

**IMPLEMENTASI FUZZY SUGENO TIPE-0 PADA IOT *REAL-TIME*
UNTUK PENGENDALIAN KUALITAS AIR AKUARIUM IKAN HIAS**



**MUHAMMAD HAYKAL ISLAM BASKORO
NIM. 2210511149**

**PROGRAM STUDI S1 INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
JAKARTA
2026**

**IMPLEMENTASI FUZZY SUGENO TIPE-0 PADA IOT *REAL-TIME*
UNTUK PENGENDALIAN KUALITAS AIR AKUARIUM IKAN HIAS**

**MUHAMMAD HAYKAL ISLAM BASKORO
NIM. 2210511149**

**SKRIPSI
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Komputer**

**PROGRAM STUDI S1 INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
JAKARTA
2026**

LEMBAR PENGESAHAN**LEMBAR PENGESAHAN**

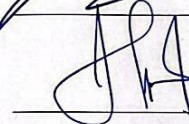
Judul : Implementasi Fuzzy Sugeno Tipe-0 pada IoT *Real-Time*
untuk Pengendalian Kualitas Air Akuarium Ikan Hias
Nama : Muhammad Haykal Islam Baskoro
NIM : 2210511149
Program Studi : S1 Informatika

Disetujui oleh:

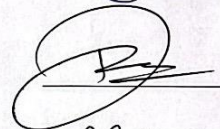
Penguji 1:
Dr. Indra Permana Solihin, S.Kom., M.Kom.



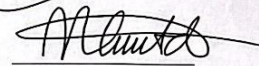
Penguji 2:
Novi Trisman Hadi, S.Pd., M.Kom.



Pembimbing 1:
Dr. Didit Widiyanto, S.Kom., M.Si.

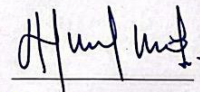


Pembimbing 2:
Nur Hafifah Matondang, S.Kom., M.M., M.T.I.



Diketahui oleh:

Koordinator Program Studi:
Dr. Ridwan Raafi'udin, S.Kom, M.Kom.
NIP. 198805022021211001



Dekan Fakultas Ilmu Komputer:
Prof. Dr. Ir. Supriyanto, M.Sc., IPM.
NIP. 197605082003121002



Tanggal Ujian Tugas Akhir:
13 Juli 2026

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “IMPLEMENTASI FUZZY SUGENO TIPE-0 PADA IOT REAL-TIME UNTUK PENGENDALIAN KUALITAS AIR AKUARIUM IKAN HIAS” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta.

Jakarta, Juli 2026



Muhammad Haykal Islam Baskoro

NIM.2210511149

IMPLEMENTASI FUZZY SUGENO TIPE-0 PADA IOT *REAL-TIME* UNTUK PENGENDALIAN KUALITAS AIR AKUARIUM IKAN HIAS

Muhammad Haykal Islam Baskoro

ABSTRAK

Pemeliharaan ikan hias membutuhkan pemantauan kualitas air secara kontinu karena perubahan suhu, pH, dan kekeruhan dapat memengaruhi kondisi akuarium. Penelitian ini mengimplementasikan purwarupa IoT real-time berbasis ESP32 dengan Logika Fuzzy Sugeno Tipe-0 untuk mengolah data sensor DS18B20, pH-4502C, dan SEN-0175 serta mengendalikan heater, kipas, pompa filter, pompa drain, dan pompa fill. Proses inferensi menggunakan tiga variabel input, 27 aturan, operator minimum, dan weighted average. Data dikirim melalui MQTT ke backend Node.js, diteruskan melalui WebSocket, disimpan pada Supabase, dan divisualisasikan melalui dashboard web. Hasil pengujian menunjukkan waktu inferensi Sugeno sebesar 9,391 μ s, lebih rendah daripada Tsukamoto sebesar 17,871 μ s dan Mamdani sebesar 1.462,504 μ s. Sensor suhu menghasilkan rata-rata galat absolut 0,275°C, sedangkan sensor kekeruhan menunjukkan penurunan tegangan dari 4,5912 V menjadi 4,1464 V dengan koefisien variasi di bawah 0,12%. Pada kondisi ekstrem, heater, cooler, dan filter mencapai keluaran 99–100%. Pengujian black-box terhadap tiga pengguna menghasilkan 63 dari 63 skenario berhasil. Hasil tersebut menunjukkan bahwa purwarupa mampu menghasilkan kendali bertahap dan mendukung pemantauan kualitas air secara real-time.

