

***PROTOTYPE SISTEM MONITORING DAN KENDALI SUHU
INKUBATOR BAYI BERBASIS *INTERNET OF THINGS*
MENGUNAKAN SENSOR INFRAMERAH GY-906 DENGAN
METODE FUZZY LOGIC***



Intelligentia - Dignitas

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Otomasi

Oleh:

EBIN DIONATAN

1527422023

**UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI
2026**

HALAMAN SAMPUL

PROTOTYPE SISTEM MONITORING DAN KENDALI SUHU
INKUBATOR BAYI BERBASIS INTERNET OF THINGS
MENGUNAKAN SENSOR INFRAMERAH GY-906 DENGAN METODE
FUZZY LOGIC



Intelligentia - Dignitas

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Otomasi

Oleh:

EBIN DIONATAN

1527422023

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI

2026

**LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR
BENTUK: SKRIPSI**

Nama Mahasiswa : EBIN DIONATAN

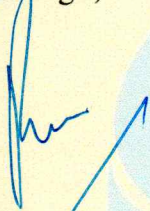
NIM : 1527422023

Judul Penelitian : *Prototype* Sistem Monitoring dan Kendali Suhu
Inkubator Bayi Berbasis *Internet of Things*
Menggunakan Sensor Inframerah GY-906 dengan
Metode Fuzzy Logic

Ini telah disetujui dan dinyatakan memenuhi syarat untuk diajukan dalam ujian tugas akhir.

Jakarta, 22 Juli 2026

Pembimbing I,



Rafiuddin Syam, S.T., M.Eng., PhD.

NIDN. 0030037203

Pembimbing II,



Churnia Sari, S.T,M.T

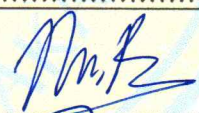
NIDN. 0708129004

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR BENTUK: SKRIPSI

Nama Mahasiswa : EBIN DIONATAN
NIM : 1527422023
Program Studi/Fakultas : Teknologi Rekayasa Otomasi/Fakultas Teknik
Judul Penelitian : *Prototype Sistem Monitoring dan Kendali Suhu Inkubator Bayi Berbasis Internet of Things Menggunakan Sensor Inframerah GY-906 dengan Metode Fuzzy Logic*

Ini telah dipertahankan dihadapan dewan penguji dan dinyatakan Lulus/ Tidak Lulus)* Ujian Tugas Akhir oleh Tim Penguji pada Tanggal 22 Juli 2026

Tim Penguji,

Ketua Penguji	Taryudi, Ph.D. NIDN. 0006088005	
Anggota Penguji (Penguji Ahli 1)	Drs. Rimulyo Wicaksono, M.M. NIDN. 0001106306	
Anggota Penguji (Penguji Ahli 2)	Nur Hanifah Yuninda, S.T., M.T. NIDN. 0011068204	
Anggota Penguji (Pembimbing 1)	Rafiuddin Syam, ST., M.Eng, PhD. NIDN. 0030037203	
Anggota Penguji (Pembimbing 2)	Churnia Sari, S.T., M.T. NIDN. 0708129004	

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Koordinator Program Studi

Teknologi Rekayasa Otomasi



Prof. Dr. Neneng Siti Silfi Ambarwati, S.Si., Apt., M.Si.
NIDN. 0029027204



Syufrijal, S.T., M.T.
NIDN. 0027037604

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Nama Mahasiswa : EBIN DIONATAN
NIM : 1527422023
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Fakultas : Teknik
Judul Penelitian : *Prototype Sistem Monitoring dan Kendali Suhu Inkubator Bayi Berbasis Internet of Things Menggunakan Sensor Inframerah GY-906 dengan Metode Fuzzy Logic*

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya tulis ilmiah ini.

