

**PROTOTIPE ALAT KALIBRATOR TERMOMETER NON KONTAK KLINIK
MENGUNAKAN SISTEM KONTROL LOGIKA FUZZY MAMDANI**

Tesis S-2

Untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik
Program Studi Magister Teknik Elektro



Diajukan oleh :

Fakhrul Dewantoro

20602300054

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG**

2024

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Tesis dengan judul:

**PROTOTYPE ALAT KALIBRATOR TERMOMETER NON KONTAK
KLINIK MENGGUNAKAN SISTEM KONTROL LOGIKA FUZZY
MAMDANI**

Yang diajukan oleh :

Nama :Fakhrul Dewantoro

NIM :20602300054

Telah diperiksa dan disetujui,

Tanggal, 6 Desember 2024



Judul Tesis ini Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Magister Teknik

Tanggal, 6 Desember 2024



HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

Tesis dengan judul:

**PROTOTYPE ALAT KALIBRATOR TERMOMETER NON KONTAK
KLINIK MENGGUNAKAN SISTEM KONTROL LOGIKA FUZZY
MAMDANI**




Yang diajukan oleh :

Nama :Fakhrul Dewantoro

NIM :20602300054

Telah dipertahankan didepan dewan penguji pada tanggal,

Tanggal, 6. Desember 2024

NO	PENGUJI	TTD
1	Prof. Dr. Ir. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si	
2	Dr. Eka Nuryanto Budisusila, S.T., M.T.	
3	Dr. Bustanul Arifin, S.T., M.T	

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Fakhrul Dewantoro

NPM : 20602300054

Jurusan : Magister Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri

Judul : PROTOTIPE ALAT KALIBRATOR TERMOMETER NON
KONTAK KLINIK MENGGUNAKAN SISTEM KONTROL
LOGIKA FUZZY MAMDANI

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis ini benar-benar karya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Semarang, 6 Desember 2024

Yang menyatakan,



Fakhrul Dewantoro

NIM 20602300054

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa. Atas segala kenikmatan iman, kesehatan, dan karunia-Nya yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tesis yang berjudul **“PROTOTYPE ALAT KALIBRATOR TERMOMETER NON KONTAK KLINIK MENGGUNAKAN SISTEM KONTROL LOGIKA FUZZY MAMDANI”**.

Penelitian Tesis ini merupakan kegiatan yang harus dilaksanakan oleh mahasiswa selain perkuliahan, praktikum, dan tugas akhir sebagai syarat untuk menyelesaikan studi di jurusan Magister Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung. Hal ini dianggap penting dalam rangka pengembangan pengetahuan mahasiswa, dan mempersiapkan mahasiswa sebelum terjun ke dunia profesinya.

Pelaksanaan Tesis ini berjalan dengan baik berkat bantuan yang telah diberikan oleh banyak pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Novi Marlyana, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung
2. Prof. Dr. Hj. Sri Arrtini Dwi Prasetyowati, M.Si., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung;
3. Dr. Bustanul Arifin, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing selama proses pembuatan tesis berlangsung;
4. Dr. Eka Nuryanto Budisusila, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah Menguji selama proses pembuatan tesis berlangsung;
5. Seluruh dosen dan karyawan Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung;
6. Kepada kedua orang tua tercinta yang selalu memberi sokongan dana dalam penyelesaian penelitian Tesis ini;
7. Seluruh teman-teman Magister Teknik Elektro angkatan 2024 atas dukungan dan persaudaraannya selama ini;

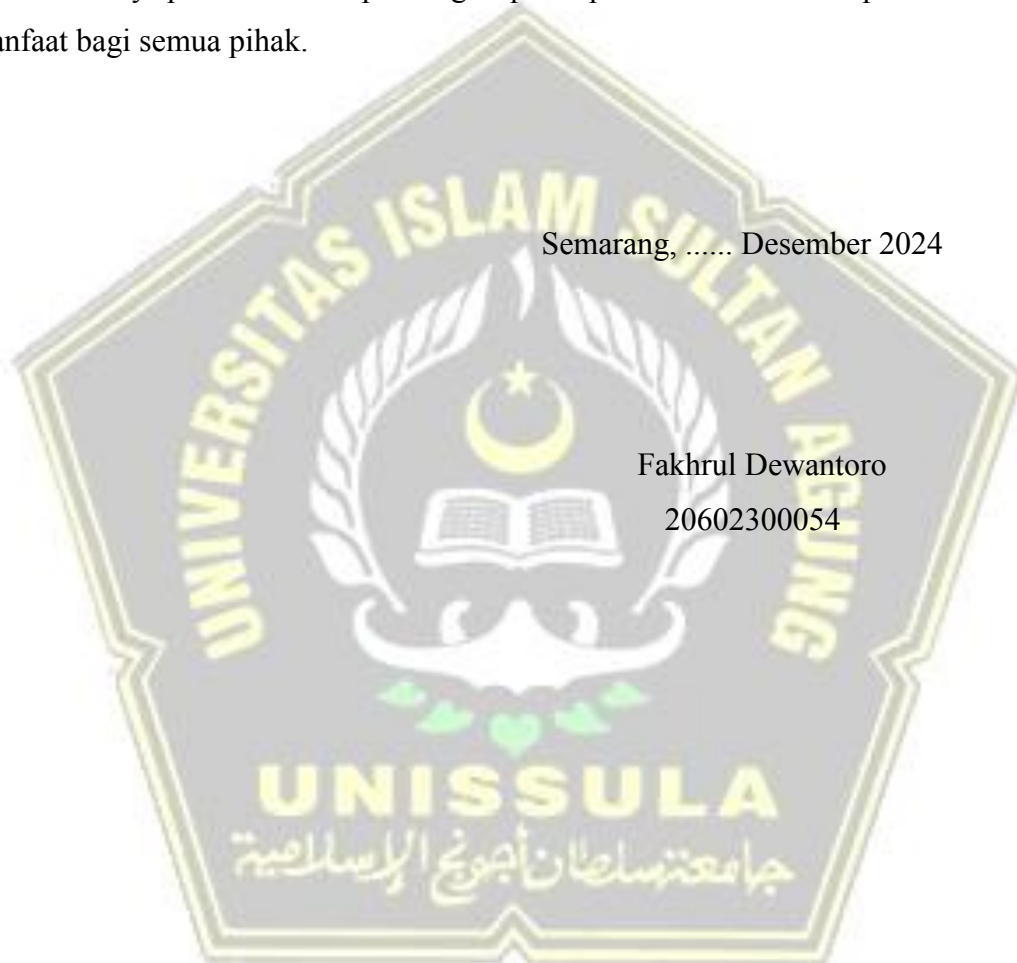
8. Serta pihak-pihak lain yang telah membantu penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penelitian Tesis ini masih banyak kekurangan. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari segenap pembaca untuk perbaikan penelitian ini.

Akhirnya penulis berharap semoga laporan penelitian Tesis ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Semarang, Desember 2024

Fakhrul Dewantoro
20602300054

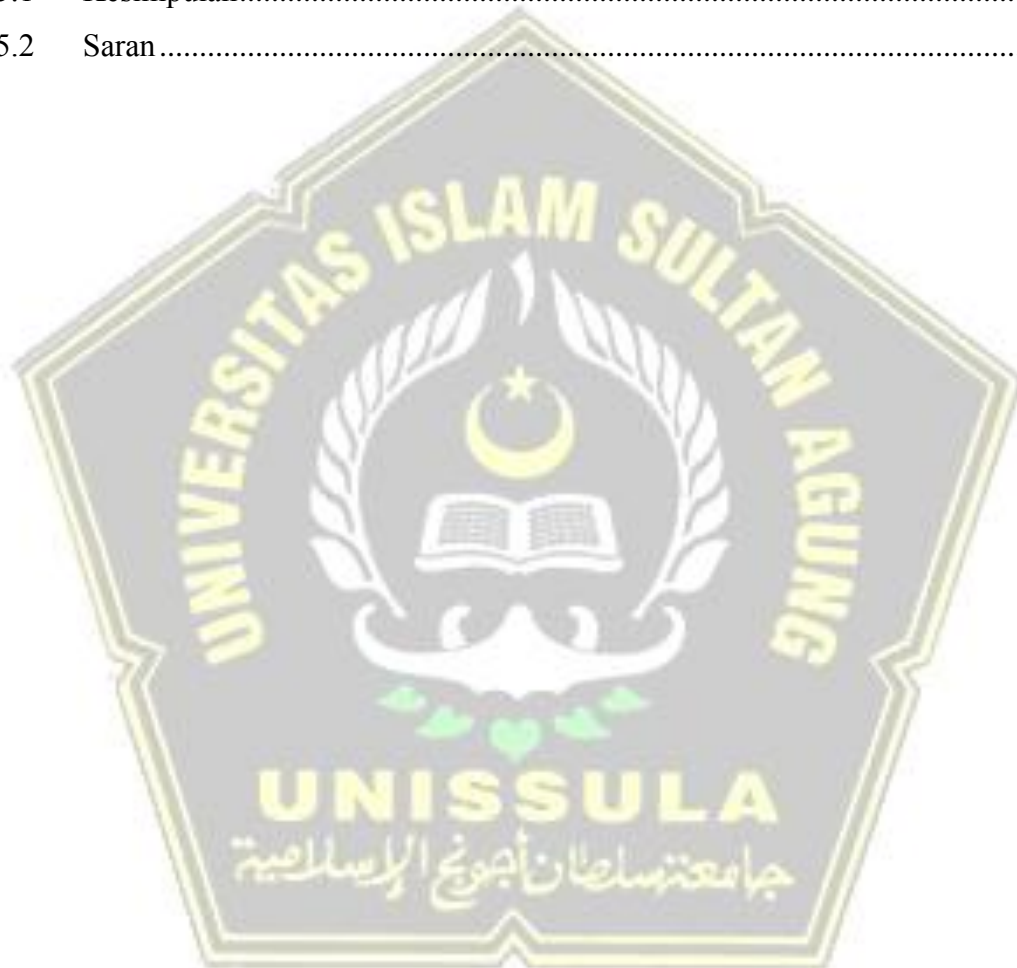


DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING	i
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
ABSTRAK	xii
ABSTRACT	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Keaslian Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Landasan Teori	9
2.2.1 Termometer Non kontak	9
2.2.2 Alat Kalibrator Termometer <i>Non kontak</i>	10
2.2.3 Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani	11
2.2.4 Sensor MLX 90614.....	15
2.2.5 Mikrokontroler	16
2.2.6 DISPLAY LCD 20X4	17
2.2.7 Modul I2C LCD	18
2.2.8 <i>Heater PTC</i>	19
2.2.9 Sensor DHT 22.....	20
2.2.10 <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	21

BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1	Model Penelitian.....	23
3.2	Diagram Blok	28
3.3	Teknik Pengumpulan Data	29
3.4	Alat dan bahan.....	30
3.4.1	Alat.....	30
3.4.2	Bahan.....	30
3.5	Perancangan Rangkaian Perangkat Keras	31
3.5.1	Rangkaian Sensor Suhu	32
3.5.2	Rangkaian Sensor Suhu Ruangan	32
3.5.3	Driver <i>heater</i>	32
3.5.4	Rangkaian Led Indikator.....	33
3.5.5	Rangkaian Keypad	34
3.6	Perancangan software.....	34
3.7	Pengujian atau validasi modul system.....	34
3.7.1	Pengujian fungsi suhu sensor suhu dan sensor suhu ruangan	34
3.7.2	Pengujian Driver <i>Heater</i>	36
3.7.3	Pengujian Kendali Logika Fuzzy	36
3.7.4	Pengujian Kinerja Keseluruhan	37
3.8	Objek penelitian	38
3.9	Variabel penelitian	38
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1	Spesifikasi Alat.....	39
4.2	Pengujian Alat dan Hasil Pengukuran	40
4.2.1	Hasil Uji Fungsi Suhu Ruangan Dengan Alat Pembanding.....	40
4.2.2	Hasil Uji Fungsi Suhu <i>Heater</i> Dengan Alat Pembanding.....	44
4.2.3	Hasil Uji Fungsi Suhu <i>Heater</i> 35°C.....	46
4.2.4	Hasil Uji Fungsi Suhu <i>Heater</i> 37°C.....	50
4.2.5	Hasil Uji Fungsi Suhu <i>Heater</i> 42°C.....	53

4.2.6	Hasil Uji Fungsi <i>Driver Heater</i>	56
4.2.7	Hasil Uji kendali logika fuzzy	59
4.2.8	Pengujian <i>Pulse Width Modulation</i> PWM	71
4.2.9	Pengujian Kinerja Keseluruhan	74
BAB VKESIMPULAN.....		87
5.1	Kesimpulan.....	87
5.2	Saran.....	87



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Termometer Non kontak.....	10
Gambar 2. 2 Alat Kalibrator Termometer Non kontak.....	11
Gambar 2. 3 Himpunan Suhu.....	12
Gambar 2. 4 Grafik Inferensi Fuzzy	13
Gambar 2. 5 sensor MLX90614.....	16
Gambar 2. 6 Arduino Nano	17
Gambar 2. 7 LCD 20X4.....	18
Gambar 2. 8 Modul I2C LCD	19
Gambar 2. 9 <i>Heater</i> PTC	19
Gambar 3. 1 Model penelitian.....	23
Gambar 3. 2 Fungsi keanggotaan suhu	24
Gambar 3. 3 Fungsi keanggotaan suhu ruangan	24
Gambar 3.4 Fungsi keanggotaan <i>heater</i>	25
Gambar 3. 5 diagram Blok.....	28
Gambar 3. 6 Desain PCB	31
Gambar 3. 7 Sensor Suhu.....	32
Gambar 3. 8 Sensor Suhu Ruangan	32
Gambar 3. 9 Driver <i>Heater</i>	33
Gambar 3. 10 led indikator.....	33
Gambar 3. 11 Keypad.....	34
Gambar 3. 12 Laboratorium Sentral Universitas Ngudi Waluyo Ungaran	38
Gambar 4. 1 Prototipe Alat Kalibrator Termometer Non Kontak Klinik.....	39
Gambar 4. 2 Hasil Uji Fungsi Suhu Ruangan Dengan Alat Pembanding.....	41
Gambar 4. 3 Hasil Uji Fungsi Suhu Ruangan Dengan Alat Pembanding.....	43
Gambar 4. 4 dari Hasil Uji Fungsi Suhu <i>Heater</i> Dengan Alat Pembanding.....	44
Gambar 4. 5 Grafik Hasil Uji Fungsi Suhu Ruangan Dengan Alat Pembanding	46
Gambar 4. 6 merupakan hasil dari Uji Fungsi Suhu <i>Heater</i> 35 ⁰ C.....	47
Gambar 4. 7 Grafik Uji Fungsi Suhu <i>heater</i> 35 ⁰ C.....	49

Gambar 4. 8 merupakan hasil dari Uji Fungsi Suhu <i>Heater</i> 37 ⁰ C	50
Gambar 4. 9 Grafik Uji Fungsi Suhu <i>heater</i> 37 ⁰ C.....	52
Gambar 4. 10 merupakan hasil dari Uji Fungsi Suhu <i>Heater</i> 37 ⁰ C	53
Gambar 4. 11 Grafik Uji Fungsi Suhu <i>heater</i> 42 ⁰ C.....	55
Gambar 4. 12 merupakan hasil dari Uji Fungsi Driver <i>Heater</i>	56
Gambar 4. 13 Grafik Uji Fungsi Driver <i>Heater</i>	58
Gambar 4. 14 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 35 ⁰ C	60
Gambar 4. 15 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 35 ⁰ C	62
Gambar 4. 16 Pengujian Kendali suhu Logika Fuzzy setting 35 ⁰ C.....	63
Gambar 4. 17 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 37 ⁰ C	63
Gambar 4. 18 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 37 ⁰ C	66
Gambar 4. 19 Pengujian Kendali suhu Logika Fuzzy setting 37 ⁰ C.....	67
Gambar 4. 20 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 42 ⁰ C	68
Gambar 4. 21 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 42 ⁰ C	70
Gambar 4. 22 Pengujian Kendali suhu Logika Fuzzy setting 42 ⁰ C.....	71
Gambar 4. 23 pengujian <i>Pulse Width Modulation</i> PWM menggunakan Multimeter	72
Gambar 4. 24 Pengujian Pulse Width Modulation (PWM)	73
Gambar 4. 25 Hasil Pengujian Kinerja Keseluruhan	77

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Perbedaan dengan penelitian-penelitian sebelumnya.....	4
Tabel 2. 1 spesifikasi sensor MLX90614.....	16
Tabel 2. 2 pin konfigurasi Arduino Nano.....	17
Tabel 2. 3 pin konfigurasi LCD.....	18
Tabel 2. 4 Spesifikasi Modul I2C LCD.....	19
Tabel 2. 5 Spesifikasi <i>Heater</i>	20
Tabel 3. 1 Rule Base suhu.....	25
Tabel 3.2 Tabel Kebutuhan Alat.....	30
Tabel 3. 3 Tabel Kebutuhan Bahan	30
Tabel 4. 1 Uji Fungsi Suhu Ruang 25 ⁰ C	41
Tabel 4. 2 Hasil Uji Fungsi Suhu <i>Heater</i> Dengan Alat Pemanding.....	45
Tabel 4. 3 Uji Fungsi Suhu <i>Heater</i> 35 ⁰ C.....	47
Tabel 4. 4 Uji Fungsi Suhu <i>Heater</i> 37 ⁰ C.....	51
Tabel 4. 5 Uji Fungsi Suhu <i>Heater</i> 42 ⁰ C.....	54
Tabel 4. 6 Uji Fungsi Driver <i>Heater</i>	57
Tabel 4. 7 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 35 ⁰ C	60
Tabel 4. 8 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 37 ⁰ C	64
Tabel 4. 9 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 42 ⁰ C	68
Tabel 4. 10 Pengujian Pulse Width Modulation PWM.....	72
Tabel 4. 11 uji Kinerja Keseluruhan.....	74

ABSTRAK

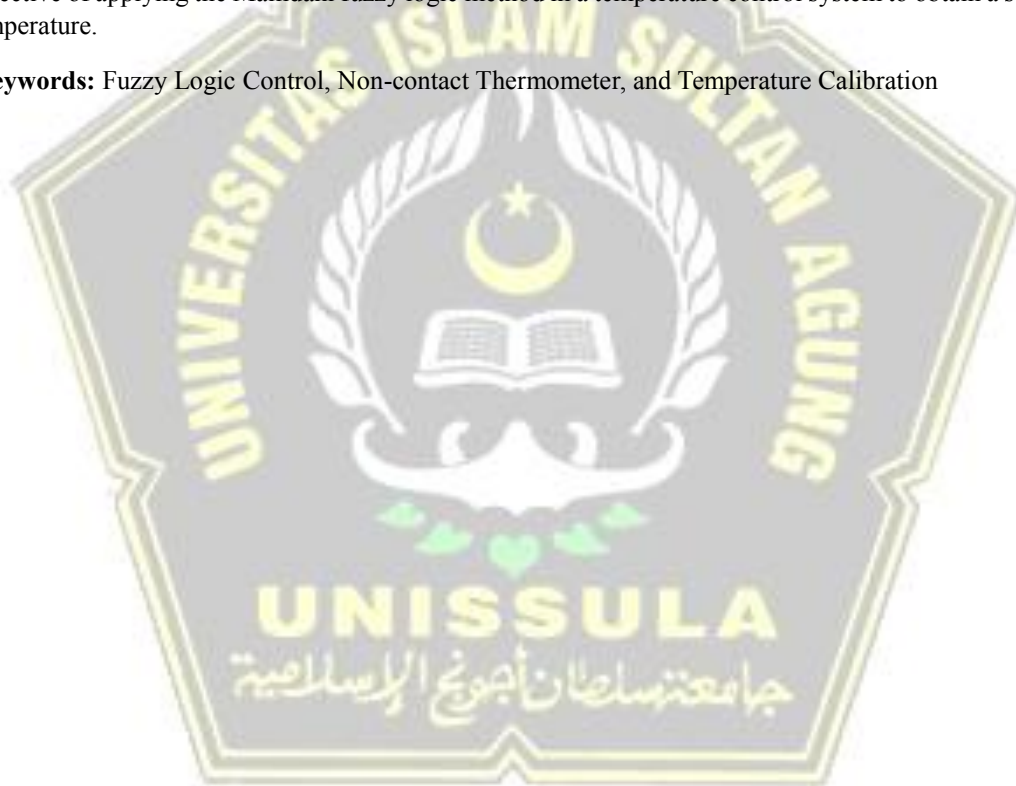
Peningkatan suhu tubuh adalah tanda umum dari berbagai kondisi medis; patologis yang paling umum adalah infeksi virus atau bakteri, termasuk SARS-CoV-2 dan influenza. Alat pengukur suhu tubuh yang akurat dan andal adalah sarana penting diagnosis dan pengelolaan kondisi ini. Sebuah termometer non-kontak memungkinkan pengukuran suhu tanpa kontak langsung, menyediakan cara yang lebih aman untuk memeriksa suhu dan mengurangi risiko penyebaran penyakit atau kontaminasi. Namun, untuk menjamin akurasi dan konsistensi pengukuran, diperlukan alat kalibrasi untuk memeriksa suhu termometer dan memastikan mereka beroperasi menurut standar yang tepat. Dalam penelitian ini, telah dilakukan pengembangan prototipe alat kalibrator termometer non kontak menggunakan sistem kontrol logika fuzzy Mamdani. Alat ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas proses kalibrasi termometer non kontak dibandingkan dengan metode konvensional yang memanaskan air dengan suhu tertentu. Fuzzy logic control mamdani diterapkan pada komponen Positive Temperature Coefficient untuk mengontrol suhu. Proses yang terdiri dari tahap fuzzifikasi, rule base, dan defuzzifikasi dilakukan untuk mendapatkan keluaran suhu yang terbaik. Berdasarkan hasil penelitian, alat kalibrator termometer non kontak yang telah dibuat dengan sistem kontrol logika fuzzy Mamdani dapat untuk mengkalibrasi termometer non kontak klinik dengan ketelitian $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ dalam rentang suhu pengujian (35°C , 39°C , dan 42°C). Sistem kontrol logika fuzzy Mamdani yang diterapkan pada alat kalibrator terbukti efektif dalam mengendalikan suhu selama proses kalibrasi. Pengembangan alat kalibrator termometer non berhasil mencapai tujuan penelitian, yaitu Mengaplikasikan Metode Logika Fuzzy Mamdani dalam Kontek Sistem Kontrol Suhu agar mendapatkan suhu yang stabil.