Kata Kunci: akuarium ikan hias, ESP32, Fuzzy Sugeno Tipe-0, IoT *real-time*, kualitas air.

IMPLEMENTASI FUZZY SUGENO TIPE-0 PADA IOT REAL-TIME UNTUK PENGENDALIAN KUALITAS AIR AKUARIUM IKAN HIAS

Muhammad Haykal Islam Baskoro

ABSTRACT

Ornamental fish keeping requires continuous water-quality monitoring because changes in temperature, pH, and turbidity can affect aquarium conditions. This study implements a real-time IoT prototype based on an ESP32 and Type-0 Sugeno Fuzzy Logic to process data from DS18B20, pH-4502C, and SEN-0175 sensors and control a heater, fan, filter pump, drain pump, and fill pump. The inference process uses three input variables, 27 rules, the minimum operator, and weighted average. Data are transmitted through MQTT to a Node.js backend, forwarded through WebSocket, stored in Supabase, and visualized on a web dashboard. Test results show that Sugeno achieved an inference time of 9.391 μ s, lower than Tsukamoto at 17.871 μ s and Mamdani at 1,462.504 μ s. The temperature sensor produced a mean absolute error of 0.275°C, while the turbidity sensor voltage decreased from 4.5912 V to 4.1464 V with a coefficient of variation below 0.12%. Under extreme conditions, the heater, cooler, and filter reached outputs of 99–100%. Black-box testing with three users resulted in 63 successful scenarios out of 63. These results indicate that the prototype provides gradual control and supports real-time water-quality monitoring.

Keywords: ESP32, ornamental fish aquarium, real-time IoT, Type-0 Sugeno Fuzzy Logic, water quality.

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademika Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Haykal Islam Baskoro
NIM : 2210511149
Fakultas : Fakultas Ilmu Komputer
Program Studi : S1 Informatika

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta Hak Bebas Royalti Non eksklusif (Non - exclusive Royalty Free Right) atas skripsi saya yang berjudul:

**Implementasi Fuzzy Sugeno Tipe-0 pada IoT *Real-Time* untuk
Pengendalian Kualitas Air Akuarium Ikan Hias**

Dengan Hak Bebas Royalti ini Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta berhak menyimpan, mengalih media atau memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (basis data), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta
10 Juni 2026
Yang menyatakan,



Muhammad Haykal Islam Baskoro

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “IMPLEMENTASI FUZZY SUGENO TIPE-0 PADA IOT REAL-TIME UNTUK PENGENDALIAN KUALITAS AIR AKUARIUM IKAN HIAS”. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer pada Program Studi S1 Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta.

Keberhasilan penyusunan skripsi ini tentu tidak lepas dari bimbingan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan terima kasih yang tulus kepada:

1. Orang tua dan seluruh keluarga penulis, yang senantiasa memberikan doa, dukungan moril, maupun materil yang tak ternilai harganya.
2. Prof. Dr. Ir. Supriyanto, M.Sc., IPM., selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta, serta Dr. Ridwan Raafi'udin, S.Kom, M.Kom. selaku Koordinator Program Studi S1-Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta.
3. Dr. Didit Widiyanto, S.Kom., M.Si., sebagai Dosen Pembimbing I yang senantiasa memberikan luang waktu dan mencurahkan ilmunya untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
4. Nur Hafifah Matondang, S.Kom., M.M., M.T.I., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membantu, memberikan arahan, serta dukungan selama masa perkuliahan dan penyusunan skripsi ini.
5. Tata Nisrina Firdausi, yang senantiasa menemani, menenangkan, memberikan semangat, serta dukungan kepada penulis sejak proses penyusunan proposal hingga penyelesaian skripsi ini. Meskipun terpisah jarak, dukungan dan kehadirannya menjadi salah satu sumber kekuatan bagi penulis dalam menghadapi berbagai kesulitan selama proses penyusunan skripsi.
6. Kendrick Lamar dan Frank Ocean, melalui karya-karya musiknya, serta SetiawanAde melalui konten-konten YouTube-nya, yang telah menemani penulis selama proses penyusunan skripsi, terutama pada saat proses penulisan, pengujian, dan penyelesaian revisi.
7. Seluruh teman seperjuangan, rekan diskusi, dan semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun dari sisi teknis selama proses penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi masih terdapat berbagai kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan

saran yang bersifat membangun demi penyempurnaan skripsi ini di masa mendatang.

Jakarta, 10 Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR RUMUS	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian	4
1.5. Sistematika Penulisan	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. <i>Internet of Things</i> (IoT)	7
2.2. <i>Edge Computing</i> pada Sistem IoT	7
2.3. Kualitas Air	8
2.3.1. Suhu (<i>Temperature</i>)	9
2.3.2. pH (Derajat Keasaman)	9
2.3.3. Kekeruhan (<i>Turbidity</i>)	9
2.4. Kualitas Air Aquarium Ikan Hias	9
2.4.1. Parameter Suhu	10
2.4.2. Parameter pH	10
2.4.3. Parameter Kekeruhan	10
2.4.4. Interaksi Antar Parameter Kualitas Air	10
2.5. Sensor	11
2.6. Sensor Kualitas Air	11
2.6.1. <i>Noise</i> pada Sensor Analog	12
2.6.2. Moving Average Filter pada Pembacaan Sensor	13
2.6.3. DS18B20	14
2.6.4. pH-4502C	14
2.6.5. SEN-0175 Turbidity	15
2.7. Mikrokontroler (ESP32)	15
2.7.1. Arsitektur dan Spesifikasi ESP32	15

2.7.2.	ADC 12-bit ESP32.....	16
2.7.3.	PWM (LEDC) ESP32	17
2.7.4.	FreeRTOS Dual-Core.....	20
2.8.	Logika Fuzzy Sugeno Tipe-0	20
2.8.1.	Konsep Dasar Logika Fuzzy	21
2.8.2.	Fuzzy <i>Inference System</i> (FIS)	22
2.8.3.	Perbandingan Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto.....	23
2.8.4.	Fuzzy Sugeno Tipe-0	24
2.8.5.	Fungsi Keanggotaan Trimf dan Trapmf.....	25
2.8.6.	Fuzzifikasi	27
2.8.7.	Basis Aturan dan Konsekuen <i>Crisp</i> Bertingkat	28
2.8.8.	Evaluasi Aturan dan <i>Firing Strength</i>	29
2.8.9.	Defuzzifikasi <i>Weighted Average</i>	30
2.9.	Aktuator dan Strategi Kendali.....	31
2.9.1.	Aktuator Pemanas, Pendingin, Filtrasi, dan Pengganti Air.....	32
2.9.2.	<i>Relay</i> sebagai Kendali <i>ON/OFF</i>	34
2.9.3.	MOSFET dan PWM untuk Aktuator DC.....	35
2.9.4.	Hysteresis Control pada Aktuator	36
2.10.	Arsitektur Komunikasi IoT	37
2.10.1.	Protokol MQTT.....	38
2.10.2.	WebSocket <i>Real-Time</i>	39
2.10.3.	Penyimpanan Data Berbasis Supabase.....	40
2.11.	Visualisasi <i>Web</i> Berbasis React.js.....	41
2.12.	Penelitian Terdahulu	41
BAB 3.	METODE PENELITIAN.....	48
3.1.	Tahapan Penelitian	48
3.1.1.	Persiapan dan Analisis	49
3.1.2.	Perancangan dan Implementasi Purwarupa	49
3.1.3.	Evaluasi dan Dokumentasi	49
3.2.	Arsitektur Purwarupa IoT	50
3.2.1.	Deskripsi Umum Arsitektur Purwarupa.....	51
3.2.2.	Komponen Utama Purwarupa	52
3.2.3.	Alur Data dan Alur Kendali Purwarupa.....	52
3.2.4.	Peran Teknologi IoT dalam Purwarupa	53
3.3.	Perancangan Logika Fuzzy Sugeno Tipe-0.....	53
3.3.1.	Penentuan Variabel Input dan Output	54
3.3.2.	Perancangan Himpunan Fuzzy dan Fuzzifikasi	55
3.3.3.	Penyusunan Basis Aturan (Rule Base).....	58
3.3.4.	Proses Inferensi dan <i>Weighted Average</i>	60