Jakarta, 22 Juli 2026

Yang menyatakan,



EBIN DIONATAN
NIM. 1527422023



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
PERPUSTAKAAN DAN KEARSIPAN
Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220
Telepon/Faksimili 021-4894221
Laman: lib.unj.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya :

Nama : EBIN DIONATAN
Nim : 1527422023
Fakultas/Prodi : Teknik/Teknologi Rekayasa Otomasi
Alamat email : ebindionatan2@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Disertasi ☐ Lain-Lain (.....)

Yang Berjudul :

PROTOTYPE SISTEM MONITORING DAN KENDALI SUHU INKUBATOR BAYI BERBASIS INTERNET OF THINGS MENGGUNAKAN SENSOR INFRAMERAH GY-906 DENGAN METODE FUZZY LOGIC

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara fulltext untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 22 Juli 2026

EBIN DIONATAN
1527422023

KATA PENGANTAR

Dengan segenap kerendahan hati, penulis memanjatkan puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa. Atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat merampungkan skripsi yang berjudul "*Prototype Sistem Monitoring dan Kendali Suhu Inkubator Bayi Berbasis Internet of Things Menggunakan Sensor Inframerah GY-906 dengan Metode Fuzzy Logic*". Skripsi ini disusun sebagai pemenuhan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, Universitas Negeri Jakarta. "Janganlah hendaknya kamu kuatir tentang apa pun juga, tetapi nyatakanlah dalam segala hal keinginanmu kepada Allah dalam doa dan permohonan dengan ucapan syukur." (Filipi 4:6) Ayat ini menjadi pengingat dan penguat bagi penulis di sepanjang proses penyusunan skripsi ini, bahwa segala kekhawatiran dapat diserahkan kepada Tuhan melalui doa dan ucapan syukur.

Penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan moril dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menghaturkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Bapak Syufrijal, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, atas arahan dan dukungan beliau dalam mengelola program studi sehingga seluruh kegiatan akademik dapat terselenggara dengan baik dan lancar.
2. Bapak Rafiuddin Syam, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I, atas kesediaan waktu, bimbingan intensif, saran yang membangun, serta masukan berharga yang senantiasa memotivasi penulis untuk melakukan perbaikan berkelanjutan, mulai dari tahap penelitian hingga penyusunan akhir skripsi.
3. Ibu Churnia Sari, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II, atas bimbingan akademik, arahan, serta dukungan moral yang telah memperkaya wawasan dan perspektif penulis, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan secara komprehensif dan sistematis.

4. Orang tua penulis, ayah dan ibu, serta kedua kakak penulis (Nesni dan Lise), atas dukungan moril, finansial, dan doa tulus yang menjadi fondasi utama penulis dalam menyelesaikan studi ini.
5. Keluarga besar Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, terlebih rekan-rekan Angkatan 2022, teman-teman prodi, dan kating yang telah kebersamai penulis selama masa studi. Kebersamaan, diskusi, serta bantuan dalam proses pembelajaran, disertai dukungan moral dan semangat yang diberikan, sangat berarti bagi penulis hingga dapat menyelesaikan studi ini.
6. Ratih, Erlen, Okta, Cindy, Nathan, Kiel, Adit, dan Desry, selaku teman seperjuangan CPS, serta teman-teman kelompok kecil Kak Tasya, yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan kebersamaan yang berarti selama masa perkuliahan.
7. Keluarga besar PMK UNJ dan BEM UNJ, atas kebersamaan, pembelajaran, dan pengalaman berharga yang turut membentuk penulis selama masa studi.
8. Seluruh teman-teman penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan, semangat, doa, serta dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan studi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan, khususnya dalam pengembangan sistem kendali otomatis inkubator bayi.