Kata kunci : Kendali Logika Fuzzy, Termometer Non kontak, dan Kalibrasi Suhu

ABSTRACT

Elevated body temperature is a common sign of various medical conditions, including viral or bacterial infections such as SARS-CoV-2 and influenza. Non-contact thermometers provide a safe way to measure temperature without direct contact, reducing the risk of spreading disease. However, measurement accuracy and consistency require proper calibration tools. This study developed a prototype of a non-contact thermometer calibrator using the Mamdani fuzzy logic control system. This tool is designed to improve the efficiency and flexibility of the calibration process compared to conventional methods that heat water. Mamdani fuzzy logic control is applied to the Positive Temperature Coefficient component to regulate temperature through fuzzification, rule base, and defuzzification stages. The results showed that the calibrator tool with the Mamdani fuzzy logic control system can calibrate a clinical non-contact thermometer with an accuracy of $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ over a temperature range of 35°C , 39°C , and 42°C . This system proved effective in controlling temperature during the calibration process, achieving the research objective of applying the Mamdani fuzzy logic method in a temperature control system to obtain a stable temperature.

Keywords: Fuzzy Logic Control, Non-contact Thermometer, and Temperature Calibration



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Peningkatan suhu tubuh atau demam bisa menjadi gejala umum suatu kondisi medis, seperti infeksi virus atau bakteri, dan SARSCoV-2 atau influenza. Penderita gejala demam yang tinggi dapat dikenali hanya dengan sentuhan tangan untuk membedakan suhu normal dan suhu tinggi, namun cara ini kurang akurat sehingga memerlukan alat pengukuran suhu tubuh. Alat pengukur suhu tubuh atau termometer yang umum digunakan saat ini adalah termometer kontak, yang harus dipasang pada tubuh manusia untuk digunakan. Selain termometer kontak, ada pula termometer non kontak yang jarak antara alat dengan benda yang diukur adalah 3-5 sentimeter [1]. Termometer non kontak memungkinkan pengukuran suhu suatu tubuh atau benda tanpa kontak langsung. Termometer non kontak dapat mengurangi risiko penyebaran penyakit dan kontaminasi serta cepat dalam membantu mendiagnosis pasien [2].

Pengukuran suhu menggunakan termometer non kontak memiliki keefektifan klinis bila dibandingkan dengan Termometer kontak yang saat ini sering digunakan dirumah sakit dan berbagai industri. Termometer non kontak diperlukan akurasi yang tinggi sehingga memerlukan alat kalibrator yang dapat menjamin keakuratan dan konsistensi hasil pengukuran. Kalibrasi merupakan proses penting untuk memastikan alat ukur beroperasi sesuai standar yang ditetapkan dengan membandingkan termometer pada alat kalibrator termometer non kontak. Tanpa kalibrasi yang tepat, hasil pengukuran bisa menjadi tidak akurat, yang dapat berdampak negatif pada keputusan atau mendiagnosis [1]. Untuk melakukan aktivitas kalibrasi dilakukan pada kondisi suhu ruangan 25 ± 5 . Suhu maksimal yang masih dapat diterima untuk aktivitas kalibrasi biasanya tidak lebih dari 30°C , Jika melebihi suhu 30°C dapat menyebabkan pengukuran yang tidak akurat karena efek *thermal* pada instrumen dan objek yang diukur [2].

Alat kalibrator termometer non-kontak sudah banyak beredar di pasaran, akan tetapi dari alat kalibrator tersebut masih menggunakan metode konvensional dengan cara memanaskan air pada suhu tertentu lalu dilakukan aktivitas pengukuran kalibrasi [3]. Hal tersebut dianggap kurang fleksibel dan seringkali membutuhkan waktu lebih lama untuk proses kalibrasinya. Kalibrator untuk termometer non-kontak yang dimaksud yaitu Bath kalibrasi dengan rentang suhu $35,5^{\circ}\text{C}$ - 42°C yang menggunakan cairan seperti air mungkin memerlukan penggantian cairan secara berkala dan perhatian terhadap kualitas cairan untuk mencegah korosi atau kontaminasi [4].

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan akan dilakukan penelitian dan pembuatan alat berjudul “Prototipe Alat Kalibrator Termometer Non kontak Klinik Menggunakan Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani”. Penelitian ini akan membahas tentang proses perancangan pengendali suhu menggunakan kendali Logika Fuzzy Mamdani sebab Metode Mamdani akan diaplikasikan *Positive Temperature Coefficient* (PTC) yang akan kontrol suhunya. Perancangan logika fuzzy berupa fuzzifikasi, *rule base*, dan defuzzifikasi yang diharapkan dapat memperoleh *Output* fuzzy terbaik dipilih untuk memberikan hasil suhu pada Prototipe Alat Kalibrator Termometer Non kontak dengan mengimplementasikan logika fuzzy sebagai kendali suhunya, Di sinilah peran sistem kendali logika fuzzy Mamdani menjadi relevan. Sistem kendali logika fuzzy ini diharapkan dapat mengendalikan suhu pada alat kalibrator sehingga dapat beroperasi stabil dan akurat.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dijabarkan perumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang prototipe alat kalibrator termometer non kontak klinik agar suhunya stabil?
2. Bagaimana sistem kontrol suhu logika fuzzy mamdani dapat diaplikasikan untuk mengatur rentang suhu 35°C , 37°C , dan 42°C pada alat kalibrator termometer non kontak?

1.3 Tujuan

Pembahasan dan pemaparan materi dalam penelitian ini bertujuan untuk :

1. Merancang prototipe alat kalibrator termometer non kontak klinik agar suhunya stabil.
2. Menerapkan sistem kontrol suhu logika fuzzy Mamdani untuk mengatur rentang suhu 35°C, 37°C, dan 42°C pada alat kalibrator termometer non kontak.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Implementasi sistem kontrol suhu Logika Fuzzy Mamdani akan dibatasi pada pengaturan *Positive Temperature Coefficient* (PTC) untuk mencapai suhu yang diinginkan.
2. Penelitian ini membatasi rentang suhu termometer non kontak yang akan dikalibrasi pada suhu 35°C, 37°C, dan 42°C.

1.5 Keaslian Penelitian

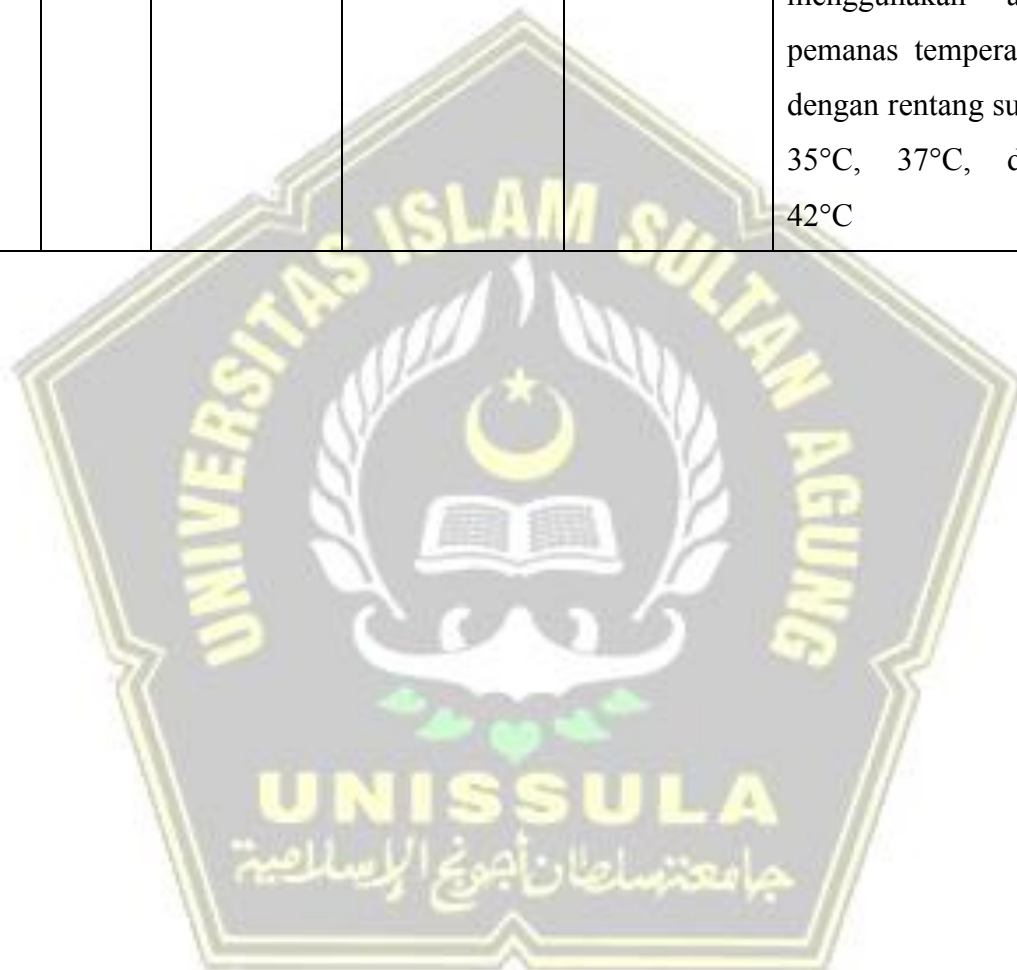
Sebelumnya sudah ada beberapa penelitian tentang alat kalibrator baik yang terkait perencanaan maupun penelitian terhadap alat kalibrator termometer non – kontak klinik. Pada penelitian-penelitian sebelumnya terkait alat kalibrator termometer non – kontak klinik, belum ada yang menggunakan Metode Logika Fuzzy Mamdani dalam Konteks Sistem Kontrol Suhu yang spesifik dalam melakukan pengaturan suhu. Untuk menjamin keaslian serta untuk membedakan dengan penelitian yang lain, dapat dijelaskan pada Tabel 1.1 Perbedaan dengan penelitian-penelitian sebelumnya.

Tabel 1. 1 Perbedaan dengan penelitian-penelitian sebelumnya.

NO	Tahun	Penulis	Judul	Metode	Hasil
1	2019	Hidayat Wiriadinata, dan Asep Insani	Kalibrasi Media Kalibrasi untuk Termometer Infrared Direct Reading yang Bekerja pada Panjang Gelombang (8-14) μm	Belum ditentukan metode yang digunakan	Sistem kalibrasi termometer infrared direct reading umumnya terdiri dari benda hitam (blackbody) sebagai media kalibrasi dan termometer kontak (termokopel atau Pt- 100) sebagai termometer standar. Namun, penggunaan termometer kontak tersebut dapat menyebabkan terjadinya kesalahan pengukuran karena adanya gradien suhu pada media kalibrasi. Penggunaan persamaan kalibrasi pada benda hitam untuk rentang 50 $^{\circ}\text{C}$ – 500 $^{\circ}\text{C}$ memberikan

					ketidakpastian antara 2,7 °C dan 5,7 °C
2	2021	Firmansyah Azharul, Rahmawati, Choiruddin, dan Wilarso	Rancang Bangun Alat Kalibrasi Pengukur Suhu Berbasis Digital Temperature Controller	Metode dalam penelitian ini menggunakan sistem pengendali close loop	Dari hasil penelitian yang dilakukan alat kalibrasi pengukur suhu mendapatkan data koreksi sebesar 0.1 °C. Alat kalibrasi dengan benda kerja didapatkan nilai 0.4 °C. Adapun hasil pengujian sesuai dengan fungsinya dengan menggunakan alat pemanas temperatur 50°C, 75°C, 100°C.
3	2024	Fakhrul Dewantoro	Prototipe Alat Kalibrator Termometer Non kontak Klinik Menggunakan Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani	Metode dalam penelitian ini menggunakan sistem pengendali Logika fuzzy mamdani	Diharapkan dapat mengendalikan suhu mendapatkan data koreksi sebesar ±0.5 °C. Alat kalibrasi dengan benda kerja didapatkan nilai 0.5 °C yang sebelumnya sudah di uji dengan termohigrometer

					dan termometer digital. Adapun hasil pengujian sesuai dengan fungsinya dengan menggunakan alat pemanas temperatur dengan rentang suhu 35°C, 37°C, dan 42°C
--	--	--	--	--	--



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Hidayat Wiriadinata dan Asep Insani, Melakukan penelitian tentang kalibrasi lingkungan kalibrasi termometer inframerah. Dalam penelitian ini, dibuat sistem kalibrasi termometer inframerah mencakup benda hitam sebagai media kalibrasi dan termometer kontak (termokopel atau Pt-100) sebagai standar termometer. Namun penggunaan termometer kontak dapat menyebabkan kesalahan pengukuran karena perbedaan suhu di lingkungan kalibrasi. Menggunakan persamaan kalibrasi benda hitam untuk rentang $50^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$ memberikan ketidakpastian antara $2,7^{\circ}\text{C}$ dan $5,7^{\circ}\text{C}$ [5].

Firmansyah Azharul, Rahmawati, Choiruddin, dan Wilarso, melakukan penelitian Rancang Bangun Alat Kalibrasi Pengukur Suhu Berbasis Digital Temperature Controller. Dalam penelitian ini, dibuat sistem Alat kalibrasi pengukuran suhu, menggunakan panci sebagai penangas air, dipanaskan sampai suhu tertentu, pemanas air ini menggunakan sistem pemanas yang dikontrol dengan pengatur suhu melalui kontak solid state relay. Di dalam penelitiannya penulis melakukan Dari hasil penelitian yang dilakukan alat kalibrasi pengukur suhu mendapatkan data Alat kalibrasi dengan benda kerja didapatkan nilai 0.4°C . Adapun hasil pengujian sesuai dengan fungsinya dengan menggunakan alat pemanas temperatur 50°C , 75°C , 100°C [6].

I. Pusnik, J. Bojkovski dan J. Drnovsek, melakukan penelitian *Development of a calibration bath for clinical termometers*. Dalam penelitian ini, dibuat sistem prototipe bath yang terbuat dari stainless steel dengan kapasitas 90 liter telah diuji untuk stabilitas dan homogenitas temperatur dalam rentang 35°C hingga 42°C . Uji emissivitas dan konfigurasi lainnya dilakukan untuk memastikan akurasi dan ketelitian proses kalibrasi.. Hasilnya, bath kalibrasi yang lebih kecil dan portabel dengan volume

15 liter telah dikembangkan, yang memenuhi semua persyaratan standar yang berbeda terkait kalibrasi termometer non-kontak dan kontak namun Bath kalibrasi yang menggunakan cairan seperti air mungkin memerlukan penggantian cairan secara berkala dan perhatian terhadap kualitas cairan untuk mencegah korosi atau kontaminasi[4].

P. D. Colaizzi, S. A. O'Shaughnessy, S. R. Evett melakukan penelitian *Self-calibrating Infrared Thermometer for Remote Monitoring in Cold Climates*. Dalam penelitian ini, dibuat sistem inframerah non-kontak termometer yang mampu melakukan kalibrasi pengukuran akurat di iklim dingin. Hal ini dicapai melalui penggunaan pemanas lensa untuk mencegahnya pembentukan embun beku dan pemblokiran energi inframerah, dan kalibrasi mandiri untuk memastikan bahwa kejutan termal yang disebabkan oleh pemanas tidak terjadi mempengaruhi keakuratan pengukuran. Aplikasi untuk ini termometer termasuk pemantauan rel kereta api dan jalan raya untuk mendeteksi es. Teknik kalibrasi mandiri yang dilaporkan ditunjukkan pada berhasil mengurangi kesalahan pengukuran hingga $\pm 1^{\circ}\text{C}$ dibandingkan dengan kesalahan lebih besar dari 20°C saat pemanas menyala bersepeda dalam operasi normal [7].

Xiaoqing Li dkk, melakukan penelitian *Design of a Measurement Error Calibration Device for Platinum Resistance Temperature Transmitter*. Dalam penelitian ini, dibuat sistem desain sebuah alat kalibrasi untuk mengukur kesalahan pengukuran pada alat pemancar suhu (temperature transmitter) yang menggunakan platinum resistance. Alat kalibrasi yang baru dirancang ini menggunakan mikrokontroler MCU MC9S12XS128 sebagai inti sistem. Sistem tersebut dilengkapi dengan perangkat keras yang terdiri dari sirkuit MCU minimum, sirkuit penggantian analog multi-channel, sirkuit kondisi sinyal, sirkuit LCD, sirkuit siaran suara, dan sirkuit pemulai. Perangkat lunak yang dikembangkan mencakup sub-program untuk inisialisasi, ADC, penyaringan digital, kontrol penggantian analog, tampilan LCD, dan

siaran suara. Alat ini dapat mengkalibrasi kesalahan pengukuran alat pemancar suhu secara otomatis dengan rentang suhu 0° hingga 150° dan akurasi 0.5% [8].

Ardelina Ramadhani, dkk, melakukan penelitian Perancangan Kalibrator Termometer Digital Menggunakan Media Air Berdasarkan Kontrol Pid Dan On/Off. Dalam penelitian ini, dibuat sistem media kalibrator termometer untuk membantu dalam pengecekan secara rutin termometer digital badan sesuai standar sebelum atau sesudah di gunakan pada selang periode tertentu. Perancangan kalibrator ini terdiri dari rangkaian *heater* air dan rangkaian sensor suhu LM35. hasil penelitian ini menunjukkan perancangan kalibrator termometer digital menggunakan media air dengan koreksi paling kecil menggunakan kontrol PID yaitu 0,1% perancangan kalibrator dengan menggunakan media air dengan kontrol pid dan on/off. Nilai koreksi terkecil pembacaan display terhadap setting suhu menggunakan kontrol PID adalah 1,1% untuk kontrol on/off nilai koreksi terkecil yaitu 1,8% [9].