3.3.5.	Diagram Alur Logika Fuzzy Sugeno	62
3.3.6.	Rancangan Pengujian Perbandingan Metode Inferensi Fuzzy	62
3.4.	Perancangan dan Implementasi Purwarupa IoT	64
3.4.1.	Perancangan Perangkat Keras	65
3.4.2.	Perancangan Perangkat Lunak	66
3.4.3.	Moving Average Filter pada Pembacaan Sensor	67
3.4.4.	Hysteresis Control pada Aktuator	67
3.4.5.	Alur Eksekusi Program pada Purwarupa	68
3.4.6.	Metode Pengujian Purwarupa	69
3.5.	Alat dan Bahan Penelitian	71
3.6.	Jadwal Penelitian	74
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	77
4.1.	Profil Objek Penelitian	77
4.2.	Analisis Sistem Berjalan	78
4.2.1.	Metode Konvensional Pemantauan Kualitas Air	79
4.2.2.	Identifikasi Kebutuhan Purwarupa	79
4.3.	Implementasi Algoritma Fuzzy Sugeno Tipe-0	80
4.3.1.	Alur Kerja Algoritma Fuzzy Sugeno Tipe-0	80
4.3.2.	Pembentukan Basis Aturan (27 Aturan)	82
4.3.3.	Fungsi Keanggotaan dan Parameter	84
4.3.4.	Validasi Fungsi Keanggotaan	86
4.3.5.	Verifikasi Simulasi Python terhadap 9 Skenario	88
4.3.6.	Hasil Perbandingan Mamdani, Sugeno Tipe-0, dan Tsukamoto pada ESP32	91
4.4.	Pembuktian Matematis Inferensi Fuzzy Sugeno Tipe-0	94
4.4.1.	Skenario Kondisi Normal-Transisi ($T=27.5^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=7.64$, $\text{NTU}=0$) 94	
4.4.2.	Skenario Suhu Dingin ($T=22.6^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=8.75$, $\text{NTU}=0$)	97
4.4.3.	Skenario Suhu Panas ($T=38.8^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=7.44$, $\text{NTU}=0$)	98
4.4.4.	Skenario Kekeruhan Ekstrem ($T=35.9^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=7.77$, $\text{NTU}=83.5$) 100	
4.4.5.	Skenario Titik Batas Fungsi Keanggotaan ($T=27^{\circ}\text{C}$, $\text{pH} = 7$, dan $\text{NTU} = 15$)	101
4.5.	Kalibrasi dan Pengujian Sensor Perangkat Keras	105
4.5.1.	Sensor Suhu DS18B20	106
4.5.2.	Sensor pH pH-4502C	107
4.5.3.	Pengujian Respons dan <i>Repeatability</i> Sensor Kekeruhan SEN-0175 110	
4.6.	Pengujian Aktuator dan Kontrol PWM	113