Jakarta, 22 Juli 2026

Yang membuat pernyataan



EBIN DIONATAN

NIM: 1527422023

ABSTRAK

Bayi prematur memiliki sistem termoregulasi yang belum matang sehingga rentan mengalami hipotermia maupun kondisi suhu tubuh yang tidak stabil. Inkubator bayi konvensional umumnya masih menggunakan pengaturan suhu manual atau kendali *ON-OFF* sederhana yang belum menyesuaikan *setpoint* secara otomatis terhadap berat badan bayi dan kondisi suhu ruang. Penelitian ini merancang sebuah prototipe sistem *monitoring* dan kendali suhu inkubator bayi berbasis *Internet of Things* (IoT) yang menggunakan metode Fuzzy Mamdani untuk menentukan *setpoint* suhu secara otomatis berdasarkan dua variabel input, yaitu berat badan bayi dan suhu ruang inkubator. Basis aturan fuzzy yang disusun berdasarkan sintesis rekomendasi *World Health Organization* (WHO) dan literatur neonatal selanjutnya dioptimasi menggunakan algoritme *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk memperoleh kombinasi aturan dengan galat prediksi yang lebih kecil. Pengendalian aktuatur pemanas *Positive Temperature Coefficient* (PTC) dan pendingin Peltier dilakukan secara non-fuzzy berbasis ambang batas (*threshold*), sedangkan kelembapan ruang dikendalikan melalui mekanisme histeresis. Seluruh data hasil pembacaan sensor dan status aktuatur dikirimkan ke *Firebase Realtime Database* dan ditampilkan melalui dashboard web untuk keperluan pemantauan oleh tenaga medis secara *real-time*. Hasil optimasi ACO menunjukkan penurunan *Mean Squared Error* (MSE) sebesar 45,97% pada evaluasi *weighted-average* dan 42,26% pada evaluasi Mamdani penuh (*apple-to-apple*) dibandingkan basis aturan awal, dengan tiga dari sembilan aturan mengalami penyesuaian pada kondisi suhu ruang ekstrem. Pengujian sensor menunjukkan akurasi tinggi terhadap alat ukur pembanding, pengujian kendali suhu *closed-loop* pada mode Manual menghasilkan *steady-state error* rata-rata 0,15°C dengan *overshoot* di bawah 1%, dan implementasi algoritma pada ESP32 menunjukkan deviasi rata-rata hanya 0,064% terhadap simulasi MATLAB. Hasil keseluruhan membuktikan bahwa sistem yang dirancang mampu menentukan dan mempertahankan *setpoint* suhu inkubator secara akurat dan stabil, dengan optimasi berbasis ACO meningkatkan akurasi sistem fuzzy dibandingkan basis aturan yang hanya disusun berdasarkan referensi literatur tanpa optimasi lebih lanjut.

Kata kunci: inkubator bayi, *Internet of Things*, Fuzzy Mamdani, *Ant Colony Optimization*, kendali suhu

ABSTRACT

Preterm infants have an immature thermoregulatory system, making them susceptible to hypothermia and unstable body temperature. Conventional baby incubators generally still rely on manual temperature settings or simple ON-OFF control that does not automatically adjust the setpoint to the infant's body weight and room temperature conditions. This research designs a prototype Internet of Things (IoT)-based monitoring and temperature control system for baby incubators using the Fuzzy Mamdani method to automatically determine the temperature setpoint based on two input variables: infant body weight and incubator room temperature. The fuzzy rule base, synthesized from World Health Organization (WHO) recommendations and neonatal literature, was further optimized using the Ant Colony Optimization (ACO) algorithm to obtain a rule combination with a smaller prediction error. The Positive Temperature Coefficient (PTC) heater and Peltier cooler actuators are controlled non-fuzzily based on staged thresholds, while chamber humidity is regulated through a hysteresis mechanism. All sensor reading data and actuator status are transmitted to the Firebase Realtime Database and displayed via a web dashboard for real-time monitoring by medical personnel. The ACO optimization results show a Mean Squared Error (MSE) reduction of 45.97% under weighted-average evaluation and 42.26% under full Mamdani (apple-to-apple) evaluation compared to the initial rule base, with three of nine rules adjusted at extreme room temperature conditions. Sensor testing shows high accuracy against reference measuring instruments, closed-loop temperature control testing in Manual mode yields an average steady-state error of 0.15°C with overshoot below 1%, and the algorithm implementation on the ESP32 shows an average deviation of only 0.064% from the MATLAB simulation. The overall results demonstrate that the designed system is able to accurately and stably determine and maintain the incubator temperature setpoint, with ACO-based optimization improving the accuracy of the fuzzy system compared to a rule base constructed solely from literature references without further optimization.

