyeluruh.

2. Implementasi energi terbarukan, seperti panel surya, sebagai sumber daya alat perancangan supaya alat dapat bekerja secara terus-menerus tanpa tergantung pada baterai.
3. Penambahan alat pembanding dengan akurasi yang tinggi memungkinkan evaluasi terhadap sejauh mana alat yang dirancang memiliki akurasi yang mendekati alat pembanding tersebut, sehingga dapat diketahui apakah alat yang dirancang memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi atau lebih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. S. Hermiyanty, Wandira Ayu Bertin, "Sistem Monitoring Kualitas Air dan Suhu pada Kolam Ikan Berbasis IoT," *Journal. Chem. Inf. Model.*, vol. 8, no. 9, pp. 1–58, 2017.
- [2] G. A. Pauzi, O. F. Suryadi, G. N. Susanto, and J. Junaidi, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Tambak Udang (*Litopenaeus Vannamei*) Menggunakan Wireless Sensor Sistem (WSS) yang Terintegrasi dengan PLC CPM1A," *Journal. Energy, Mater. Instrum. Technol.*, vol. 1, no. 3, pp. 103–112, 2020.
- [3] I. Nugroho and M. Koprari, "Perancangan Sistem Pemantauan Salinitas Air Untuk Budidaya Udang Menggunakan Tds Sensor Dan Google Studio," *Jurnal. Khatulistiwa Inform.*, vol. 12, no. 1, pp. 59–64, 2024.
- [4] R. S. Wahyuni, R. Rahmi, and H. Hamsah, "Efektifitas Oksigen Terlarut Terhadap Pertumbuhan Dan Sintasan Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*)," *Jurnal. Perikan. Unram*, vol. 12, no. 4, pp. 536–543, 2022.
- [5] Supriatna, M. Mahmudi, M. Musa, and Kusriani, "Model of pH and its relationship with water quality parameters in intensive vannamei shrimp (*Litopenaeus vannamei*) ponds in Banyuwangi, East Java," *Jurnal. Fish. Mar. Res.*, vol. 4, no. 3, pp. 368–374, 2020.
- [6] A. R. Hakimi, M. Rivai, and H. Pirngadi, "Sistem Kontrol dan Monitor Kadar Salinitas Air Tambak Berbasis IoT LoRa," *Jurnal. Tek. ITS*, vol. 10, no. 1, 2021.
- [7] M. F. Firmansyah and R. P. Astutik, "Prototipe Sistem Peringatan dan Kontrol Jaring Otomatis Dengan Metode Fuzzy Untuk Mitigasi Risiko Lepasnya Ikan Saat Banjir di Tambak Berbasis IoT," *Jurnal. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 6, no. 1, p. 37, 2024.
- [8] H. A. Yanti, D. A. Putri, and S. Z. Fajriyah, "Simulasi Sistem Monitoring Oksigen Terlarut (DO) Pada Budidaya Udang Vaname Berbasis Internet Of Things (IoT)," *Jurnal. Informatics Commun. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 57–67, 2023.
- [9] A. Susilo, Y. Cahyana, S. Arum, P. Lestari, and T. Rohana, "Implementasi Alat Ukur Suhu Dan PH Air Untuk Budidaya Lobster Dengan Algoritma Fuzzy Logic Berbasis IoT," *Jurnal. Tek. Inform. dan Sist. Inform. (JATISI)*, vol. 11, no. 4, pp. 1–10, 2024.

- [10] M. Lafont, S. Dupont, P. Cousin, A. Vallauri, and C. Dupont, “Back to the future: IoT to improve aquaculture: -time monitoring and algorithmic prediction of water parameters for aquaculture needs,” *Glob. IoT Summit, GIoTS 2019 - Proceeding.*, pp. 1–6, 2019.
- [11] P. L. Tobing and D. Widjaja, “ID : 22 Sistem Pemantauan dan Pengendalian Suhu dan Kadar Oksigen pada Model Tambak Udang Vaname dengan Teknologi IoT *Monitoring and Controlling System of Temperature and Oxygen Level in Vaname Shrimp Pond Model with IoT Technology*,” *Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 1, no. 1, pp. 120–127, 2024.
- [12] Alwansyah and A. Fahrurrozi, “Implementasi *Internet of Thing (Iot)* Sistem Monitoring Kualitas Air *Shrimp Farming* Vaname Pada Aplikasi Berbasis Android,” *Jurnal. Ilm. Teknol. dan Rekayasa*, vol. 29, no. 1, pp. 71–85, 2024.
- [13] Ansar, R. Karim, Salim, and E. Khudriah, “Implementasi *Fuzzy Inference System* Menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani* Untuk Optimalisasi Produksi Tahu,” *G-Tech Jurnal. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 1, pp. 276–285, 2023.
- [14] N. Byabarta, “*Linearization Techniques of Sensor: a Comparative Study*,” *Jurnal. Mech. Contin. Math. Sci.*, vol. 17, no. 9, pp. 7–13, 2022.
- [15] Wahyudi, Jumrianto, and A. Syakur, “Kalibrasi Sensor Tegangan dan Sensor Arus dengan Menerapkan Rumus Regresi Linear menggunakan Software Bascom AVR Info Articles,” *Jurnal. Syst. Inf. Technol. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–14, 2020.
- [16] D. Wicaksono, T. L. Bhakti, R. B. Taruno, M. R. S. Subroto, and A. Mustikasari, “*A galvanic-based dissolved oxygen level monitoring sensor system in freshwater ponds*,” *Jurnal. Teknol. dan Sist. Komput.*, vol. 9, no. 2, pp. 83–89, 2021.
- [17] E. Mufida, R. S. Anwar, R. A. Khodir, and I. P. Rosmawati, “Perancangan Alat Pengontrol pH Air untuk Tanaman Hidroponik Berbasis Arduino Uno,” *Jurnal. Inov.*, vol. 1, no. 1, pp. 13–19, 2020.
- [18] Nurus Sholeh, Koko Joni, and Miftachul Ulum, “Sistem Monitoring Kondisi Kendaraan Motor Injeksi Berbasis Mikrokontroler,” *Jurnal. JEETech*, vol. 1, no. 1, pp. 37–42, 2020.
- [19] A. R. Halim, M. Saiful, and L. Kertawijaya, “Rancang Bangun Alat Pengukur Suhu Tubuh Pintar berbasis *Internet Of Things*,” *Infotek Jurnal. Inform. dan Teknol.*, vol. 5, no. 1, pp. 117–127, 2022.