4.7.	Pengujian Purwarupa Terintegrasi	114
4.7.1.	Skenario Kondisi Normal dengan Ikan Guppy (10.330 Titik Data) 115	
4.7.2.	Skenario Suhu Dingin (9.805 Titik Data)	116
4.7.3.	Skenario Suhu Panas (9.703 Titik Data)	120
4.7.4.	Skenario Kekeruhan dengan Media Kopi (580 Titik Data)	124
4.8.	Implementasi Perangkat Lunak Backend dan Dashboard Web	127
4.8.1.	Implementasi Backend Penerima Data MQTT	128
4.8.2.	Implementasi WebSocket dan REST API	131
4.8.3.	Implementasi Penyimpanan Data Historis Supabase	132
4.8.4.	Implementasi Dashboard Web React.js	135
4.8.5.	Pengujian Fungsional Perangkat Lunak.....	137
4.8.6.	Pengujian Black-Box Dashboard oleh Pengguna	139
4.9.	Implementasi FreeRTOS Dual-Core.....	142
4.10.	Ringkasan Hasil dan Evaluasi Purwarupa.....	143
4.11.	Perbandingan dengan Sistem Kontrol ON/OFF Konvensional	144
4.12.	Keterbatasan Purwarupa.....	145
BAB 5.	PENUTUP	147
5.1.	Kesimpulan	147
5.2.	Saran.....	148
	DAFTAR PUSTAKA	149
	LAMPIRAN.....	155

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sensor Suhu DS18B20	14
Gambar 2.2. Sensor pH pH-4502C	14
Gambar 2.3. Sensor Kekeruhan	15
Gambar 2.4. Mikrokontroler ESP32	15
Gambar 2.5 Transisi Crisp dan Fuzzy pada Parameter Kualitas Air	22
Gambar 2.6 Alur Fuzzy <i>Inference System</i>	23
Gambar 2.7 Bentuk Fungsi Keanggotaan Segitiga dan Trapesium	27
Gambar 2.8 Pembentukan Basis Aturan Fuzzy.....	28
Gambar 2.9 Defuzzifikasi Weighted Average pada Sugeno Tipe-0.....	31
Gambar 2.10 Blok Kendali Aktuator pada Purwarupa	32
Gambar 2.11 Aktuator Pemanas	32
Gambar 2.12 Aktuator Pendingin (<i>Fan</i>)	33
Gambar 2.13 Aktuator Filtrasi	33
Gambar 2.14 Aktuator Pompa Pengganti Air	34
Gambar 2.15 Relay.....	34
Gambar 2.16 MOSFET	35
Gambar 2.17 Contoh Bentuk Sinyal PWM.....	36
Gambar 2.18 <i>Hysteresis Control</i>	37
Gambar 2.19 Protokol <i>Publish/Subscribe</i> MQTT.....	38
Gambar 2.20 WebSocket	39
Gambar 3.1. Diagram Tahapan Penelitian	48
Gambar 3.2. Arsitektur Purwarupa IoT.....	51
Gambar 3.3. Rancangan Fungsi Keanggotaan Variabel Input.....	58
Gambar 3.4. Diagram Alur Logika Fuzzy Sugeno Tipe-0.....	62
Gambar 3.5. Diagram Alur Eksekusi Program pada Mikrokontroler ESP32	69
Gambar 4.1. Akuarium Ikan Guppy pada Pengujian Kondisi Normal	77
Gambar 4.2. Purwarupa IoT Pengendalian Kualitas Air Akuarium Ikan Hias.....	78
Gambar 4.3. Grafik Hasil Simulasi 9 Skenario Fuzzy Sugeno Tipe-0	90
Gambar 4.4. Perbandingan Rata-rata Waktu Inferensi Metode Fuzzy pada ESP32	93
Gambar 4.5. Penempatan Sensor pada Akuarium.....	106
Gambar 4.6. Pengujian Sensor Suhu DS18B20 pada Kondisi Normal	106
Gambar 4.7. Pengujian Sensor Suhu DS18B20 pada Kondisi Dingin.....	107
Gambar 4.8. Pengujian Sensor Suhu DS18B20 pada Kondisi Panas	107
Gambar 4.9. Larutan Buffer pH 6,86 dan pH 10,01 yang Digunakan pada Kalibrasi Sensor pH-4502C	108
Gambar 4.10. Media Pengujian Sensor Kekeruhan SEN-0175	111
Gambar 4.11. Respons Tegangan Sensor kekeruhan SEN-0175	112
Gambar 4.12. Perubahan Nilai NTU Estimasi Sensor Kekeruhan.....	112
Gambar 4.13. Penempatan Aktuator pada Purwarupa	113
Gambar 4.14. Dashboard Pengujian Kondisi Normal dengan Ikan Guppy	115