Keywords: baby incubator, Internet of Things, Fuzzy Mamdani, Ant Colony Optimization, temperature control

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN KARYA	iv
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	4
1.3 Rumusan Masalah.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Tujuan Penelitian	7
1.6 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Kerangka Teori.....	9
2.1.1 Metode Rekayasa (<i>Engineering Method</i>).....	9
2.1.2 Bayi Prematur.....	9
2.1.3 Inkubator Bayi.....	10
2.1.4 Suhu Inkubator dan <i>Neutral Thermal Environment</i>	10
2.1.5 Pengaruh Berat Badan Terhadap Suhu Bayi Prematur	11
2.1.6 Metode Fuzzy Logic	12
2.1.7 Himpunan Fuzzy dan Fungsi Keanggotaan	14
2.1.8 Sistem Inferensi Fuzzy Mamdani.....	15
2.1.9 <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO).....	16

2.1.10 Integrasi Fuzzy Mamdani dan ACO	18
2.1.11 Kendali Non-Fuzzy pada Aktuator	18
2.1.12 Karakteristik Respons Sistem Kendali	20
2.1.13 <i>Metrik Evaluasi Model</i>	21
2.1.14 <i>Internet of Things (IoT)</i>	21
2.1.15 Perangkat Keras	22
2.1.16 Perangkat Lunak	32
2.2 Penelitian Relevan	32
2.3 Kerangka Berpikir	34
2.4 Hipotesis Penelitian	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	37
3.2 Jenis dan Pendekatan Penelitian	38
3.3 Alat dan Bahan	40
3.3.1 Perangkat Keras	40
3.3.2 Perangkat Lunak	42
3.3.3 Komponen Elektronika	44
3.4 Rancangan Sistem Penelitian	46
3.4.1 Diagram Alir Sistem	47
3.4.2 Blok Diagram Penelitian	48
3.5 Gambar Pelaksanaan Proyek	50
3.5.1 <i>Gambar Electrical Wiring</i>	50
3.5.2 Rancangan Desain PCB	51
3.5.3 Rancangan Desain Alat	52
3.6 Optimasi Basis Aturan dengan <i>Ant Colony Optimization</i>	53
3.6.1 Dataset Penelitian	54
3.6.2 Fungsi Fitness	54
3.6.3 Parameter Optimasi ACO	55
3.6.4 Pembentukan Solusi	56
3.6.5 Nilai Heuristik	56
3.6.6 Nilai Feromon	56
3.6.7 Pembaruan Feromon	57

3.6.8 Penentuan Rule Base Terbaik	57
3.7 Teknik Pengumpulan Data	57
3.7.1 Representasi Penentuan <i>Set point</i> dengan Fuzzy Mamdani + ACO	58
3.7.2 Fuzzifikasi	59
3.7.3 Rule Base	63
3.7.4 Rule Viewer	65
3.7.5 Surface Viewer	65
3.8 Teknik Analisis Data Penelitian	67
3.8.1 Analisis Hasil Optimasi ACO	67
3.8.2 Analisis Akurasi Sensor	67
3.8.3 Analisis Kinerja Sistem Kendali	68
3.8.4 Analisis Akurasi Logika Fuzzy	69
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	70
4.1 Deskripsi Hasil Penelitian	70
4.2 Kelayakan Produk	72
4.2.1 Pengujian <i>Hardware</i> Inkubator	72
4.2.2 Pengujian <i>Software</i> Inkubator	85
4.3 Hasil Analisis Kinerja Sistem Kendali	91
4.3.1 Analisis Respon Sistem (Transient Response)	91
4.3.2 Analisis Steady State <i>Error</i>	94
4.3.3 Analisis Akurasi Logika Fuzzy	94
4.4 Optimasi Menggunakan ACO (<i>Ant Colony Optimization</i>)	96
4.4.1 Parameter Optimasi	97
4.4.2 Basis Aturan (<i>Rule Base</i>) Awal	98
4.4.3 Proses Optimasi Menggunakan ACO	100
4.4.4 Hasil Optimasi Rule Base	103
4.4.5 Evaluasi Hasil Optimasi	104
4.5 Hasil Pengujian Implementasi Sistem Kendali (Manual & Otomatis)	109
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	114
5.1 KESIMPULAN	114
5.2 SARAN	115
DAFTAR PUSTAKA	116