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Termometer Non kontak

Termometer pertama ditemukan oleh Galileo hingga terus dikembangkan sampai saat ini dengan tujuan memberikan akurasi dan kemudahan dalam mengukur suhu tubuh manusia. Berkembangnya teknologi saat ini, terdapat beberapa termometer. termometer air raksa yang telah lama menjadi standar pengukuran suhu tubuh manusia di rumah maupun di klinik, lambat laun digantikan oleh termometer digital. Di Inggris, tiga jenis utama termometer pengukur suhu adalah termometer kontak elektronik, termometer kimia/inframerah, dan termometer waktu. Termometer inframerah merupakan suatu alat ukur yang mempunyai kemampuan mendeteksi suhu secara optis (saat benda diamati), mengukur radiasi energi radiasi inframerah dan mengGambarkannya dalam bentuk suhu. Termometer inframerah dapat digunakan untuk mengukur suhu gendang telinga, ketiak, atau saluran telinga. Hasil pengukuran suhu dapat dideteksi dalam waktu sekitar 1 detik. Termometer temporal menggunakan

pemindai inframerah untuk mengukur suhu arteri anterior [10], yang Terdapat pada Gambar 2.1 Termometer *Non kontak*.



Gambar 2. 1 Termometer *Non kontak*
Sumber; <https://www.blibli.com>

2.2.2 Alat Kalibrator Termometer *Non kontak*

Kalibrator termometer non-kontak adalah perangkat yang digunakan untuk mengkalibrasi atau mengatur pengaturan termometer non-kontak. Termometer non-kontak menggunakan teknologi inframerah untuk mengukur suhu suatu benda tanpa bersentuhan langsung dengan benda tersebut. Alat kalibrasi ini membantu memastikan termometer non-kontak memberikan pembacaan yang akurat dan konsisten. Dalam proses kalibrasi termometer non-kontak, pembacaan termometer dibandingkan dengan nilai suhu yang diketahui secara akurat sebagaimana ditentukan dalam standar referensi. Terdapat beberapa alat yang digunakan untuk kalibrasi termometer non-kontak diantaranya Black Body Calibrator dan Bath Kalibrasi.

Black Body Calibrator Alat ini adalah sumber radiasi yang dapat diatur suhu permukaannya dengan sangat tepat. *Black body calibrator* memberikan radiasi termal yang seragam pada suhu tertentu yang bisa divalidasi. *Bath* Kalibrasi merupakan Alat memungkinkan kalibrasi pada berbagai suhu dengan media cair atau padat yang bisa dipanaskan atau didinginkan sesuai kebutuhan kalibrasi. Dengan menggunakan kalibrator termometer non-kontak secara teratur, pengguna dapat memastikan bahwa

instrumen mereka memberikan hasil yang andal dan akurat [11], yang terdapat pada Gambar 2.2 Alat Kalibrator Termometer *Non kontak*

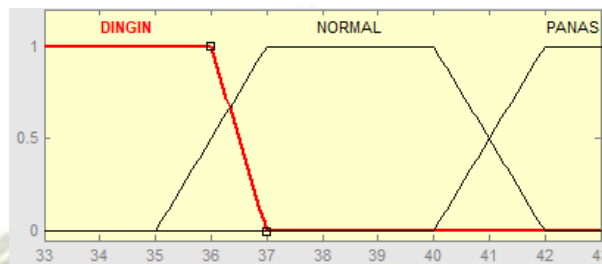


Gambar 2. 2 Alat Kalibrator Termometer *Non kontak*
Sumber: <https://www.fluke.com>

2.2.3 Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani

Logika fuzzy adalah metode yang digunakan untuk menghubungkan ruang input ke ruang output. Dalam logika fuzzy, suatu nilai hanya memiliki 2 kemungkinan, yaitu apakah merupakan anggota himpunan fuzzy atau tidak. Logika Fuzzy terdapat Himpunan fuzzy merupakan suatu kelompok yang mewakili suatu keadaan tertentu dalam suatu variabel fuzzy. Pada himpunan tegas setiap elemen dalam semestanya selalu ditentukan secara tegas apakah elemen itu merupakan anggota himpunan tersebut atau tidak. Namun dalam kenyataannya tidak semua himpunan didefinisikan secara tegas [12]. Logika fuzzy merupakan pendekatan yang digunakan dalam pengendalian atau kontrol sistem yang memungkinkan pengambilan keputusan yang tidak tepat-tepatan dan dapat menangani ketidakpastian (uncertainty) dalam data. Logika fuzzy terdiri dari tiga komponen utama: fuzifikasi, inferensi berbasis dari basis pengetahuan (knowledge base), dan defuzifikasi[13]. Beberapa kelebihan dari penggunaan fuzzy logic control (FLC) dibandingkan dengan kontrol konvensional seperti PID (Proportional-Integral-Derivative) control adalah FLC lebih efisien dan tangguh. FLC dapat mengikuti perubahan parameter dalam tanaman dengan baik.FLC mengkonsumsi energi yang lebih rendah.FLC dapat menangani ketidakpastian input

dengan efisiensi yang lebih baik. FLC dapat mengatasi kelemahan kontrol konvensional dengan menggunakan basis aturan yang memungkinkan manipulasi permukaan kontrol secara individual [14]. Variabel fuzzy merupakan variabel yang akan dibahas dalam suatu sistem fuzzy yaitu suhu yang dapat dilihat pada Gambar 2.3 himpunan suhu.



Gambar 2. 3 Himpunan Suhu

Kontrol fuzzy memiliki rentang himpunan fuzzy, yaitu nilai total yang diperbolehkan untuk digunakan dalam himpunan fuzzy, yang dinyatakan sebagai kurva. Kurva yang menunjukkan asosiasi titik input data dengan nilai keanggotaannya antara 0 dan 1 disebut fungsi keanggotaan. Pendekatan logika fuzzy diimplementasikan dalam tiga cara. Langkah-langkah kontrol fuzzy adalah fuzzifikasi, evaluasi aturan/aturan dasar, dan defuzzifikasi. Kekaburan adalah langkah pertama dalam komputasi fuzzy, yaitu konversi input yang nilai kebenarannya pasti ke dalam bentuk input fuzzy berupa tingkat keanggotaan/tingkat kebenaran. Inferensi adalah penalaran menggunakan input fuzzy yang telah ditentukan dan aturan fuzzy untuk menghasilkan *output* fuzzy [15]. Secara sintaks, suatu *fuzzy rule* (aturan fuzzy) dituliskan sebagai berikut:

IF antecedent THEN consequent

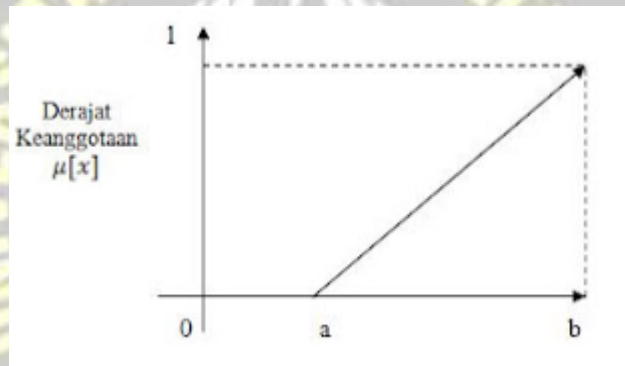
Penelitian ini akan dibahas tentang pengambilan keputusan pada pengendalian suhu menggunakan metode Mamdani. Sistem ini berfungsi untuk mengambil keputusan melalui proses tertentu dengan menggunakan aturan inferensi berdasarkan logika fuzzy. Nilai keanggotaan, juga dikenal sebagai fungsi keanggotaan, adalah kurva yang memproyeksikan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaan dengan

interval 0 hingga 1. Pendekatan fungsi adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghitung nilai keanggotaan. Beberapa fungsinya dapat digunakan, seperti :

a. Representasi Linear

Pemetaan input ke derajat keanggotaannya diwakili sebagai garis lurus dalam representasi linear. Suatu konsep yang kurang jelas dapat didekati dengan cara ini. Dua keadaan himpunan fuzzy yang linear terjadi.

- 1) representasi linear naik. Dalam representasi ini, himpunan naik dimulai pada nilai domain dengan derajat keanggotaan Nol [0] dan kemudian naik ke domain dengan derajat keanggotaan lebih tinggi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4



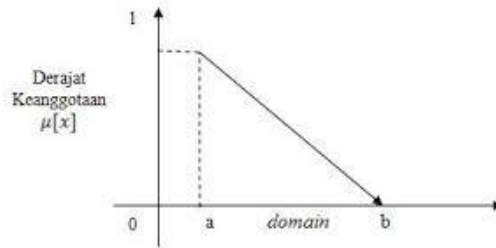
Gambar 2. 4 Grafik Representasi linear turun,

Gambar 2.4 Gambar Grafik representasi linear turun,dapat ditemukan persamaan matematisnya seperti dibawah ini,

$$\mu_{[x]} = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & x \geq b \end{cases} \dots\dots\dots [2-1]$$

- 2) Representasi linear turun

Dalam representasi linear turun, domain yang memiliki derajat keanggotaan tertinggi bergerak menuju himpunan yang mengalami penurunan pada nilai tertinggi. lebih rendah daripada yang digambarkan pada Gambar 2.5



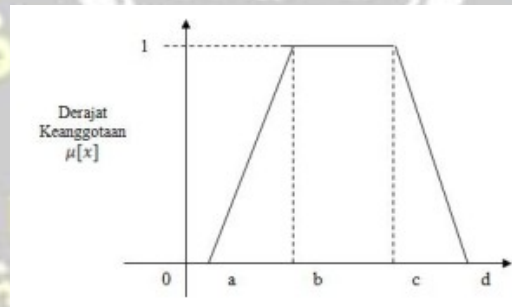
Gambar 2. 5 Representasi linear turun

Representasi linear turun dapat ditemukan persamaan matematisnya seperti dibawah ini,

$$\mu_{[x]} = \begin{cases} 1 & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 0 & x \geq b \end{cases} \dots\dots\dots [2-2]$$

b. Representasi Kurva Trapesium

Representasi kurva trapesium terdapat pada Gambar 2.6. Kurva trapesium pada dasarnya menyerupai bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1. Representasi fungsi keanggotaan untuk kurva trapesium adalah sebagai berikut.



Gambar 2. 6 Representasi Kurva Trapesium

Representasi Kurva Trapesium dapat ditemukan persamaan matematisnya seperti dibawah ini,

$$\mu_{[x]} = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & c \leq x \leq d \end{cases} \dots\dots\dots [2-3]$$

Defuzzifikasi mengubah output fuzzy menjadi nilai tetap berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Defuzzifikasi adalah metode yang penting dalam pemodelan sistem fuzzy. Ada tiga metode dalam sistem inferensi fuzzy yang sering digunakan, yaitu metode Mamdani, metode Mamdani, dan metode Takagi Sugeno. Dalam penelitian ini akan dibahas kontrol suhu menggunakan metode Logika Fuzzy Mamdani. Berikut persamaan matematis defuzzifikasi

$$Z = \frac{\sum_{j=1}^n Z_j \mu(Z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(Z_j)} \dots\dots\dots[2-4]$$

- Z = solusi crisp yang diperoleh
- Z_j = bilangan domain pada himpunan fuzzy
- μ(Z_j) = derajat keanggotaan domain pada himpunan fuzzy

2.2.4 Sensor MLX 90614

Sensor MLX 90614 merupakan sensor infra merah non kontak yang digunakan untuk mengukur suhu suatu benda tanpa adanya kontak fisik dengan benda tersebut. Sensor ini dikembangkan oleh Melexis dan sering digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem termal, perangkat pengendalian lingkungan, dan perangkat kesehatan. Sensor MLX90614 memiliki dua keluaran yaitu suhu ruangan dan suhu benda. Modul sensor MLX90614 memiliki sirkuit detektor termopile sensitif IR dan ASIC pemrosesan sinyal yang terintegrasi ke dalam paket sensor TO-39. Pengkondisian sinyal dalam bentuk penguat kebisingan rendah, ADC 17-bit, dan unit DSP yang kuat memastikan akurasi dan resolusi termometer yang tinggi. Sensor dikalibrasi dengan keluaran SMBus digital yang mengukur suhu total dengan resolusi 0,02 °C. Sensor dapat mengukur suhu dari -40 hingga 125 °C pada suhu kamar dan dari -70 hingga 380 °C pada suhu objek. Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada suhu 26 °C - 40°C, rasio error sensor MLX90614 pada jarak 3-5 cm dari sensor ke target adalah 0-2%, dalam hal ini error suhu ± 2°C. Kalibrator sensor suhu tubuh C dengan termokopel

yang memungkinkan sensor MLX90614 mengukur suhu benda, baik orang maupun benda, tanpa kontak[16], yang terdapat pada Gambar 2.7 dan Tabel 2.1 berikut.



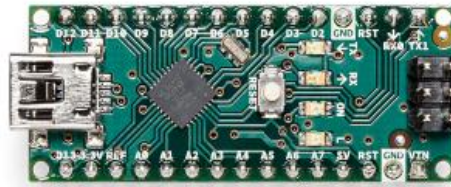
Gambar 2. 7 sensor MLX90614
Sumber : id.szks-kuongshun.com

Tabel 2. 1 spesifikasi sensor MLX90614

<i>Operating temperature range</i>	<i>-40°C-125°C</i>
<i>Object temperature range</i>	<i>70-380°C</i>
<i>Accurray</i>	<i>+/-0.5°C at room temperature +/- 0.1°C for medical version</i>
<i>Resolution</i>	<i>0.02°C with SMBus 10bit PWM from 0.1°C LSB internal</i>
<i>Operating Voltage</i>	<i>3-5 VOLT</i>

2.2.5 Mikrokontroler

Arduino Nano adalah papan tempat memotong roti klasik Arduino yang dirancang ramah dengan dimensi terkecil. Arduino Nano dilengkapi dengan pin header yang memungkinkan pemasangan mudah ke papan tempat memotong roti dan dilengkapi dengan konektor USB Mini-B. Papan Arduino Nano memiliki IC ATmega328 clock pada frekuensi 16 MHz menampilkan fungsi yang kurang lebih sama dengan Arduino Duemilanove. Papan menawarkan 22 digital pin input/output dan 8 pin analog. Arduino Nano dilengkapi dengan program boatloader, sehingga programmer dapat langsung dapat mengupload kode ke board Arduino Nano tanpa melalui board perantara atau hardware lain [17]. Bentuk fisik dan deskripsi pin dari Arduino Nano ditunjukkan pada Gambar 2.8 dan spesifikasi Arduino Nano dapat dilihat pada Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Nano



Gambar 2. 8 Arduino Nano

Sumber: <https://docs.arduino.cc/>

Tabel 2. 2 pin konfigurasi Arduino Nano

Microkontroler	ATmega328
Tegangan operasi	5V
Input tegangan (<i>recommended</i>)	7-12V
Input tegangan (limit)	6-20V
Digital I/O Pin	6 PWM Output, dan 22 Digital
Analog Input Pin	8 pin analog
arus DC per I/O Pin	20 mA
arus DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 kB
SRAM	2 kB
EEPROM	1 kB
Clock Speed	16 MHz
LED BUILTIN	13
Panjang	43,2 mm
Lebar	18 mm

2.2.6 DISPLAY LCD 20X4

LCD (*Liquid crystal display*) 20x4 adalah tampilan teknologi logika CMOS yang memantulkan cahaya sekitar untuk penerangan depan atau memancarkan cahaya dari lampu belakang. LCD 20x4 menampilkan informasi berupa karakter, huruf dan angka pada penampil LCD (*Liquid crystal display*) 20x4 memiliki 16 pin data yang hanya digunakan 10 dan dapat menampilkan hingga 80 karakter yang terdiri dari 4 baris masing-masing 20 karakter [18]. diperlihatkan dalam Gambar 2.7. dan pin konfigurasi LCD ditunjukkan oleh Tabel 2.9



Gambar 2. 9 LCD 20X4

Tabel 2. 3 pin konfigurasi LCD

Pin No.	Name	Description
1	GND	Ground
2	VCC	Supply Voltage +5 V
3	VO	Kontras
4	RS	<i>H/L register</i>
5	R/W	<i>H/L read/write sinyal</i>
6	E	<i>Enable</i>
7 sampai 14	D0 sampai D7	Data
15	VB1	Backlight +5V
16	VB0	Backlight ground

2.2.7 Modul I2C LCD

Modul I2C LCD merupakan modul LCD yang dikendalikan secara serial sinkron dengan protokol I2C/IIC Inter Integrated Circuit. Modul I2C adalah komunikasi serial dua arah yang menggunakan saluran yang dirancang khusus untuk mengirim dan menerima data. Sistem LCD I2C terdiri dari SCL (Serial Clock) dan SDA (Serial Data) yang mentransfer data antara I2C dan pengontrol [19]. Bentuk fisik dan deskripsi pin dari Modul I2C LCD ditunjukkan pada Gambar 2.10 dan spesifikasi Modul I2C LCD dapat dilihat pada Tabel 2.4 Spesifikasi Modul I2C LCD.



Gambar 2. 10 Modul I2C LCD

Tabel 2. 4 Spesifikasi Modul I2C LCD

Tegangan operasi	5V
Panjang	41.5mm
Lebar	19 mm
Tinggi	15.3 mm
Device Address	0x27 atau 0x3F

2.2.8 Heater PTC

Heater Positive Temperature Coefficient (PTC) sering juga disebut elemen atau pemanas yang memancarkan panas atau menyebabkan tubuh lain untuk mencapai suhu yang lebih tinggi. *Heater* sebagai alat yang digunakan untuk mengubah besaran listrik menjadi besaran kalor (panas). Sumber panas elemen itu didapatkan dari kawat / tembaga yang mempunyai tahanan listrik tinggi (*Resistance Wire*) dengan tegangan 5 VDC. *Heater* ini cocok digunakan untuk pemanas suhu pada *Heater* hangat [20]. Bentuk fisik dan deskripsi pin dari *Heater* ditunjukkan pada Gambar 2.11 dan spesifikasi *Heater* dapat dilihat pada Tabel 2.5 Spesifikasi *Heater*.



Gambar 2. 11 Heater PTC

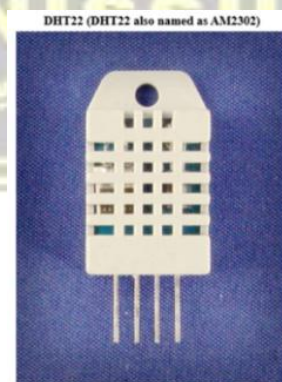
Sumber: www.ubuy.co.id/id

Tabel 2. 5 Spesifikasi *Heater*

Tegangan operasi	12V
Panjang	50 mm
Lebar	50 mm
Arus	3A

2.2.9 Sensor DHT 22

Terdapat berbagai jenis sensor yang bisa digunakan untuk mengukur suhu ruangan, salah satunya adalah DHT22. DHT22, atau dikenal juga sebagai AM2302, adalah sensor digital yang mengukur kelembapan dan suhu. Sensor ini terdiri dari elemen penginderaan kelembapan kapasitif dan termistor untuk penginderaan suhu. Untuk pengukuran suhu, sensor DHT22 menggunakan termistor NTC (Negative Temperature Coefficient) yang mengubah resistansi berdasarkan suhu. Termistor ini adalah resistor yang sensitif terhadap suhu; perubahan suhu mengakibatkan perubahan nilai resistansi, yang kemudian dikonversi menjadi sinyal digital. Dengan kombinasi ini, DHT22 menjadi pilihan ideal untuk berbagai aplikasi, termasuk pengukuran suhu ruangan [21]. Sensor ini digambarkan pada Gambar 2.12, sedangkan spesifikasinya tercantum pada Tabel 2.6. Keunggulan DHT22 dalam keakuratan dan keandalannya membuatnya cocok untuk berbagai kebutuhan pengukuran suhu dan kelembapan.