Gambar 4.15. Pengujian Skenario Suhu Dingin pada Media Air Uji Tanpa Ikan	117
Gambar 4.16. Dashboard Pengujian Skenario Suhu Dingin	118
Gambar 4.17. Log Backend Pengujian Skenario Suhu Dingin	118
Gambar 4.18. Pengujian Skenario Suhu Panas pada Media Air Uji Tanpa Ikan.	121
Gambar 4.19. Dashboard Pengujian Skenario Suhu Panas	121
Gambar 4.20. Log Backend Pengujian Skenario Suhu Panas	122
Gambar 4.21. Pengujian Skenario Kekeruhan Menggunakan Media Air Kopi Tanpa Ikan	125
Gambar 4.22. Dashboard Pengujian Skenario Kekeruhan	125
Gambar 4.23. Log Backend pada Pengujian Skenario Kekeruhan	125
Gambar 4.24. Arsitektur Perangkat Lunak Backend dan Dashboard Web	128
Gambar 4.25. Log Backend saat Menerima Data MQTT dari ESP32	129
Gambar 4.26. Pengujian Endpoint Health Backend	131
Gambar 4.27. Penyimpanan Data Historis pada Tabel sensor_logs di Supabase	133
Gambar 4.28. Pengujian Endpoint Count Data Historis Supabase	133
Gambar 4.29. Tampilan Dashboard Web Monitoring Kualitas Air Akuarium....	136
Gambar 4.30. Dokumentasi Pengujian Black-Box oleh Pengguna	142

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Hubungan Aktuator dan Metode Kendali pada Purwarupa	18
Tabel 2.2. Perbandingan Metode Fuzzy Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto.....	24
Tabel 2.3. Variabel Input dan Himpunan Fuzzy	27
Tabel 2.4. Contoh Konsekuen Crisp Bertingkat	29
Tabel 2.5. Pemetaan <i>Driver</i> Aktuator pada Purwarupa	34
Tabel 2.6. Ringkasan Penelitian Terdahulu	41
Tabel 3.1. Parameter Fungsi Keanggotaan Variabel Input	55
Tabel 3.2. Basis Aturan Fuzzy Sugeno Tipe-0 (27 Aturan).....	59
Tabel 3.3. Kriteria Pengujian Perbandingan Metode Fuzzy	64
Tabel 3.4. Konfigurasi Pin Perangkat Keras Purwarupa	65
Tabel 3.5. Konfigurasi Hysteresis Control per Aktuator	68
Tabel 3.6. Profil Pengguna Pengujian Black-Box	70
Tabel 3.7. Perangkat Keras Penelitian	71
Tabel 3.8. Perangkat Lunak Penelitian	73
Tabel 3.9. Rencana Jadwal Penelitian.....	74
Tabel 4.1. Identifikasi Kebutuhan Fungsional Purwarupa.....	79
Tabel 4.2. Tahapan Eksekusi Algoritma Fuzzy Sugeno Tipe-0.....	81
Tabel 4.3. Prinsip Pembentukan Nilai Konsekuen 27 Aturan	82
Tabel 4.4. Basis Aturan Fuzzy Sugeno Tipe-0 (27 Aturan Lengkap).....	83
Tabel 4.5. Parameter Fungsi Keanggotaan Variabel Input	84
Tabel 4.6. Hasil Validasi Derajat Keanggotaan Fungsi Keanggotaan	86
Tabel 4.7. Skenario Pengujian Simulasi Fuzzy Sugeno Tipe-0	88
Tabel 4.8. Hasil Simulasi Output Fuzzy Sugeno Tipe-0 terhadap 9 Skenario.....	89
Tabel 4.9. Kesesuaian Respons Tiga Metode Fuzzy.....	91
Tabel 4.10. Hasil Pengukuran Waktu Inferensi	92
Tabel 4.11. Hasil Penggunaan Flash dan RAM	93
Tabel 4.12. Fuzzifikasi Skenario Kondisi Normal-Transisi.....	95
Tabel 4.13. Aturan Aktif dan Firing Strength Skenario Normal-Transisi	95
Tabel 4.14. Fuzzifikasi Skenario Suhu Dingin	97
Tabel 4.15. Fuzzifikasi Skenario Suhu Panas	98
Tabel 4.16. Fuzzifikasi Skenario Kekakuan Ekstrem.....	100
Tabel 4.17. Aturan Aktif Skenario Kekakuan Ekstrem	100
Tabel 4.18. Hasil Fuzzifikasi Skenario Titik Batas.....	103
Tabel 4.19. Aturan Aktif Skenario Titik Batas	104
Tabel 4.20. Hasil Inferensi Skenario Titik Batas	105
Tabel 4.21. Hasil Kalibrasi Sensor Suhu DS18B20.....	107
Tabel 4.22. Hasil Kalibrasi Sensor pH pH-4502C.....	109
Tabel 4.23. Komposisi Media Pengujian Sensor Kekakuan.....	110
Tabel 4.24. Hasil Pengujian Respons dan <i>Repeatability</i> Sensor Kekakuan	111
Tabel 4.25. Hasil Pengujian Aktuator Individual.....	113
Tabel 4.26. Data Pengujian Representatif Skenario Kondisi Normal.....	115