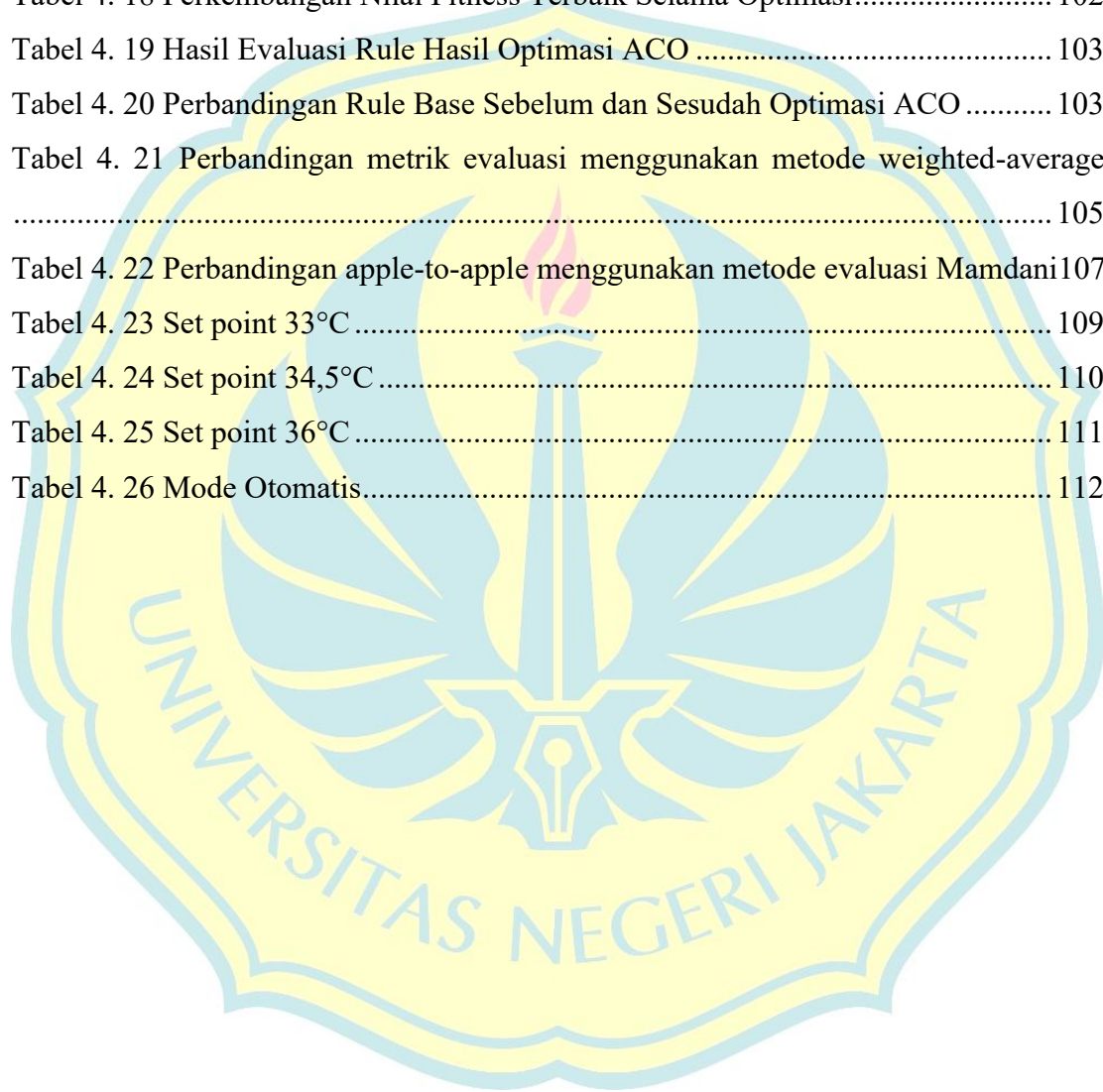
LAMPIRAN.....	119
---------------	-----



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Konfigurasi Pin ESP32	23
Tabel 2. 2 Keluaran Driver.....	29
Tabel 2. 3 Perangkat Lunak	32
Tabel 2. 4 Perbandingan Penelitian Terdahulu	33
Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan	38
Tabel 3. 2 Alat Penelitian (Tools).....	41
Tabel 3. 3 Bahan/Komponen Penelitian.....	41
Tabel 3. 4 Komponen Elektronika	44
Tabel 3. 5 Aktuator yang tidak terhubung langsung ke ESP32	45
Tabel 3. 6 Parameter Optimasi ACO	55
Tabel 3. 7 Semesta Pembicaraan Variabel Fuzzy	59
Tabel 3. 8 Parameter fungsi keanggotaan input berat bayi	60
Tabel 3. 9 Parameter fungsi keanggotaan input suhu inkubator	61
Tabel 3. 10 Parameter fungsi keanggotaan Ouput Setpoint Suhu.....	62
Tabel 3. 11 Rule base awal (initial knowledge) sistem Fuzzy Mamdani.....	63
Tabel 3. 12 Aturan Fuzzy Tahap 1 (Initial Knowledge)	64
Tabel 4. 1 Komponen utama prototipe sistem	72
Tabel 4. 2 Hasil Perbandingan Sensor GY-906 dengan Termometer Digital.....	73
Tabel 4. 3 Hasil perbandingan sensor DHT 22 dengan Higrometer	76
Tabel 4. 4 Hasil Perbandingan Sensor Load Cell dengan Timbangan Digital setelah kalibrasi.....	78
Tabel 4. 5 Hasil pengujian relay 8 channel	81