Gambar 2. 12 Sensor DHT 22

Sumber : <https://www.sparkfun.com>

Tabel 2. 6 Spesifikasi sensor DHT 22

Model DHT22	DHT22
Sumber Daya listrik	3.3-6V DC
Sinyal keluaran	digital signal via single-bus
Elemen penginderaan	Polymer kapasitor
Jangkauan operasi	Kelembaban 0-100%RH; Suhu -40~80Celsius
Ketepatan	Kelembaban +-2%RH(Max +-5%RH); Suhu <+-0.5Celsius
Resolusi atau sensitivitas	Kelembaban 0.1%RH; Suhu 0.1Celsius
Repeatability	Kelembaban +-1%RH; Suhu +-0.2Celsius
Histeresis kelembaban	Kelembaban hysteresis +-0.3%RH
Stabilitas Jangka Panjang	Long-term Stability +-0.5%RH/year
Periode penginderaan	Sensing period Average: 2s
Interchangeability	Interchangeability fully interchangeable
Ukuran	Ukuran terkecil 14*18*5.5mm; Ukuran besar 22*28*5mm

2.2.10 *Pulse Width Modulation (PWM)*

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan teknik yang digunakan untuk menghasilkan sinyal analog secara digital. Dalam konteks Arduino, PWM memungkinkan perangkat seperti LED dan motor dikontrol dengan memvariasikan lebar pulsa sinyal digital. Sinyal ini beroperasi dengan menghidupkan dan mematikan output frekuensi tinggi, sehingga menciptakan efek seolah-olah ada tegangan analog yang bervariasi antara 0 V dan Vcc (5 V untuk Arduino UNO yang beroperasi dengan mengubah skala waktu di mana sinyal tersebut berada). dalam keadaan “on” dibandingkan dengan waktu “off”. Tingkat ini disebut siklus kerja, yang dinyatakan dalam persentase. Misalnya, siklus kerja 50 berarti sinyal menyala separuh waktu, sedangkan 100 berarti sinyal selalu menyala. Implementasi PWM pada Arduino menyediakan fungsi `analogWrite()` untuk menghasilkan sinyal PWM[22]. Fungsi ini menerima dua parameter: nomor pin dan nilai dari 0 hingga 255, di mana

0 berarti tidak ada keluaran (0 V) dan 255 berarti keluaran penuh (5 V). PWM (Pulse Wide Modulation) menggunakan rumus untuk menghitung siklus kerja sebagai rasio waktu sinyal “ON” terhadap total periode sinyal. Rumusnya adalah:

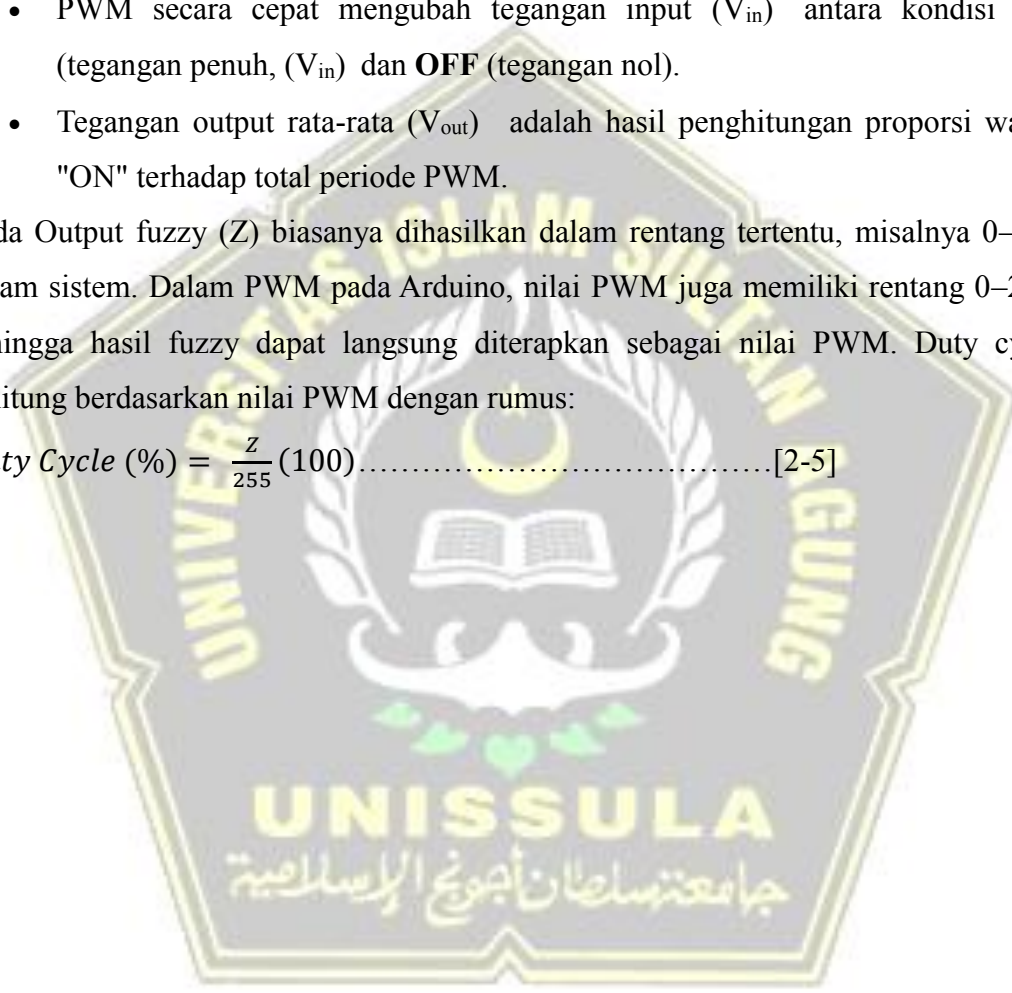
$$V_{out} = Duty\ Cycle \times V_{in}$$

Cara Kerja

- PWM secara cepat mengubah tegangan input (V_{in}) antara kondisi **ON** (tegangan penuh, (V_{in}) dan **OFF** (tegangan nol).
- Tegangan output rata-rata (V_{out}) adalah hasil penghitungan proporsi waktu "ON" terhadap total periode PWM.

Pada Output fuzzy (Z) biasanya dihasilkan dalam rentang tertentu, misalnya 0–255 dalam sistem. Dalam PWM pada Arduino, nilai PWM juga memiliki rentang 0–255, sehingga hasil fuzzy dapat langsung diterapkan sebagai nilai PWM. Duty cycle dihitung berdasarkan nilai PWM dengan rumus:

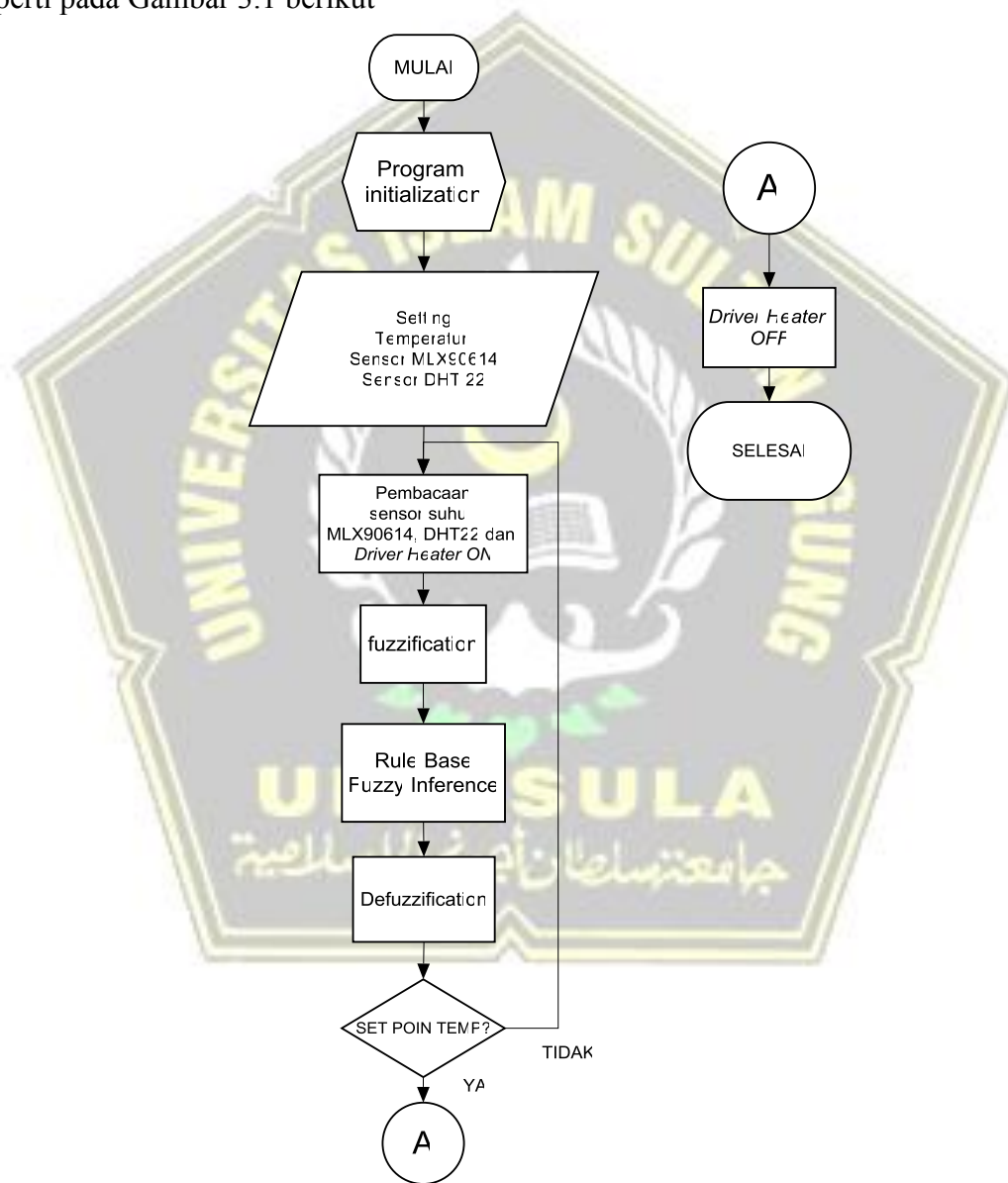
$$Duty\ Cycle\ (\%) = \frac{Z}{255} (100) \dots\dots\dots [2-5]$$



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

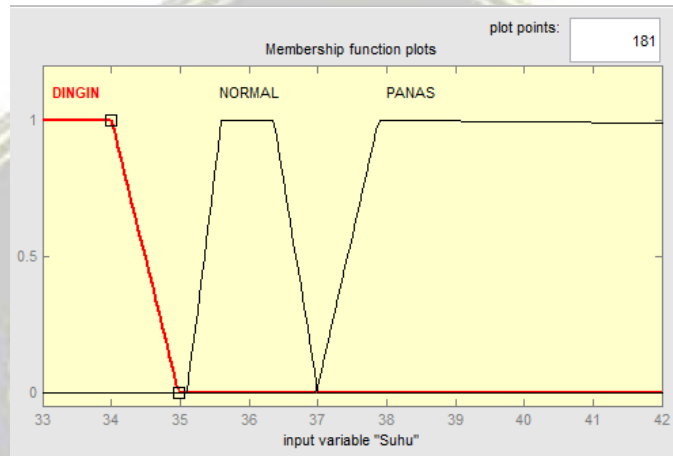
3.1 Model Penelitian

Model penelitian yang dilakukan dapat ditampilkan dalam bentuk flowchart seperti pada Gambar 3.1 berikut

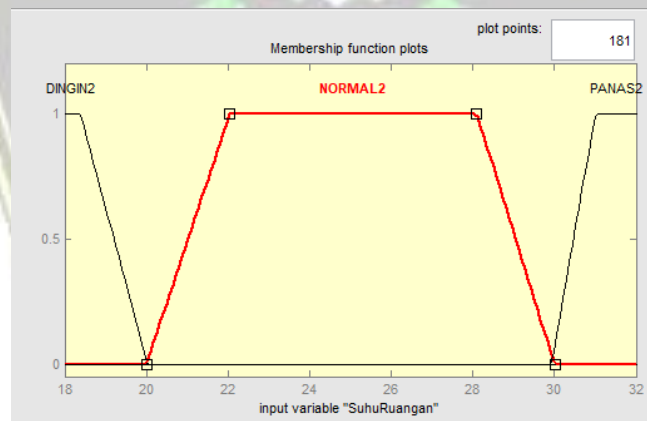


Gambar 3. 1 Model penelitian

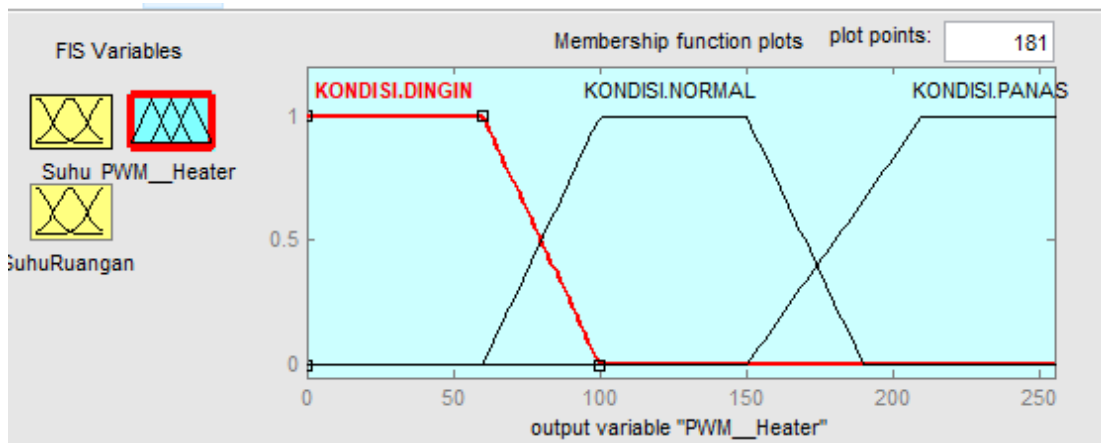
Sistem kendali suhu pada *Heater* menggunakan pendekatan logika fuzzy yang diimplementasikan dalam tiga tahapan, yakni: fuzzifikasi, evaluasi *rule base* (inferensi), dan defuzzifikasi. Fuzzifikasi merupakan fase pertama dari perhitungan fuzzy, yaitu mengubah masukan-masukan himpunan fuzzy yang nilai kebenarannya bersifat pasti ke dalam bentuk fuzzy input yang berupa tingkat keanggotaan / tingkat kebenaran. Setelah dilakukan pendekatan fuzzy output yang dihasilkan berupa display menampilkan data, lampu indikator hidup, Driver *heater* hidup. Berikut Gambar 3.2 Fungsi keanggotaan suhu, Gambar 3.3 Fungsi keanggotaan *heater* dan Tabel 3.1 *Rule*



Gambar 3. 2 Fungsi keanggotaan suhu



Gambar 3. 3 Fungsi keanggotaan suhu ruangan



Gambar 3.4 Fungsi keanggotaan heater

Tabel 3. 1 Rule Base suhu

No	Input Pembacaan sensor suhu	Input Pembacaan sensor suhu ruangan	Output Heater	Rentang sensor suhu (Celcius)	Rentang sensor suhu ruangan (Celcius)
1	Dingin	Dingin	kondisi Dingin	$x \leq 35$	$x \leq 20$
2	Dingin	Normal	kondisi Dingin	$x \leq 35$	$x \leq 20$
3	Dingin	Panas	kondisi Normal	$x \leq 35$	$x \leq 20$
4	Normal	Dingin	kondisi Dingin	$35 \leq x \leq 37$	$20 \leq x \leq 30$
5	Normal	Normal	kondisi Normal	$35 \leq x \leq 37$	$20 \leq x \leq 30$
6	Normal	Panas	kondisi Panas	$35 \leq x \leq 37$	$20 \leq x \leq 30$
7	Panas	Dingin	kondisi Normal	$37 \leq x \leq 42$	$30 \leq x \leq 32$
8	Panas	Normal	kondisi Panas	$37 \leq x \leq 42$	$30 \leq x \leq 32$
9	Panas	Panas	kondisi Panas	$37 \leq x \leq 42$	$30 \leq x \leq 32$

Setelah melakukan fuzzifikasi tahapan selanjutnya adalah inferensi. Inferensi adalah melakukan penalaran menggunakan fuzzy input dan fuzzy rules yang telah

ditentukan sehingga menghasilkan fuzzy *output*. Dalam penelitian ini akan dibahas tentang pengambilan keputusan pada pengendalian suhu menggunakan metode Mamdani. Inferensi logika fuzzy pada kendali suhu dapat dilihat pada persamaan matematisnya dibawah ini,

$$\mu_{Suhu\ dingin}[x] = \begin{cases} 1 & x \leq 35 \\ \frac{37-x}{37-35} & 35 \leq x \leq 37 \\ 0 & x \geq 37 \end{cases}$$

$$\mu_{Suhu\ normal}[x] = \begin{cases} 0 & x \leq 35 \\ \frac{x-35}{37-35} & 35 \leq x \leq 37 \\ 1 & 37 \leq x \leq 40 \\ \frac{41-x}{41-40} & 40 \leq x \leq 41 \end{cases}$$

$$\mu_{Suhu\ panas}[x] = \begin{cases} 0 & x \leq 40 \\ \frac{x-40}{41-40} & 40 \leq x \leq 41 \\ 1 & x \geq 41 \end{cases}$$

$$\mu_{Suhu\ Ruang\ dingin}[x] = \begin{cases} 1 & x \leq 15 \\ \frac{20-x}{20-15} & 15 \leq x \leq 20 \\ 0 & x \geq 20 \end{cases}$$

$$\mu_{Suhu\ Ruang\ normal}[x] = \begin{cases} 0 & x \leq 15 \\ \frac{x-15}{20-15} & 15 \leq x \leq 20 \\ 1 & 20 \leq x \leq 25 \\ \frac{30-x}{30-25} & 25 \leq x \leq 30 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Suhu Ruangan panas}}[x] = \begin{cases} 0 & x \leq 25 \\ \frac{x-25}{30-25} & 25 \leq x \leq 30 \\ 1 & x \geq 30 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Heater dingin}}[x] = \begin{cases} 1 & x \leq 60 \\ \frac{100-x}{100-40} & 60 \leq x \leq 100 \\ 0 & x \geq 100 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Heater Sedang/normal}}[x] = \begin{cases} 0 & x \leq 60 \\ \frac{x-60}{100-40} & 60 \leq x \leq 100 \\ 1 & 150 \leq x \leq 190 \\ \frac{190-x}{190-100} & x \geq 190 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Heater panas}}[x] = \begin{cases} 0 & x \leq 150 \\ \frac{x-150}{210-150} & 150 \leq x \leq 210 \\ 1 & x \geq 210 \end{cases}$$

Proses Defuzzyfikasi dilakukan setelah langkah sebelumnya yaitu yaitu fuzzifikasi (mengubah nilai crisp menjadi fuzzy) dan evaluasi aturan (rule evaluation). Dalam tahap ini, output yang dihasilkan dari inferensi fuzzy harus dikonversi kembali ke bentuk yang dapat dimengerti dan diterapkan dalam sistem, seperti pengendalian motor atau pengaturan suhu. Pada penelitian ini menggunakan metode *centroid* dalam proses defuzzifikasinya. Dalam penelitian ini akan dibahas kontrol suhu menggunakan metode Logika Fuzzy Mamdani. Berikut persamaan matematis defuzzifikasi dengan menggunakan metode *centroid*. Berikut persamaan matematis defuzzifikasi :

$$Z = \frac{\sum_{j=1}^n Z_j \mu(Z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(Z_j)}$$

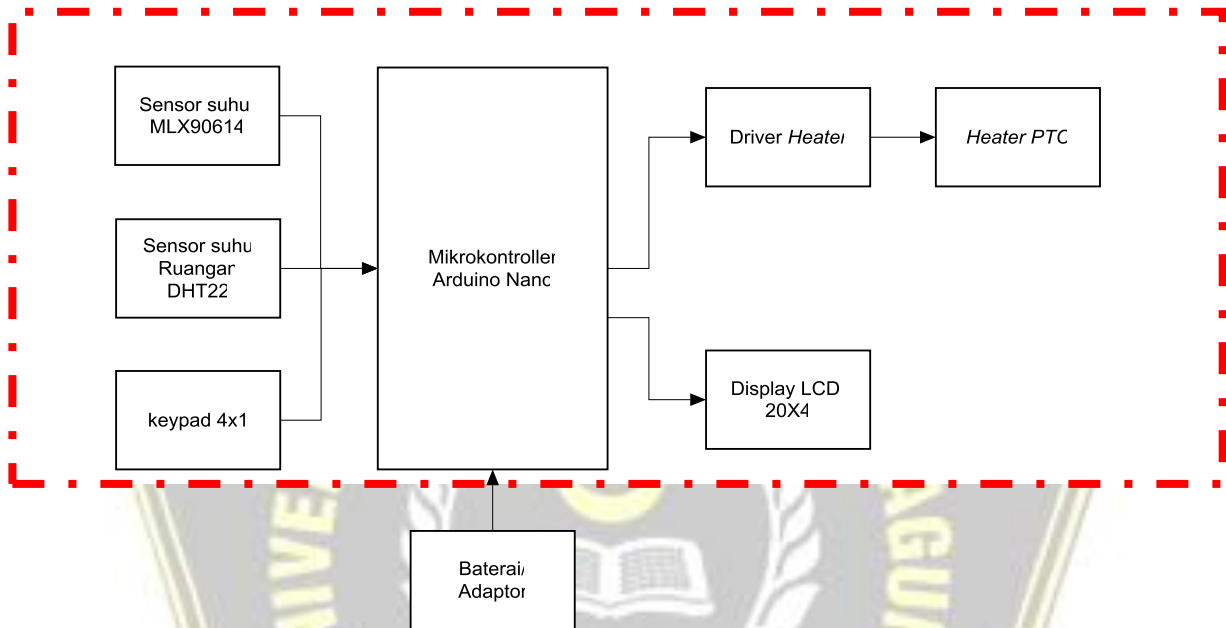
Z = solusi crisp yang diperoleh

Z_j = bilangan domain pada metode *centroid* himpunan fuzzy

$\mu(Z_j)$ = derajat keanggotaan domain pada himpunan fuzzy

3.2 Diagram Blok

Berikut merupakan blok diagram alir sistem Prototipe Alat Kalibrator Termometer Non kontak Klinik Menggunakan Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani yang dibuat oleh penulis



Gambar 3. 5 diagram Blok

Daya sumber didapatkan dari Baterai/ adaptor 12V ke mikrokontroler Arduino Nano untuk sensor suhu MLX90614 dan DHT22 mendapat *supply* 5V dari arduino, driver *Heater* dan *Heater*. Sensor suhu MLX90614 dipasang di bagian depan *heater* kemudian sensor ini akan membaca suhu dari *heater* ke mikrokontroler Arduino Nano. Blok mikrokontroler Arduino Nano akan memproses data yang diterima oleh sensor suhu MLX90614, output mikrokontroler di sambungkan ke *heater* sehingga aktif atau tidaknya driver *heater* tergantung dari kodingan program dari ouput mikrokontroler Arduino Nano. Data yang berupa suhu dan setpoint suhu dari pemrosesan akan tertampil pada display Display Lcd 20x4.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Metode analisis data ditujukan guna melihat apakah data yang diperoleh sudah sesuai yang diinginkan atau belum. Dalam pengambilan data menggunakan teknik analisa data melihat nilai yang didapat pada saat pengukuran.