Tabel 4.27. Ringkasan Statistik Pengujian Kondisi Normal dengan Ikan Guppy	116
Tabel 4.28. Data Pengujian Representatif Skenario Suhu Dingin	118
Tabel 4.29. Ringkasan Statistik Pengujian Skenario Suhu Dingin	119
Tabel 4.30. Data Pengujian Representatif Skenario Suhu Panas	122
Tabel 4.31. Ringkasan Statistik Pengujian Skenario Suhu Panas	123
Tabel 4.32. Data Pengujian Representatif Skenario Kekerusuhan	125
Tabel 4.33. Ringkasan Statistik Pengujian Skenario Kekerusuhan	126
Tabel 4.34. Struktur Data yang Diproses Backend	129
Tabel 4.35. Kolom Penyimpanan Data pada Supabase	133
Tabel 4.36. Pengujian Fungsional Perangkat Lunak Backend dan Dashboard....	138
Tabel 4.37. Hasil Pengujian Black-Box Dashboard.....	139
Tabel 4.38. Rekapitulasi Pengujian Black-Box	141
Tabel 4.39. Konfigurasi FreeRTOS Dual-Core	142
Tabel 4.40. Ringkasan Evaluasi Purwarupa Terhadap Target	143
Tabel 4.41. Perbandingan Rata-Rata Keluaran Fuzzy dan ON/OFF	145

DAFTAR RUMUS

(2.1)	13
(2.2)	17
(2.3)	25
(2.4)	25
(2.5)	26
(2.6)	26
(2.7)	28
(2.8)	29
(2.9)	30
(2.10)	30
(2.11)	30
(2.12)	30
(2.13)	31
(2.14)	35
(2.15)	36
(3.1)	57
(3.2)	57
(3.3)	58
(3.4)	59
(3.5)	60
(3.6)	61
(3.7)	61
(3.8)	61
(3.9)	61
(3.10)	61
(3.11)	67
(4.1)	109

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1.	Daftar Berkas Pendukung Digital	155
LAMPIRAN 2.	Bukti Benchmark Fuzzy pada ESP32	156
LAMPIRAN 3.	Turnitin.....	159