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Driver BTS7960	83
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian LCD I2C 20×4.....	84
Tabel 4. 8 Monitoring Data Sensor pada Mode Otomatis	86
Tabel 4. 9 Monitoring Data Sensor pada Mode Manual.....	86
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Monitoring Data Menggunakan Firebase	88
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Dashboard Monitoring Berbasis Web	89
Tabel 4. 12 Hasil Analisis Respon Sistem	93

Tabel 4. 13 Hasil Analisis Steady-State Error	94
Tabel 4. 14 Hasil Analisis Akurasi Logika Fuzzy	95
Tabel 4. 15 Ringkasan Statistik Dataset Penelitian.....	97
Tabel 4. 16 Basis Aturan Awal Sebelum Optimasi ACO	99
Tabel 4. 17 Parameter Ant Colony Optimization (ACO)	101
Tabel 4. 18 Perkembangan Nilai Fitness Terbaik Selama Optimasi.....	102
Tabel 4. 19 Hasil Evaluasi Rule Hasil Optimasi ACO	103
Tabel 4. 20 Perbandingan Rule Base Sebelum dan Sesudah Optimasi ACO	103
Tabel 4. 21 Perbandingan metrik evaluasi menggunakan metode weighted-average	105
Tabel 4. 22 Perbandingan apple-to-apple menggunakan metode evaluasi Mamdani	107
Tabel 4. 23 Set point 33°C	109
Tabel 4. 24 Set point 34,5°C	110
Tabel 4. 25 Set point 36°C	111
Tabel 4. 26 Mode Otomatis.....	112