3.3.1 Rata-rata

Rata-rata adalah nilai atau hasil pembagian jumlah data. Pengumpulan data dilakukan dengan cara diukur sesuai dengan data yang dibutuhkan kemudian dihitung

$$\text{Rata-rata } (\bar{X}) = \frac{\sum Xn}{n}$$

$\sum Xn$ = Jumlah data ke-n ($X_1+X_2+X_3...X_n$)

n = banyak data (1,2,3.....n)

3.3.2 Simpangan

Simpangan adalah selisih dari rata-rata yang diukur dengan menggunakan alat pembanding kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Simpangan = Nilai Modul – Nilai Pembanding

Keterangan nilai :

Nilai Modul = Nilai yang didapat dari pengujian alat (Prototipe)

Nilai Pembanding = Nilai acuan yang akan di jadikan sebagai pembanding.

3.3.3 Kesalahan relative

Kesalahan relatif adalah persentase nilai deviasi (kesalahan) terhadap nilai yang diinginkan, dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kesalahan Relatif: } \frac{X \text{ alat ukur} - X \text{ alat thesis}}{X \text{ alat ukur}} \times 100\%$$

Keterangan :

X modul = Rata-rata alat thesis.

X alat ukur = Rata-rata alat ukur pembanding.

3.4 Alat dan bahan

3.4.1 Alat

Pada proses pembuatan prototipe alat kalibrator termometer non kontak klinik menggunakan sistem kontrol logika fuzzy mamdani membutuhkan peralatan tertentu. Berikut merupakan Tabel 3.2 peralatan yang akan digunakan dalam pembuatan Alat

Tabel 3.2 Tabel Kebutuhan Alat

NO	Alat	Jumlah	Spesifikasi
1	Bor dan Mata Bor PCB	1 Set	1mm dan 3mm
2	PCB	1 Buah	Fiber
3	Solder	1 Buah	80 Watt GOAT
4	Gerinda Potong	1 Buah	Bosch
5	Laptop/PC	1 Buah	Core I5 WIN 10
6	Timah	1 Buah	Paragon
7	Pelarut PCB HCL dan H2O2	1 Buah	Kadar 33%
8	<i>Tool Set</i>	1 Set	Cadik
9	Tiner	1 Buah	Impala

3.4.2 Bahan

Pada proses pembuatan prototipe alat kalibrator termometer non kontak klinik menggunakan sistem kontrol logika fuzzy mamdani membutuhkan bahan tertentu. Berikut merupakan Tabel 3.3 bahan yang akan digunakan dalam pembuatan Alat .

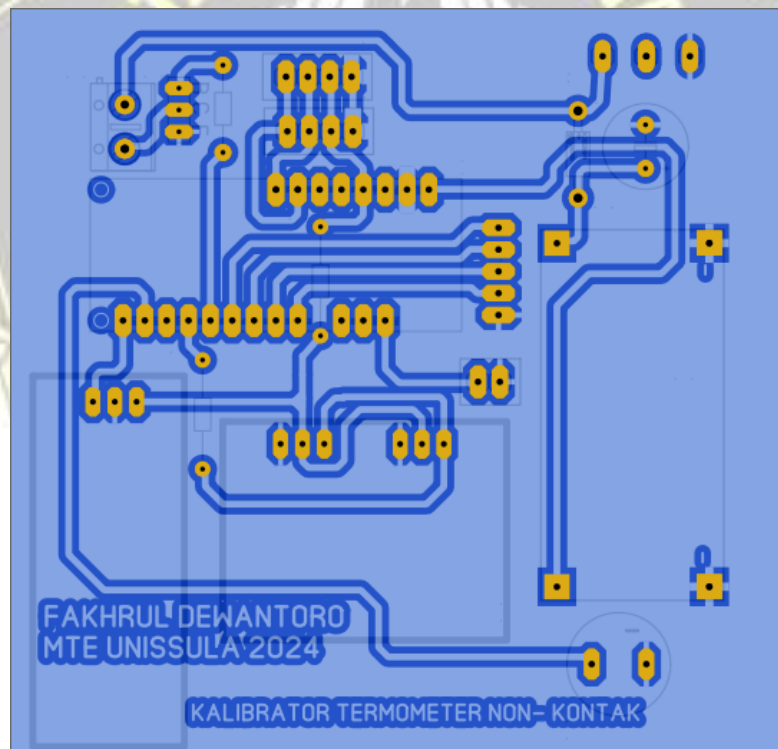
Tabel 3. 3 Tabel Kebutuhan Bahan

NO	Bahan	Jumlah	Spesifikasi
1	Sensor Suhu	1 Buah	MLX90614
2	Sensor Suhu Ruangan	1 Buah	DHT22
3	Arduino	1 Buah	Nano
4	LED	1 Buah	20mm
5	Pushbutton	1 Buah	Membran 4x1
6	Mosfet	1 Buah	IRF520
7	Display <i>crystal</i>	1 Buah	Lcd 20x4
8	<i>Heater</i>	1 Buah	<i>Heater</i> DC 12v
9	Resistor	Secukupnya	1k dan 330 Ohm

10	Dioda	Secukupnya	1n4002
11	Adaptor	1 Buah	12V/ 5A
12	IC Regulator	1 Buah	7805
13	Kapasitor	Secukupnya	1000uF
14	Relay	1 Buah	SPDT/ 5v

3.5 Perancangan Rangkaian Perangkat Keras

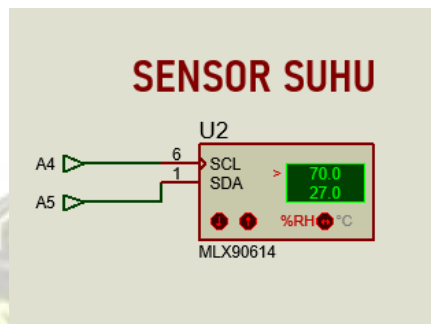
Pada perancangan perangkat keras di pembuatan prototipe alat kalibrator termometer non kontak klinik menggunakan sistem kontrol logika fuzzy mamdani terdapat beberapa rangkaian yang telah peneliti rancang seperti, rangkaian sensor suhu, sensor suhu ruangan, rangkaian driver *heater*, rangkaian led indikator, dan rangkaian Keypad. Berikut merupakan rangkaian keseluruhan prototipe alat kalibrator termometer non kontak klinik menggunakan sistem kontrol logika fuzzy mamdani. Desain PCB dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan Di bawah ini.



Gambar 3. 6 Desain PCB

3.5.1 Rangkaian Sensor Suhu

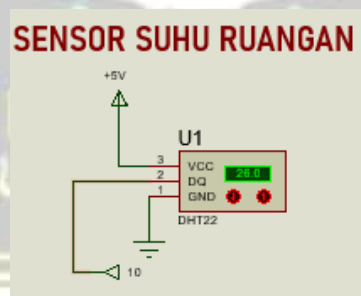
Rangkaian ini menggunakan sensor suhu MLX90614 yang berfungsi untuk mensensor suhu yang terdapat pada *heater* pada saat alat dinyakan, nilai yang di dapat oleh sensor akan dibandingkan dengan suhu yang telah di setting pada program. Berikut rangkaian sensor suhu terdapat pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Sensor Suhu

3.5.2 Rangkaian Sensor Suhu Ruangan

Rangkaian ini menggunakan sensor suhu DHT22 yang berfungsi untuk mensensor suhu Ruangan pada saat alat dinyakan, nilai yang di dapat oleh sensor akan mengetahui suhu ruangan. Berikut rangkaian sensor suhu ruangan terdapat pada Gambar 3.8

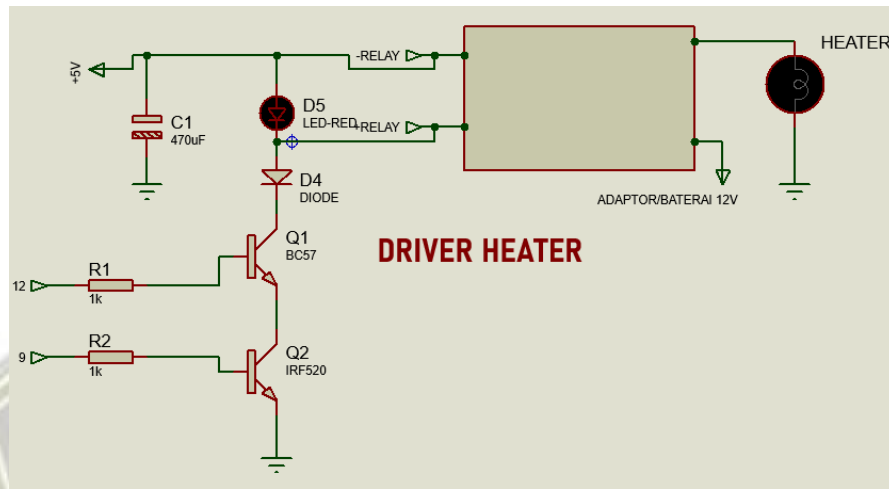


Gambar 3. 8 Sensor Suhu Ruangan

3.5.3 Driver *heater*

Rangkaian *Driver Heater* terdapat relay dan rangkaian mosfet disini berfungsi sebagai saklar untuk menghidupkan / mematikan *Heater* jika suhu tidak sesuai dengan *setting*, dan mengatur PWM yang kemudian akan mengendalikan *Heater*

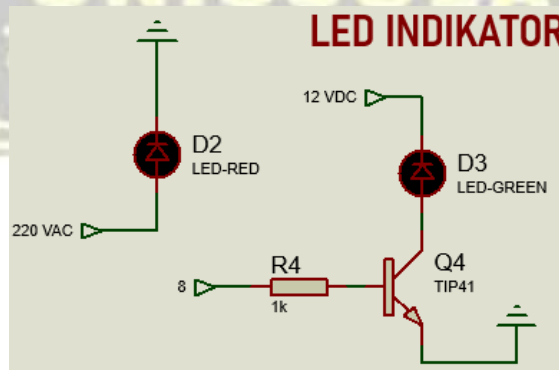
menggunakan Mosfet. Transistor bisa bekerja apabila mendapat tegangan diatas 0,7 V. ketika transistor mendapat tegangan di beri input pada pin 5V maka Mosfet akan saturasi atau gain & drain akan terhubung. Setelah Mosfet dalam keadaan saturasi, tegangan 12V akan masuk ke input relay. Output relay akan masuk *Heater*. Berikut Gambar Berikut rangkaian Driver *Heater* terdapat pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Driver *Heater*

3.5.4 Rangkaian Led Indikator

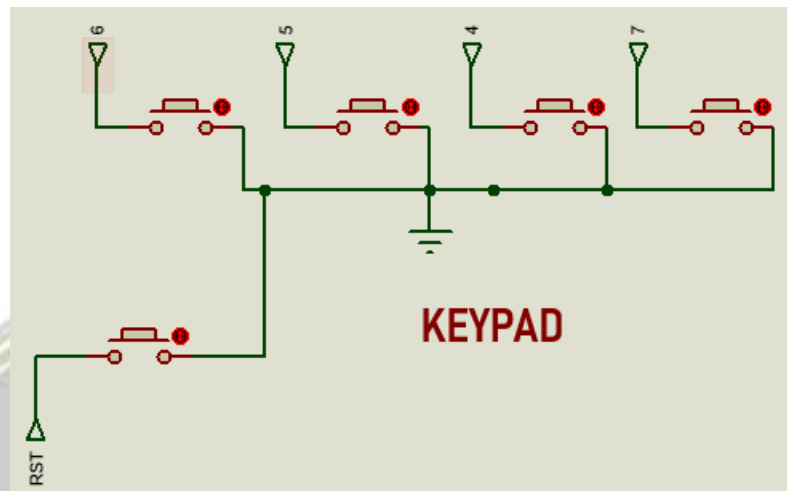
Rangkaian ini menggunakan 2 buah LED berwarna Merah untuk indikator power, Hijau untuk indikator suhu. Led Indikator yang berfungsi untuk menunjukkan status dari alat yang telah dibuat. Led indikator ini menggunakan led berukuran 20mm. Berikut rangkaian led indikator terdapat pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 10 led indikator

3.5.5 Rangkaian Keypad

Rangkaian *Keypad* terdapat 4 buah tombol. Rangkaian Keypad berfungsi sebagai tombol untuk menjalankan alat. Tombol keypad digunakan untuk *setting* menurunkan suhu dan *setting* mengurangi suhu, tombol *hold*, dan tombol *set* hidup serta ok. Tombol keypad ini terdapat 5 keluaran 4 keluaran masuk ke pin kontrol dan 1 pin *Ground*. Berikut rangkaian *Keypad* terdapat pada Gambar 3.11



Gambar 3. 11 Keypad

3.6 Perancangan software

Peneliti melakukan perancangan rangkaian perangkat lunak yang fungsinya sebagai sebuah perintah yang diproses pada mikrokontroler Arduino Nano sebagai prosessor untuk mengirim perintah ke rangkaian driver *heater* dari inputan sensor suhu dan *pushbutton*, agar dapat mengintruksikan *heater* untuk panas sesuai *setting* program kerjanya.

3.7 Metode Pengujian dan Kalibrasi modul

Pada penelitian ini penulis akan melakukan beberapa pengujian terhadap alat yang telah selesai dibuat diantaranya yaitu :

3.7.1 Pengujian dan Kalibrasi fungsi suhu sensor suhu dan sensor suhu ruangan

Pengujian dan kalibrasi sensor suhu MLX90614 dan sensor suhu ruangan DHT22 dimaksudkan untuk mencari pendekatan antara output sensor yang digunakan dengan

alat ukur suhu menggunakan *thermohigro* Merk Uni-t untuk pengujian dan kalibrasi suhu ruangan yang menggunakan sensor DHT22 serta alat ukur suhu *Heater* menggunakan termometer merk HTC-02. Langkah langkah dalam pengujian dan kalibrasi pada sensor suhu ruangan dengan membandingkan nilai suhu pada alat yang telah dibuat, sebagai berikut :

1. Alat yang telah dibuat dan *thermohigro* disiapkan.
2. Alat dihidupkan, dan nilai suhu ruangan yang terbaca dicatat.
3. *Thermohigro* diarahkan ke alat untuk mengukur suhu ruangan.
4. Hasil pengukuran suhu dengan *thermohigro* dicatat setiap menit pada lembar hasil.

Proses pengujian dilakukan sebanyak 30 kali dengan interval waktu 1 hingga 15 menit setiap pengambilan data. Nilai yang terukur oleh *thermohigro* dibandingkan dengan nilai suhu dari alat yang diuji.

Kalibrasi dilakukan untuk membandingkan nilai suhu *heater* yang diukur dengan sensor MLX90614 terhadap termometer referensi. Langkah-langkah yang dilakukan adalah:

1. Alat yang telah dibuat dan termometer disiapkan.
2. Alat dihidupkan, dan suhu diatur sesuai kebutuhan.
3. Termometer diarahkan ke *heater* untuk mengukur suhu.
4. Hasil pengukuran suhu dengan termometer dicatat setiap menit pada lembar hasil.
5. Sebelum pengujian suhu berikutnya, *heater* dibiarkan mati hingga suhu menyesuaikan suhu ruangan selama 15 menit. kemudian jalankan alat dan lakukan Langkah 1 sampai 4.

Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali pengambilan data dari rentang waktu 1 sampai dengan 15 menit tiap pengambilan data sesuai setting 35°C, 37°C dan 42°C. Kemudian nilai yang terukur oleh *Thermogun* dibandingkan dengan nilai suhu yang sudah di atur pada alat.

3.7.2 Pengujian Driver Heater

Pengujian driver *heater* dilakukan untuk memastikan bahwa driver dapat mengatur aliran daya ke *heater* sesuai dengan perintah dari mikrokontroler. Proses pengujian melibatkan pengukuran tegangan yang dihasilkan oleh driver dan pemantauan respons sistem dalam mengaktifkan atau menonaktifkan *heater* berdasarkan kondisi suhu yang terdeteksi. Langkah langkah dalam pengujian dengan mengukur tegangan pada alat menggunakan multimeter, sebagai berikut :

1. Tegangan keluaran driver *heater* diukur menggunakan multimeter untuk memastikan konektivitas dan akurasi output daya.
2. Kondisi driver diamati pada berbagai set point suhu untuk memastikan bahwa *heater* berfungsi sesuai dengan kendali logika fuzzy.
3. Proses pengukuran dilakukan sebanyak 30 kali dengan mencatat tegangan yang dihasilkan dan mencocokkannya dengan nilai tegangan yang diharapkan.
4. Mencatat dari pengukuran tegangan dengan multimeter di lembar hasil.

Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali pengambilan data dari rentang waktu 1 sampai dengan 15 menit tiap pengambilan data. Kemudian nilai yang terukur oleh multimeter dicatat dan didokumentasikan.

3.7.3 Pengujian Kendali Logika Fuzzy

Pengujian kendali logika fuzzy dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas sistem kontrol berbasis logika fuzzy Mamdani yang diterapkan pada prototipe alat dalam menjaga suhu *heater* sesuai dengan set point yang telah ditentukan. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem kendali mampu memberikan output yang sesuai dengan kondisi suhu ruangan dan suhu *heater* yang terdeteksi. Tahapan pengujian meliputi:

1. Penentuan Set Point Suhu

Sistem diuji pada beberapa set point suhu, yaitu 35°C, 37°C, dan 42°C.