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 kurva Gaussian	13
Gambar 2. 2 Suhu Inframerah MLX90614	25
Gambar 2. 3 Load Cell dan Modul Penguat HX711	25
Gambar 2. 4 Sensor Suhu dan Kelembapan DHT22.....	26
Gambar 2. 5 Elemen Pemanas PTC	27
Gambar 2. 6 Modul Termoelektrik Peltier (TEC) Sumber	28
Gambar 2. 7 Driver Motor BTS7960	29
Gambar 2. 8 Humidifier	30
Gambar 2. 9 Relay 8 Channel	30
Gambar 2. 10 LCD I2C 20x4.....	31
Gambar 2. 11 diagram kerangka berpikir Sumber Draw.io Dokumentasi Pribadi	35
Gambar 3. 1 Diagram Alir Keseluruhan	47
Gambar 3. 2 Diagram Alir Inferensi Fuzzy Mamdani (Runtime).....	48
Gambar 3. 3 Diagram Blok Sistem	49
Gambar 3. 4 Electrical Wiring	51
Gambar 3. 5 Rancangan Desain PCB	52
Gambar 3. 6 Rancangan Desain Alat	53
Gambar 3. 7 Membership Function Input Berat Bayi.....	60
Gambar 3. 8 Membership Function Input Suhu Inkubator	61
Gambar 3. 9 Kurva fungsi keanggotaan output setpoint suhu	62
Gambar 3. 10 Fuzzy Logic Toolbox	63
Gambar 3. 11 Rule Viewer sistem Fuzzy Mamdani awal (9 rule).....	65
Gambar 3. 12 Surface viewer awal hubungan berat bayi, suhu inkubator, dan setpoint	65
Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan Sensor GY-906 dengan Termometer Digital	75
Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan Sensor DHT22 dengan Alat Ukur (HTC-2).....	77
Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan Sensor Load Cell dengan Timbangan Digital.....	80
Gambar 4. 4 Hasil Pengujian LCD I2C 20x4	85
Gambar 4. 5 Monitoring Data Sensor pada Mode Otomatis.....	86

Gambar 4. 6 Monitoring Data Sensor pada Mode Manual	87
Gambar 4. 7 Hasil Pengujian Monitoring Data Menggunakan Firebase	89
Gambar 4. 8 Hasil Pengujian Dashboard Monitoring Berbasis Web.....	90
Gambar 4. 9 Uji Pengiriman Data Google Spreadsheet.....	91
Gambar 4. 10 Perbandingan pengujian Auto dan Manual	92
Gambar 4. 11 Sebaran Dataset Penelitian	98
Gambar 4. 12 Rule Viewer Fuzzy Mamdani Sebelum Optimasi.....	99
Gambar 4. 13 Surface Viewer Sebelum Optimasi	100
Gambar 4. 14 Perkembangan Nilai Fitness Selama Proses Optimasi ACO	102
Gambar 4. 15 Sebaran prediksi terhadap target: rule awal vs rule ACO	105
Gambar 4. 16 Perbandingan visual MSE Mamdani penuh: awal (0,7202) vs ACO (0,4158)	107
Gambar 4. 17 Surface viewer (setelah optimasi ACO).....	108
Gambar 4. 18 Perbandingan visual surface kendali sebelum dan sesudah optimasi ACO	108
Gambar 4. 19 Set point 33°C Suhu inkubator dan kelembaban.....	109
Gambar 4. 20 Set point 34,5°C Suhu inkubator dan kelembaban.....	110
Gambar 4. 21 Set point 36°C Suhu inkubator dan kelembaban.....	111
Gambar 4. 22 Grafik Suhu Inkubator Otomatis	113
Gambar 4. 23 Grafik Kelembaban Inkubator Otomatis	113
Gambar 4. 24 Grafik Berat Bayi Mode Otomatis	113

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Pengerjaan Alat	119
Lampiran 2 Pengujian Program Inkubator	120
Lampiran 3 Pengujian Sensor Inkubator	121