2. Pengumpulan Data

Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali pengambilan data pada masing-masing set point suhu, dengan rentang waktu pengambilan data dari 1 hingga 15 menit. Setiap data yang diperoleh dicatat dan didokumentasikan untuk dianalisis lebih lanjut

3. Pemantauan Fuzzy Output

Fuzzy output (crisp output) yang dihasilkan oleh prototipe alat dibandingkan dengan hasil perhitungan dari MATLAB sebagai alat pembanding.

4. Pengukuran Konsistensi dan Akurasi

Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali pada setiap set point suhu untuk memastikan stabilitas dan konsistensi fuzzy output yang dihasilkan.

3.7.4 Pengujian Kinerja Keseluruhan

Pengujian kinerja keseluruhan dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem secara menyeluruh dalam menjaga suhu sesuai dengan set point yang diinginkan. Pengujian ini mencakup seluruh elemen sistem, termasuk sensor suhu *heater* dan suhu ruangan, driver *heater*, kendali logika fuzzy, dan sistem *Pulse Width Modulation* (PWM), yang bekerja secara terpadu. Langkah langkah dalam pengujian pada alat, sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat pendukung.
2. Menyalakan alat setting suhu paling tinggi dan Ketika sudah mencapai suhu maksimal maka setting suhu paling rendah. Pengujian dilakukan pada suhu ruangan, dengan set point suhu heater yang ditentukan, yaitu 35°C, 37°C, dan 42°C.
3. Pengambilan Data diambil sebanyak 30 kali pengujian untuk masing-masing set point suhu, dengan rentang waktu pengambilan data dari 1 hingga 15 menit. Selama pengujian, suhu heater, suhu ruangan, fuzzy output, tegangan, dan status pengkondisian heater diamati, dicatat, dan didokumentasikan.

3.8 Objek penelitian

Objek penelitian Prototipe Alat Kalibrator Termometer Non kontak Klinik Menggunakan Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani pada Laboratorium Sentral Universitas Ngudi Waluyo Ungaran



Gambar 3. 12 Laboratorium Sentral Universitas Ngudi Waluyo Ungaran

3.9 Variabel penelitian

Variabel – variabel pada penelitian ini adalah suhu dan suhu ruangan



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesifikasi Alat

1. Nama Alat : Prototipe Alat Kalibrator Termometer Non Kontak Klinik Menggunakan Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani
2. Jenis Alat : Alat Kalibrasi
3. Tegangan *Input* : ± 12 VDC
4. Tegangan Kerja : ± 5 VDC
5. Parameter Alat : Suhu *Heater* dan Suhu Ruang.
6. Jenis *Heater* : *Heater* VDC
7. Material *Casing* : Plastik 5mm
8. Dimensi Total : (p)19 cm x (l)15 x (t) 5 cm
9. Berat : ± 1 kg



Gambar 4. 1 Prototipe Alat Kalibrator Termometer Non Kontak Klinik

Berikut merupakan bagian-bagian serta komponen yang digunakan dalam perancangan Prototipe Alat Kalibrator Termometer Non Kontak Klinik Menggunakan Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani.

1. Rangkaian Sensor Suhu : berfungsi untuk mensensor suhu yang terdapat pada *heater* pada saat alat dinyalakan, nilai yang di dapat oleh sensor akan dibandingkan dengan suhu yang telah di setting pada program dan input fuzzyfikasi suhu.
2. Rangkaian Sensor Suhu Ruangan: berfungsi untuk mensensor suhu Ruangan pada saat alat dinyalakan, nilai yang di dapat oleh sensor akan digunakan untuk input fuzzyfikasi suhu ruangan.
3. Driver *heater* : berfungsi sebagai saklar untuk menghidupkan / mematikan *Heater* jika suhu tidak sesuai dengan setting, dan mengatur PWM yang kemudian akan mengendalikan *Heater* menggunakan relay.
4. Led Indikator : warna merah untuk indikator power, dan Hijau untuk indikator suhu.
5. Rangkaian Keypad : Rangkaian Keypad berfungsi sebagai tombol untuk menjalankan alat. Tombol keypad digunakan untuk *setting* menurunkan suhu dan *setting* mengurangi suhu, tombol *hold*, dan tombol *reset*.
6. *Heater* PTC: digunakan untuk melakukan pemanasan suhu alat kalibrator.

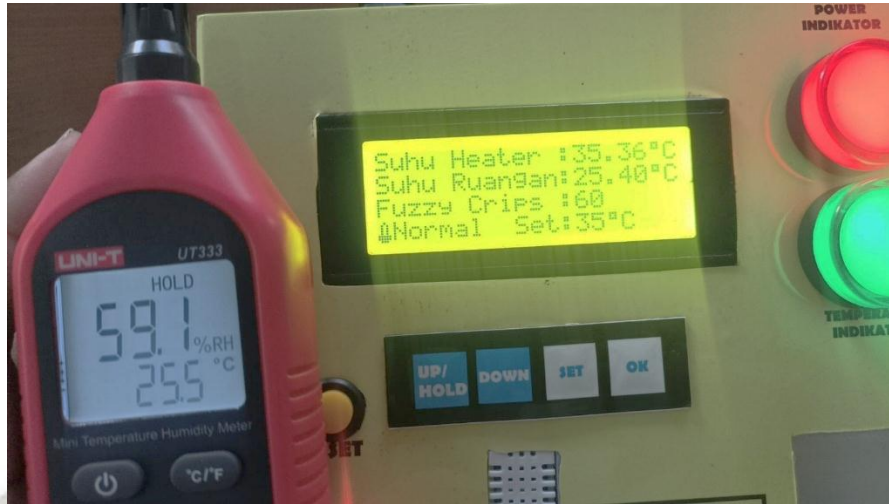
4.2 Pengujian Alat dan Hasil Pengukuran

Hasil pengukuran yang peneliti kerjakan terdiri dari pengujian suhu, suhu ruangan, dan kendali logika fuzzy. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan perangkat keras dapat digunakan dan untuk memastikan bahwa komponen yang digunakan berfungsi dengan baik dan sesuai kebutuhan.

4.2.1 Hasil Uji Fungsi Suhu Ruangan Dengan Alat Pemanding

Pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.2 merupakan hasil dari Hasil Uji Fungsi Suhu Ruangan Dengan Alat Pemanding berdasarkan suhu yang terukur di *Thermohigrometer* dan suhu yang tertampil di Prototipe Alat Kalibrator Termometer

Non Kontak Klinik Menggunakan Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani dengan suhu ruangan 25 °C Sebanyak 30 Kali.



Gambar 4. 2 Hasil Uji Fungsi Suhu Ruangan Dengan Alat Pembanding

Tabel 4. 1 Uji Fungsi Suhu Ruangan 25°C

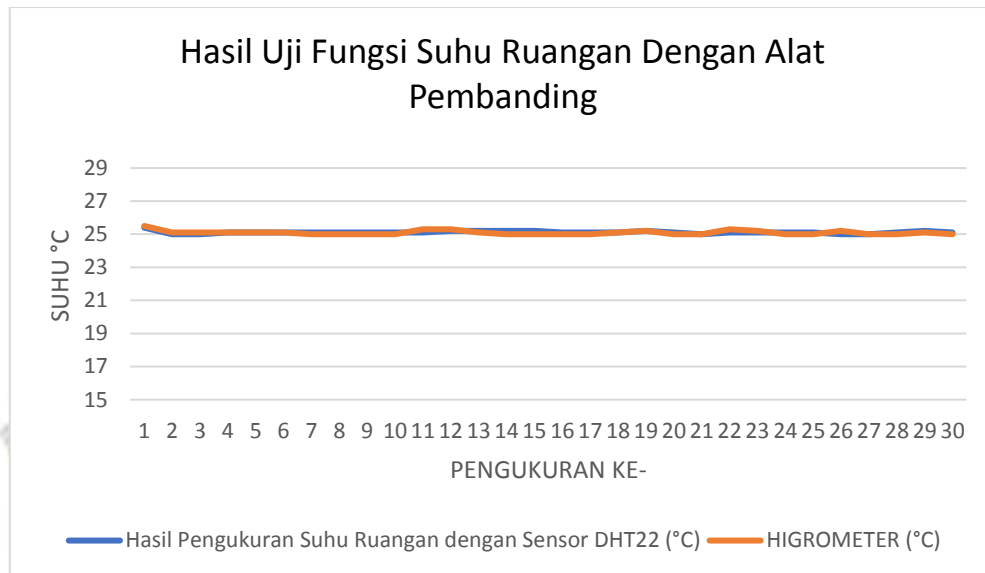
No	Hasil Pengukuran Suhu Ruangan dengan Sensor DHT22 (°C)	Higrometer (°C)	Simpangan	Error (%)
1	25.4	25.5	-0.10	0.40
2	25	25.1	-0.10	0.40
3	25	25.1	-0.10	0.40
4	25.1	25.1	0.00	0.00
5	25.1	25.1	0.00	0.00
6	25.1	25.1	0.00	0.00
7	25.1	25	0.10	0.40
8	25.1	25	0.10	0.40
9	25.1	25	0.10	0.40
10	25.1	25	0.10	0.40
11	25.1	25.3	-0.20	0.79
12	25.2	25.3	-0.10	0.40
13	25.2	25.1	0.10	0.40
14	25.2	25	0.20	0.80
15	25.2	25	0.20	0.80

Lanjutan Tabel 4. 1 Uji Fungsi Suhu Ruang 25°C

16	25.1	25	0.10	0.40
17	25.1	25	0.10	0.40
18	25.1	25.1	0.00	0.00
19	25.2	25.2	0.00	0.00
20	25.1	25	0.10	0.40
21	25	25	0.00	0.00
22	25.1	25.3	-0.20	0.79
23	25.1	25.2	-0.10	0.40
24	25.1	25	0.10	0.40
25	25.1	25	0.10	0.40
26	25	25.2	-0.20	0.79
27	25	25	0.00	0.00
28	25.1	25	0.10	0.40
29	25.2	25.1	0.10	0.40
30	25.1	25	0.10	0.40
Rata-Rata	25.09	25.07	0.02	0.37

Tabel 4.1 Pengujian dilakukan untuk mengetahui akurasi pembacaan suhu ruangan yang dihasilkan oleh prototipe alat dibandingkan dengan alat pembanding, yaitu *Thermohigrometer* merk UNI-T seri T333. Proses ini melibatkan pengukuran suhu ruangan pada kondisi 25°C, dilakukan sebanyak 30 kali pengambilan data dengan interval waktu tertentu. Pada setiap pengukuran, prototipe alat dinyalakan, dan nilai suhu yang terbaca dari sensor DHT22 dicatat. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa suhu rata-rata yang terbaca pada sensor DHT22 adalah 25.09°C, sementara alat pembanding mencatat suhu rata-rata 25.07°C. Selisih rata-rata sebesar 0.02°C menunjukkan tingkat keakuratan yang tinggi, dengan error pengukuran sebesar 0.37%. Grafik hasil pengukuran ditampilkan untuk memberikan visualisasi perbedaan antara kedua alat. Hasil ini mengindikasikan bahwa prototipe alat memiliki tingkat konsistensi yang dapat diterima untuk pengukuran suhu ruangan pada kondisi yang diuji. Perbedaan kecil yang ditemukan berada dalam batas toleransi yang ditetapkan,

sehingga dapat disimpulkan bahwa pembacaan suhu oleh prototipe alat dapat dipercaya. pada Gambar 4.3 merupakan grafik Hasil Uji Fungsi Suhu Ruangan Dengan Alat Pemanding yang didapat dari data Tabel.



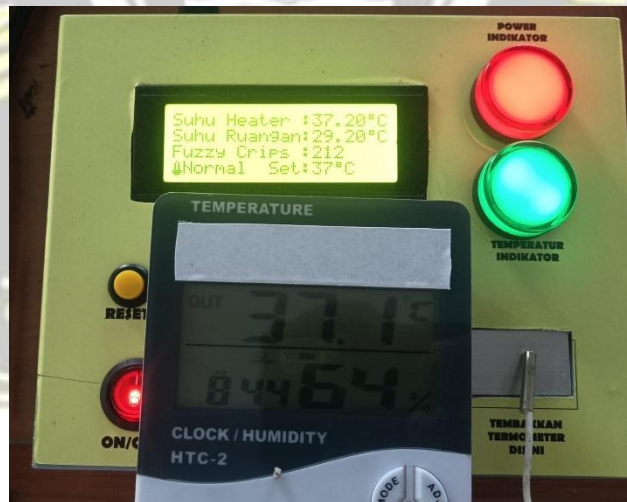
Gambar 4. 3 Hasil Uji Fungsi Suhu Ruangan Dengan Alat Pemanding

Gambar 4.3 memperlihatkan grafik hasil perbandingan pengukuran suhu yang dilakukan oleh sensor DHT22 pada prototipe alat dengan *Thermohigro* sebagai alat perbandingan, dalam kondisi suhu ruangan 25°C. Pembacaan rata-rata suhu yang diperoleh dari sensor DHT22 adalah 25.09°C, sementara *Thermohigro* mencatat rata-rata suhu sebesar 25.07°C. Selisih rata-rata hasil pengukuran ini adalah sebesar 0.02°C. Perbedaan sebesar 0.02°C ini tergolong sangat kecil dan berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Dengan demikian, hasil pengukuran menunjukkan bahwa pembacaan suhu oleh prototipe alat memiliki konsistensi dan tingkat akurasi yang baik. Kedua alat tersebut memberikan hasil yang dapat diandalkan untuk pengukuran suhu dalam kondisi pengujian yang sama.

4.2.2 Hasil Uji Fungsi Suhu *Heater* Dengan Alat Perbandingan

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi suhu yang dihasilkan oleh *heater* pada prototipe alat, dengan membandingkannya menggunakan alat perbandingan berupa termometer digital merk HTC-02. Prototipe alat diuji pada beberapa set poin suhu yang telah ditentukan, yaitu 37°C. Setiap pengukuran dilakukan secara berulang sebanyak 30 kali untuk memastikan konsistensi hasil. Suhu yang dihasilkan oleh *heater* dipantau menggunakan sensor MLX90614 pada prototipe alat, kemudian dibandingkan dengan suhu yang dicatat oleh termometer digital.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa suhu rata-rata yang dicapai prototipe alat memiliki simpangan yang kecil terhadap nilai yang diukur oleh alat perbandingan. Pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.4 merupakan hasil dari Hasil Uji Fungsi Suhu *Heater* Dengan Alat Perbandingan berdasarkan suhu yang terukur *thermometer* digital (alat perbandingan) merk HTC-02 dan suhu yang tertampil di Prototipe Alat Kalibrator Termometer Non Kontak Klinik Menggunakan Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani dengan suhu ruangan 37°C Sebanyak 30 Kali.

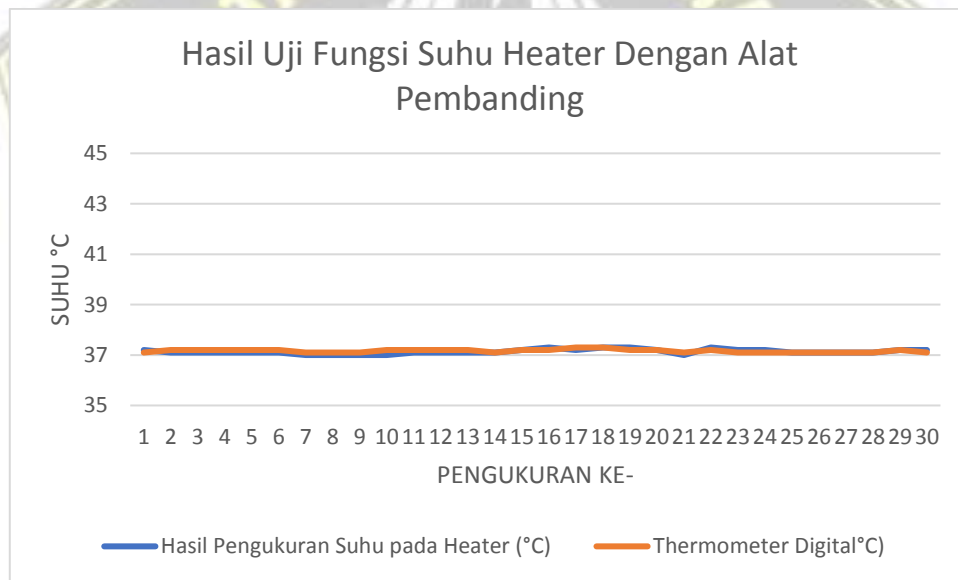


Gambar 4. 4 dari Hasil Uji Fungsi Suhu *Heater* Dengan Alat Perbandingan

Tabel 4. 2 Hasil Uji Fungsi Suhu *Heater* Dengan Alat Pembeding

No	Hasil Pengukuran Suhu pada <i>Heater</i> (°C)	<i>Thermometer</i> Digital(°C)	Simpangan	Error (%)
1	37.2	37.1	0.10	0.27
2	37.1	37.2	-0.10	0.27
3	37.1	37.2	-0.10	0.27
4	37.1	37.2	-0.10	0.27
5	37.1	37.2	-0.10	0.27
6	37.1	37.2	-0.10	0.27
7	37	37.1	-0.10	0.27
8	37	37.1	-0.10	0.27
9	37	37.1	-0.10	0.27
10	37	37.2	-0.20	0.54
11	37.1	37.2	-0.10	0.27
12	37.1	37.2	-0.10	0.27
13	37.1	37.2	-0.10	0.27
14	37.1	37.1	0.00	0.00
15	37.2	37.2	0.00	0.00
16	37.3	37.2	0.10	0.27
17	37.2	37.3	-0.10	0.27
18	37.3	37.3	0.00	0.00
19	37.3	37.2	0.10	0.27
20	37.2	37.2	0.00	0.00
21	37	37.1	-0.10	0.27
22	37.3	37.2	0.10	0.27
23	37.2	37.1	0.10	0.27
24	37.2	37.1	0.10	0.27
25	37.1	37.1	0.00	0.00
26	37.1	37.1	0.00	0.00
27	37.1	37.1	0.00	0.00
28	37.1	37.1	0.00	0.00
29	37.2	37.2	0.00	0.00
30	37.2	37.1	0.10	0.27
Rata-Rata	37.136	37.13	-0.03	0.20

Tabel 4.2 menyajikan hasil pengujian suhu ruangan pada prototipe alat dibandingkan dengan *Thermohigro* sebagai alat pembanding, pada kondisi suhu ruangan 37°C. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali untuk memastikan konsistensi hasil. Data yang diperoleh menunjukkan hubungan antara suhu yang terukur oleh *Thermohigro* dan suhu yang ditampilkan pada prototipe alat. Perbedaan suhu yang teramati diduga disebabkan oleh kondisi ruangan yang cenderung dingin selama pengujian, serta adanya perbedaan suhu ruangan dengan suhu tubuh pengguna. Hal ini menyebabkan adanya variasi kecil dalam hasil pengukuran antara kedua alat. Rata-rata error pengukuran tercatat sebesar 0.20%, yang masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Gambar 4.5 merupakan grafik Hasil Uji Fungsi Suhu Ruangan Dengan Alat Pembanding yang didapat dari data Tabel.



Gambar 4. 5 Grafik Hasil Uji Fungsi Suhu Ruangan Dengan Alat Pembanding

4.2.3 Hasil Uji Fungsi Suhu Heater 35°C

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur kinerja prototipe alat dalam mencapai dan mempertahankan suhu *heater* pada set poin 35°C. Proses pengujian melibatkan pengamatan terhadap suhu yang terukur oleh sensor MLX90614 pada prototipe alat, yang kemudian dibandingkan dengan pengukuran menggunakan termometer digital

sebagai alat pembanding. Pengujian dilaksanakan sebanyak 30 kali untuk memastikan stabilitas dan konsistensi hasil. Tabel 4.3 dan Gambar 4.6 merupakan hasil dari Uji Fungsi Suhu Heater 35⁰C berdasarkan suhu yang terukur di *Thermogun* dan suhu yang tertampil di Prototipe Alat Kalibrator Termometer Non Kontak Klinik Menggunakan Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani dengan suhu Heater 35⁰C Sebanyak 30 Kali.



Gambar 4. 6 merupakan hasil dari Uji Fungsi Suhu Heater 35⁰C

Tabel 4. 3 Uji Fungsi Suhu Heater 35⁰C

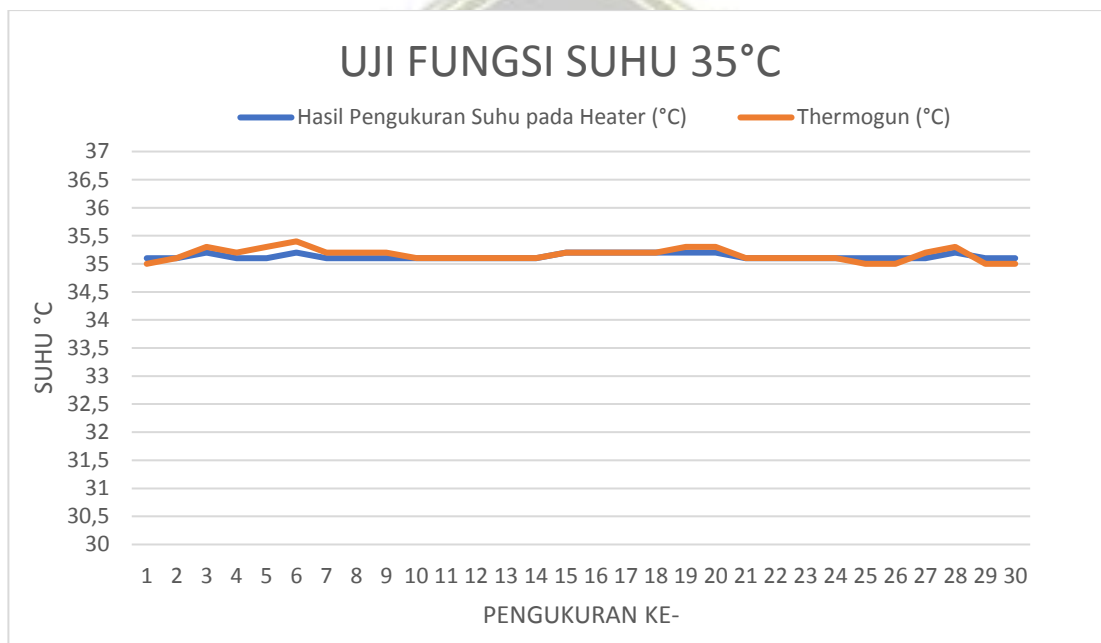
No	Hasil Pengukuran Suhu pada Heater (°C)	Thermogun (°C)	Simpangan	Error (%)	Fuzzy Output
1	35.12	35	0.12	0.29	40.1
2	35.1	35.1	0.00	0.00	40.3
3	35.2	35.3	-0.10	0.28	50.6
4	35.1	35.2	-0.10	0.28	45.5
5	35.1	35.3	-0.20	0.57	45.5
6	35.2	35.4	-0.20	0.56	45.5
7	35.1	35.2	-0.10	0.28	45.6
8	35.1	35.2	-0.10	0.28	45.6

Lanjutan Tabel 4. 3 Uji Fungsi Suhu *Heater* 35°C

9	35.1	35.2	-0.10	0.28	46.2
10	35.1	35.1	0.00	0.00	46.1
11	35.1	35.1	0.00	0.00	46.3
12	35.1	35.1	0.00	0.00	45.6
13	35.1	35.1	0.00	0.00	45.6
14	35.1	35.1	0.00	0.00	45.6
15	35.2	35.2	0.00	0.00	51.6
16	35.2	35.2	0.00	0.00	51.7
17	35.2	35.2	0.00	0.00	51.7
18	35.2	35.2	0.00	0.00	51.6
19	35.2	35.3	-0.10	0.28	51.5
20	35.2	35.3	-0.10	0.28	50.8
21	35.1	35.1	0.00	0.00	45.8
22	35.1	35.1	0.00	0.00	45.8
23	35.1	35.1	0.00	0.00	45.8
24	35.1	35.1	0.00	0.00	45.9
25	35.1	35	0.10	0.29	45.9
26	35.1	35	0.10	0.29	45.8
27	35.1	35.2	-0.10	0.28	45.6
28	35.2	35.3	-0.10	0.28	50.6
29	35.1	35	0.10	0.29	45.8
30	35.1	35	0.10	0.29	45.8
Rata-Rata	35.13	35.15	-0.03	0.17	

Tabel 4.3 menyajikan hasil pengujian fungsi suhu *heater* pada prototipe alat dibandingkan dengan pengukuran menggunakan *Thermogun* sebagai alat pembanding, pada set poin suhu 35°C. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali untuk memastikan konsistensi dan akurasi hasil. Data yang diperoleh menunjukkan hubungan antara suhu yang terukur oleh *Thermogun* dan suhu yang ditampilkan pada prototipe alat. Perbedaan suhu yang teramati diduga disebabkan oleh variasi suhu ruangan selama pengujian serta perubahan posisi pengukuran saat menggunakan *Thermogun*. Faktor-faktor tersebut dapat memengaruhi hasil pengukuran dan menyebabkan variasi kecil antara

suhu yang diukur oleh prototipe alat dan alat pembanding. Rata-rata error pengukuran tercatat sebesar 0.17%, yang berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Gambar 4.7 menampilkan grafik hasil pengujian fungsi suhu *heater* pada set poin 35°C, yang diolah dari data pada Tabel 4.3. Grafik ini memberikan gambaran visual mengenai perbedaan nilai suhu yang diukur oleh kedua alat, sekaligus menunjukkan kemampuan prototipe alat dalam mempertahankan suhu *heater* pada set poin yang diinginkan dengan tingkat akurasi yang baik.



Gambar 4. 7 Grafik Uji Fungsi Suhu *heater* 35°C

Gambar 4.7 memperlihatkan grafik hasil pengukuran suhu *heater* pada prototipe alat dibandingkan dengan *Thermogun* sebagai alat pembanding, pada set poin suhu 35°C. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata-rata suhu yang terbaca oleh sensor MLX90614 pada prototipe alat adalah 35.13°C, sementara rata-rata suhu yang diukur menggunakan *Thermogun* adalah 35.15°C. Selisih rata-rata hasil pengukuran tersebut adalah sebesar 0.02°C. Perbedaan ini tergolong sangat kecil dan berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua alat memberikan pengukuran yang konsisten dan akurat. Hasil ini mendukung

kesimpulan bahwa prototipe alat memiliki kemampuan yang andal dalam mengukur suhu *heater* pada set poin 35°C , serta dapat dipercaya untuk keperluan pengukuran suhu dalam kondisi serupa..

4.2.4 Hasil Uji Fungsi Suhu *Heater* 37°C

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi prototipe alat dalam mencapai dan mempertahankan suhu *heater* pada set poin 37°C . Prototipe alat diuji menggunakan sensor MLX90614 untuk memantau suhu *heater*, dengan pembandingan berupa termometer digital *Thermogun*. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali untuk memastikan konsistensi dan reliabilitas hasil. Hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu rata-rata yang terbaca oleh sensor MLX90614 pada prototipe alat adalah 37.12°C , sedangkan suhu rata-rata yang diukur menggunakan *Thermogun* adalah 37.14°C . Selisih rata-rata pengukuran tercatat sebesar 0.02°C , yang tergolong sangat kecil dan berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Tabel 4.4 dan Gambar 4.8 merupakan hasil dari Uji Fungsi Suhu *Heater* 37°C berdasarkan suhu yang terukur di *Thermogun* dan suhu yang tertampil di Prototipe Alat Kalibrator Termometer Non Kontak Klinik Menggunakan Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani dengan suhu *Heater* 37°C Sebanyak 30 Kali.

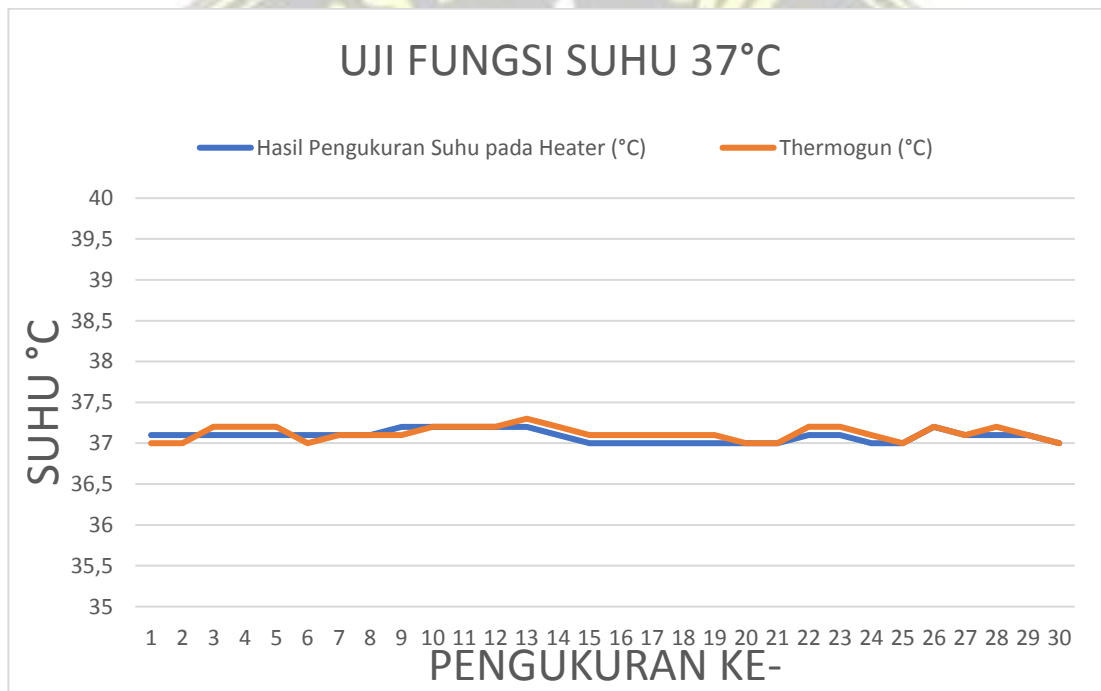


Gambar 4. 8 merupakan hasil dari Uji Fungsi Suhu *Heater* 37°C

Tabel 4. 4 Uji Fungsi Suhu *Heater* 37°C

No	Hasil Pengukuran Suhu pada <i>Heater</i> (°C)	<i>Thermogun</i> (°C)	Simpangan	Error (%)	Fuzzy Output
1	37.1	37	0.10	0.27	168
2	37.1	37	0.10	0.27	168
3	37.1	37.2	-0.10	0.27	168
4	37.1	37.2	-0.10	0.27	168
5	37.1	37.2	-0.10	0.27	168
6	37.1	37	0.10	0.27	168
7	37.1	37.1	0.00	0.00	169
8	37.1	37.1	0.00	0.00	167
9	37.2	37.1	0.10	0.27	168
10	37.2	37.2	0.00	0.00	167
11	37.2	37.2	0.00	0.00	167
12	37.2	37.2	0.00	0.00	167
13	37.2	37.3	-0.10	0.27	166
14	37.1	37.2	-0.10	0.27	166
15	37	37.1	-0.10	0.27	171
16	37	37.1	-0.10	0.27	171
17	37	37.1	-0.10	0.27	171
18	37	37.1	-0.10	0.27	174
19	37	37.1	-0.10	0.27	172
20	37	37	0.00	0.00	173
21	37	37	0.00	0.00	172
22	37.1	37.2	-0.10	0.27	172
23	37.1	37.2	-0.10	0.27	172
24	37	37.1	-0.10	0.27	172
25	37	37	0.00	0.00	173
26	37.2	37.2	0.00	0.00	172
27	37.1	37.1	0.00	0.00	172
28	37.1	37.2	-0.10	0.27	171
29	37.1	37.1	0.00	0.00	172
30	37	37	0.00	0.00	173
Rata-Rata	37.09	37.12	-0.03	0.16	

Tabel 4.4 menyajikan hasil pengujian fungsi suhu *heater* pada prototipe alat dibandingkan dengan *Thermogun* sebagai alat pembanding, pada set poin suhu 37°C. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali untuk memastikan konsistensi hasil dan keandalan prototipe alat. Data yang diperoleh menunjukkan hubungan antara suhu yang terukur oleh *Thermogun* dan suhu yang ditampilkan oleh prototipe alat. Perbedaan suhu yang teramati diduga disebabkan oleh fluktuasi suhu ruangan selama pengujian, serta variasi posisi pengukuran menggunakan *Thermogun*. Faktor-faktor ini dapat menyebabkan sedikit perbedaan hasil antara kedua alat. Rata-rata error pengukuran tercatat sebesar 0.16%, yang berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Gambar 4.9 merupakan grafik Uji Fungsi Suhu 37°C yang didapat dari data.



Gambar 4. 9 Grafik Uji Fungsi Suhu *heater* 37°C

Gambar 4.9 menunjukkan grafik hasil pengukuran suhu *heater* pada prototipe alat dibandingkan dengan *Thermogun* sebagai alat pembanding, pada set poin suhu 37°C. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa suhu rata-rata yang terbaca oleh sensor MLX90614 pada prototipe alat adalah 37.09°C, sementara suhu rata-rata yang diukur

menggunakan *Thermogun* adalah 37.12°C . Selisih antara kedua pembacaan suhu tersebut adalah 0.03°C , yang tergolong sangat kecil dan berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kedua alat memberikan hasil yang konsisten dan akurat dalam mengukur suhu *heater* pada kondisi yang diuji. Hasil ini menunjukkan bahwa pengukuran suhu pada kedua alat tersebut dapat dipercaya dan memiliki tingkat akurasi yang baik dalam pengukuran suhu ruangan pada kondisi yang sama.

4.2.5 Hasil Uji Fungsi Suhu *Heater* 42°C

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur kinerja prototipe alat dalam mencapai dan mempertahankan suhu *heater* pada set poin 42°C . Pengukuran suhu dilakukan menggunakan sensor MLX90614 yang terpasang pada prototipe alat dan dibandingkan dengan hasil pengukuran yang dilakukan menggunakan termometer digital (*Thermogun*) sebagai alat pembanding. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali untuk memastikan konsistensi dan reliabilitas hasil pengukuran. Tabel 4.5 dan Gambar 4.10 merupakan hasil dari Uji Fungsi Suhu *Heater* 42°C berdasarkan suhu yang terukur di *Thermogun* dan suhu yang tertampil di Prototipe Alat Kalibrator Termometer Non Kontak Klinik Menggunakan Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani dengan suhu *Heater* 42°C Sebanyak 30 Kali.

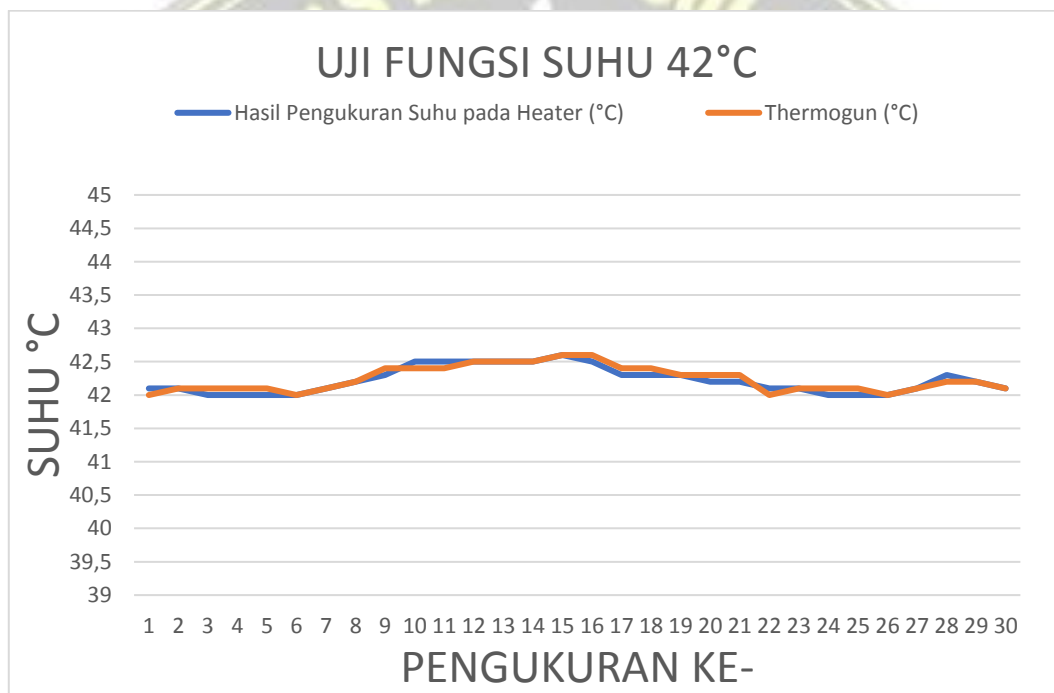


Gambar 4. 10 merupakan hasil dari Uji Fungsi Suhu *Heater* 37°C

Tabel 4. 5 Uji Fungsi Suhu Heater 42⁰C

No	Hasil Pengukuran Suhu pada Heater (°C)	Thermogun (°C)	Simpangan	Error (%)	Fuzzy Output
1	42.1	42	0.10	0.24	209
2	42.1	42.1	0.00	0.00	209
3	42	42.1	-0.10	0.24	209
4	42	42.1	-0.10	0.24	209
5	42	42.1	-0.10	0.24	209
6	42	42	0.00	0.00	207
7	42.1	42.1	0.00	0.00	207
8	42.2	42.2	0.00	0.00	207
9	42.3	42.4	-0.10	0.24	208
10	42.5	42.4	0.10	0.24	208
11	42.5	42.4	0.10	0.24	208
12	42.5	42.5	0.00	0.00	209
13	42.5	42.5	0.00	0.00	209
14	42.5	42.5	0.00	0.00	209
15	42.6	42.6	0.00	0.00	208
16	42.5	42.6	-0.10	0.23	208
17	42.3	42.4	-0.10	0.24	208
18	42.3	42.4	-0.10	0.24	208
19	42.3	42.3	0.00	0.00	207
20	42.2	42.3	-0.10	0.24	206
21	42.2	42.3	-0.10	0.24	208
22	42.1	42	0.10	0.24	207
23	42.1	42.1	0.00	0.00	207
24	42	42.1	-0.10	0.24	207
25	42	42.1	-0.10	0.24	208
26	42	42	0.00	0.00	208
27	42.1	42.1	0.00	0.00	207
28	42.3	42.2	0.10	0.24	207
29	42.2	42.2	0.00	0.00	208
30	42.1	42.1	0.00	0.00	207
Rata-Rata	42.22	42.24	-0.02	0.13	

Tabel 4.5 menyajikan hasil pengujian fungsi suhu *heater* pada prototipe alat dibandingkan dengan *Thermogun* sebagai alat pembanding, pada set poin suhu 42°C. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali untuk memastikan konsistensi hasil. Data yang diperoleh menunjukkan hubungan antara suhu yang terukur oleh *Thermogun* dan suhu yang ditampilkan pada prototipe alat. Perbedaan suhu yang teramati dapat disebabkan oleh fluktuasi suhu ruangan yang terjadi selama pengujian, serta variasi posisi tembakan saat menggunakan *Thermogun* untuk pengukuran. Faktor-faktor ini dapat menyebabkan perbedaan kecil antara kedua alat. Rata-rata error pengukuran tercatat sebesar 0.13%, yang masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima.. pada Gambar 4.11 merupakan grafik Uji Fungsi Suhu 42°C yang didapat dari data.



Gambar 4. 11 Grafik Uji Fungsi Suhu *heater* 42°C

menunjukkan grafik hasil pengukuran suhu *heater* pada prototipe alat dibandingkan dengan *Thermogun* sebagai alat pembanding, pada set poin suhu 42°C. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa suhu rata-rata yang terbaca oleh sensor MLX90614 pada prototipe alat adalah 42.24°C, sementara suhu rata-rata yang tercatat

pada *Thermogun* adalah 42.22°C . Selisih antara kedua pembacaan suhu tersebut adalah 0.02°C , yang tergolong sangat kecil dan berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua alat memberikan pengukuran yang konsisten dan akurat. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa pengukuran suhu pada kedua alat tersebut dapat dianggap akurat, dan kedua alat tersebut dapat dipercaya untuk pengukuran suhu pada kondisi yang sama.

4.2.6 Hasil Uji Fungsi *Driver Heater*

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja driver *heater* pada prototipe alat, yang berfungsi untuk mengendalikan aliran daya ke *heater* sesuai dengan suhu yang diinginkan. Driver *heater* diuji dengan memonitor tegangan yang diteruskan ke *heater* dan memastikan bahwa driver berfungsi dengan baik sesuai dengan perintah dari mikrokontroler. Selama pengujian, tegangan yang diteruskan ke *heater* diukur menggunakan multimeter untuk memastikan bahwa driver dapat mengatur daya dengan tepat, baik untuk pemanasan maupun penghentian pemanasan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa driver *heater* dapat mengalirkan daya secara stabil dan sesuai dengan perintah, dengan tegangan yang diukur sesuai dengan nilai yang diinginkan. Tabel 4.6 dan Gambar 4.12 merupakan hasil dari Uji Fungsi *Driver Heater* 42°C berdasarkan tegangan yang terukur pada alat Prototipe Alat Kalibrator Termometer Non Kontak Klinik Menggunakan Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani dengan multimeter Sebanyak 30 Kali.

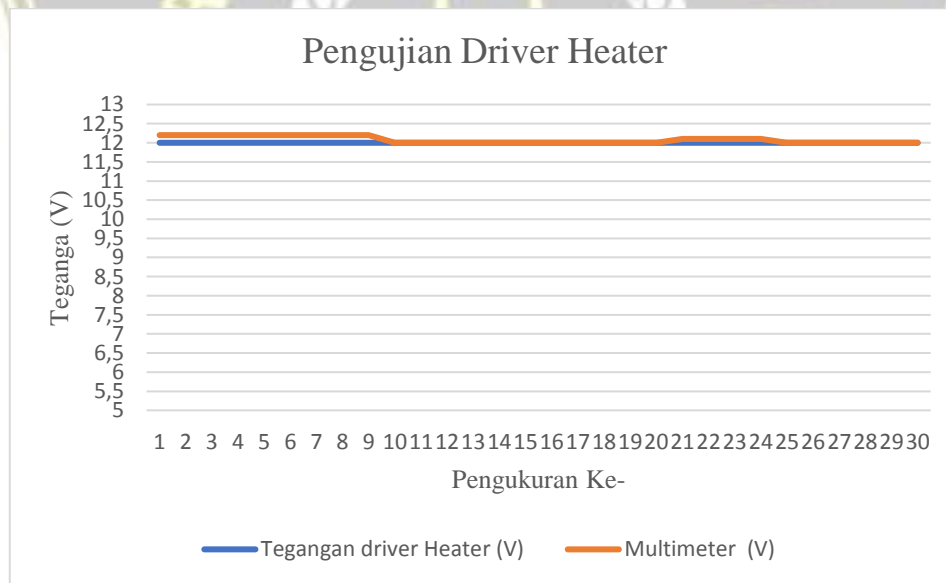


Gambar 4. 12 merupakan hasil dari Uji Fungsi *Driver Heater*

Tabel 4. 6 Uji Fungsi Driver Heater

No	Tegangan driver Heater (V)	Multimeter (V)	Simpangan	Error (%)
1	12	12.2	-0.20	1.64
2	12	12.2	-0.20	1.64
3	12	12.2	-0.20	1.64
4	12	12.2	-0.20	1.64
5	12	12.2	-0.20	1.64
6	12	12.2	-0.20	1.64
7	12	12.2	-0.20	1.64
8	12	12.2	-0.20	1.64
9	12	12.2	-0.20	1.64
10	12	12	0.00	0.00
11	12	12	0.00	0.00
12	12	12	0.00	0.00
13	12	12	0.00	0.00
14	12	12	0.00	0.00
15	12	12	0.00	0.00
16	12	12	0.00	0.00
17	12	12	0.00	0.00
18	12	12	0.00	0.00
19	12	12	0.00	0.00
20	12	12	0.00	0.00
21	12	12.1	-0.10	0.83
22	12	12.1	-0.10	0.83
23	12	12.1	-0.10	0.83
24	12	12.1	-0.10	0.83
25	12	12	0.00	0.00
26	12	12	0.00	0.00
27	12	12	0.00	0.00
28	12	12	0.00	0.00
29	12	12	0.00	0.00
30	12	12	0.00	0.00
Rata-Rata	12	12.07	0.07	0.60

Tabel 4.13 menyajikan hasil pengujian fungsi driver *heater*, yang menunjukkan hubungan antara tegangan yang terukur pada driver *heater* dengan menggunakan multimeter sebagai alat pembanding, yang dilakukan sebanyak 30 kali pengujian. Perbedaan tegangan yang teramati disebabkan oleh toleransi tegangan pada power supply yang digunakan selama pengujian, yang dapat menyebabkan variasi kecil pada hasil pengukuran. Rata-rata error pengukuran yang tercatat selama pengujian adalah sebesar 0.07%, yang tergolong sangat kecil dan masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Gambar 4.11 merupakan grafik Uji Fungsi *Driver Heater* yang didapat dari data.



Gambar 4. 13 Grafik Uji Fungsi *Driver Heater*

Gambar 4.13 menunjukkan grafik hasil uji fungsi driver *heater* yang dibandingkan dengan pengukuran tegangan menggunakan multimeter sebagai alat pembanding. Pembacaan rata-rata tegangan yang terukur pada multimeter adalah 12

VDC. Selisih antara kedua pembacaan tersebut tercatat sebesar 0.07 V, dengan nilai pengukuran pada prototipe alat sebesar 12.07 V dan pada multimeter sebesar 12 V. Perbedaan sebesar 0.07 V ini tergolong sangat kecil dan berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa pengukuran tegangan oleh kedua alat ukur ini konsisten dan akurat satu sama lain. Dengan demikian, pengukuran tegangan yang dilakukan oleh kedua alat tersebut dapat dianggap akurat, dan kedua alat tersebut dapat dipercaya untuk pengukuran tegangan dalam kondisi yang sama.

4.2.7 Hasil Uji kendali logika fuzzy

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem kendali suhu berbasis logika fuzzy Mamdani yang diterapkan pada prototipe alat. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dapat mengatur suhu *heater* dengan akurat sesuai dengan set point yang telah ditentukan, melalui proses fuzzifikasi, inferensi berbasis aturan, dan defuzzifikasi. Selama pengujian, suhu yang dihasilkan oleh *heater* dimonitor menggunakan sensor MLX90614, dan hasilnya dibandingkan dengan suhu yang diatur melalui kontrol logika fuzzy. Proses ini juga melibatkan perbandingan antara nilai suhu yang terukur dengan nilai yang diinginkan pada set point suhu yang berbeda (35°C, 37°C, dan 42°C) untuk memastikan bahwa sistem kendali fuzzy berfungsi dengan baik. Tabel 4.7 dan Gambar 4.14 merupakan hasil dari Pengujian Kendali Logika Fuzzy berdasarkan fuzzy output pada Matlab dan fuzzy output yang tertampil di Alat Prototipe Alat Kalibrator Termometer Non Kontak Klinik Menggunakan Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani dengan suhu setting 35°C Sebanyak 30 Kali selama 14 menit 30 Detik.



Gambar 4. 14 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 35⁰C

Tabel 4. 7 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 35⁰C

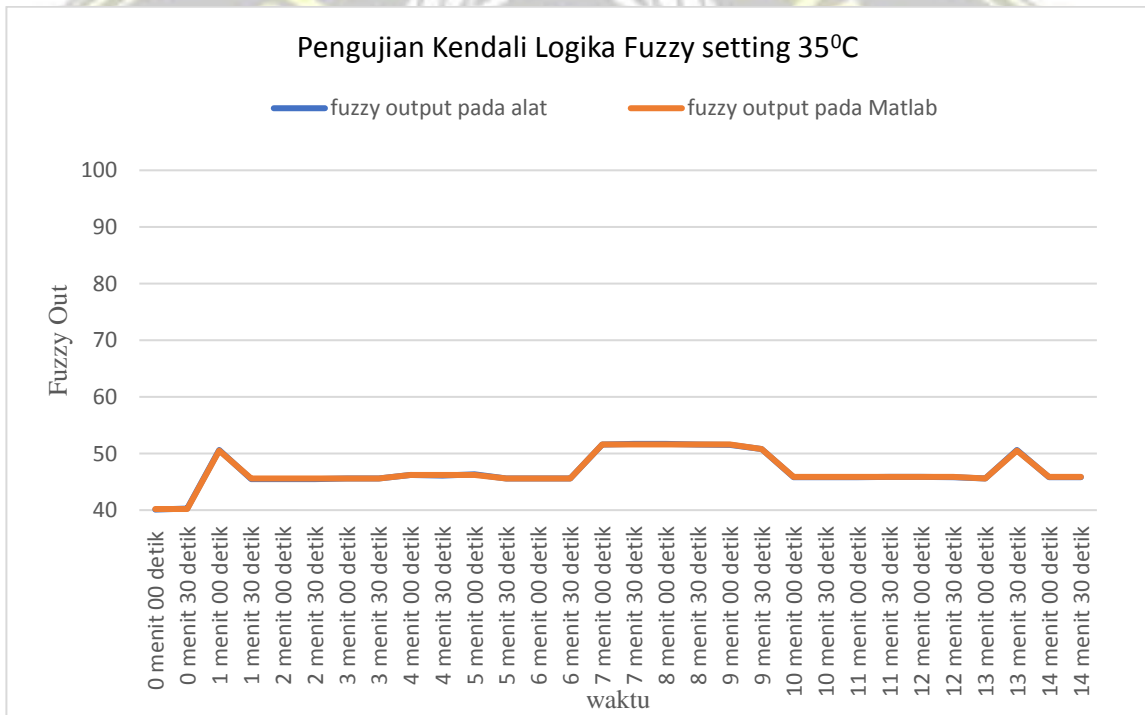
waktu	Hasil Pengukuran Suhu pada Heater (°C)	Hasil Pengukuran Suhu Ruangan (°C)	fuzzy output pada alat	fuzzy output pada Matlab	simpangan	Error (%)
0 menit 00 detik	25	25	40.1	40.2	-0.10	0.25
0 menit 30 detik	30.1	25	40.3	40.2	0.10	0.25
1 menit 00 detik	35.12	26.1	50.6	50.5	0.10	0.20
1 menit 30 detik	35.1	25	45.5	45.6	-0.10	0.22
2 menit 00 detik	35.1	25	45.5	45.6	-0.10	0.22
2 menit 30 detik	35.2	25	45.5	45.6	-0.10	0.22
3 menit 00 detik	35.1	25	45.6	45.6	0.00	0.00
3 menit 30 detik	35.1	25	45.6	45.6	0.00	0.00
4 menit 00 detik	35.1	25.2	46.2	46.2	0.00	0.00

Lanjutan Tabel 4. 7 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 35⁰C

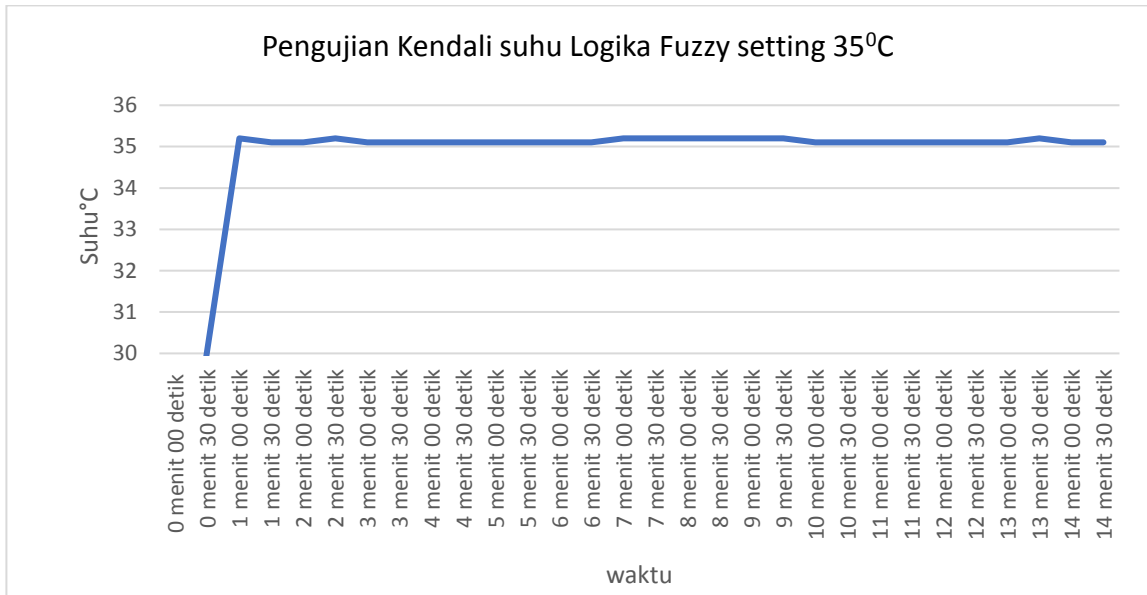
4 menit 30 detik	35.1	25.2	46.1	46.2	-0.10	0.22
5 menit 00 detik	35.1	25.2	46.3	46.2	0.10	0.22
5 menit 30 detik	35.1	25	45.6	45.6	0.00	0.00
6 menit 00 detik	35.1	25	45.6	45.6	0.00	0.00
6 menit 30 detik	35.1	25	45.6	45.6	0.00	0.00
7 menit 00 detik	35.2	25.3	51.6	51.6	0.00	0.00
7 menit 30 detik	35.2	25.3	51.7	51.6	0.10	0.19
8 menit 00 detik	35.2	25.3	51.7	51.6	0.10	0.19
8 menit 30 detik	35.2	25.3	51.6	51.6	0.00	0.00
9 menit 00 detik	35.2	25.3	51.5	51.6	-0.10	0.19
9 menit 30 detik	35.2	25.1	50.8	50.8	0.00	0.00
10 menit 00 detik	35.1	25.1	45.8	45.9	-0.10	0.22
10 menit 30 detik	35.1	25.1	45.8	45.9	-0.10	0.22
11 menit 00 detik	35.1	25.1	45.8	45.9	-0.10	0.22
11 menit 30 detik	35.1	25.1	45.9	45.9	0.00	0.00
12 menit 00 detik	35.1	25.1	45.9	45.9	0.00	0.00
12 menit 30 detik	35.1	25.1	45.8	45.9	-0.10	0.22
13 menit 00 detik	35.1	25	45.6	45.6	0.00	0.00
13 menit 30 detik	35.2	25	50.6	50.5	0.10	0.20
14 menit 00 detik	35.1	25.1	45.8	45.9	-0.10	0.22
14 menit 30 detik	35.1	25.1	45.8	45.9	-0.10	0.22
Rata-rata					0.02	0.12

Tabel 4.7 menunjukkan hasil pengujian kendali logika fuzzy dengan setting suhu 35⁰C, yang membandingkan fuzzy output yang tertampil pada LCD prototipe alat

dengan hasil perhitungan dari software MATLAB sebagai alat pembanding. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali untuk memastikan konsistensi dan akurasi hasil. Perbedaan antara fuzzy output (crisp output) pada prototipe alat dan hasil dari MATLAB disebabkan oleh faktor-faktor seperti perhitungan di belakang koma dan variasi pembacaan sensor yang berbeda-beda pada setiap pengukuran. Perbedaan ini menyebabkan adanya variasi kecil antara kedua hasil pengukuran. Rata-rata error pengukuran tercatat sebesar 0.12%, yang berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Pada pengujian ini, alat berhasil mencapai suhu setting sebesar 35.2°C, dengan suhu ruangan yang tercatat sebesar 25°C dan fuzzy output sebesar 50.6 setelah 1 menit 00 detik pengoperasian. Gambar 4.15 merupakan grafik Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 35°C dan Gambar 4.16 grafik Pengujian Kendali suhu Logika Fuzzy setting 35°C yang didapat dari data.



Gambar 4. 15 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 35°C



Gambar 4. 16 Pengujian Kendali suhu Logika Fuzzy setting 35⁰C

Pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.17 menyajikan hasil pengujian kendali logika fuzzy berdasarkan perbandingan antara fuzzy output yang dihasilkan oleh MATLAB dan fuzzy output yang ditampilkan pada prototipe Alat Kalibrator Termometer Non Kontak Klinik menggunakan Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani. Pengujian dilakukan dengan suhu setting 37°C, yang dilakukan sebanyak 30 kali selama 14 menit 30 detik. Data ini memberikan gambaran tentang performa sistem kendali logika fuzzy dalam menjaga suhu sesuai dengan set point yang diinginkan, serta memperlihatkan konsistensi dan akurasi antara pengukuran pada alat prototipe dan perhitungan pada software MATLAB.



Gambar 4. 17 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 37⁰C

Tabel 4. 8 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 37⁰C

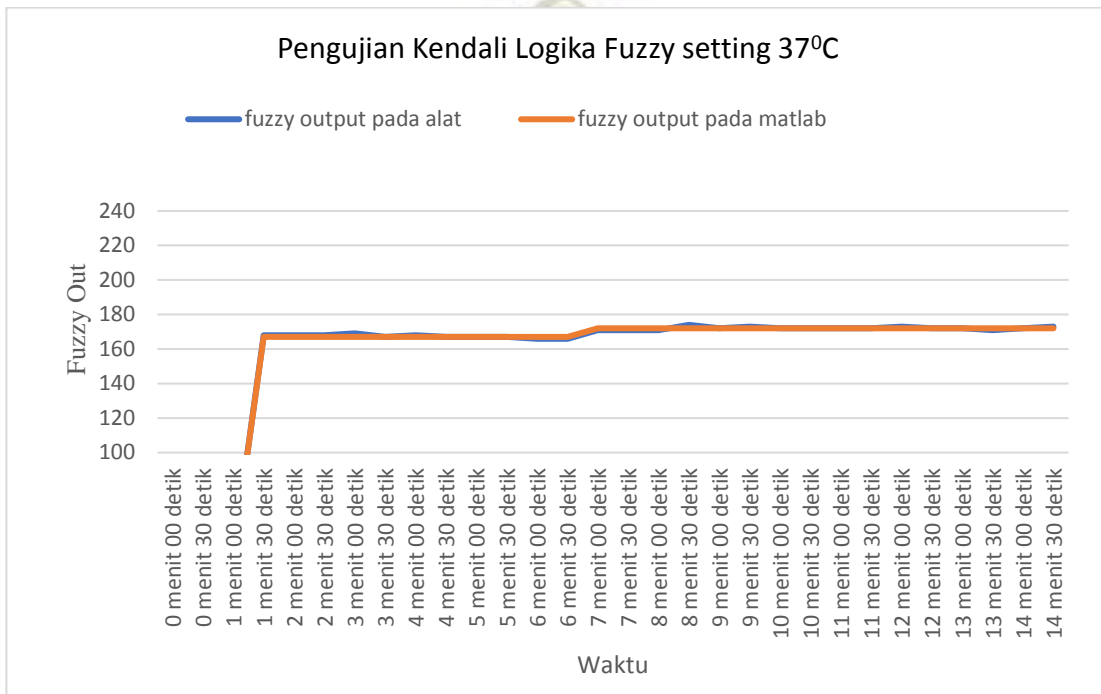
waktu	Hasil Pengukuran Suhu pada Heater (°C)	Hasil Pengukuran Suhu Ruangan (°C)	fuzzy output pada alat	fuzzy output pada Matlab	simpangan	Error (%)
0 menit 00 detik	27	25	40.1	40.2	-0.10	0.25
0 menit 30 detik	30.1	25	40.3	40.2	0.10	0.25
1 menit 00 detik	35.1	25.1	40.5	40.4	0.10	0.25
1 menit 30 detik	37.2	27.3	168	167	1.00	0.60
2 menit 00 detik	37.1	28	168	167	1.00	0.60
2 menit 30 detik	37.1	28	168	167	1.00	0.60
3 menit 00 detik	37.1	28	169	167	2.00	1.20
3 menit 30 detik	37.1	28	167	167	0.00	0.00
4 menit 00 detik	37.2	28	168	167	1.00	0.60
4 menit 30 detik	37.2	28	167	167	0.00	0.00
5 menit 00 detik	37.2	28	167	167	0.00	0.00
5 menit 30 detik	37.2	28	167	167	0.00	0.00
6 menit 00 detik	37.2	28	166	167	-1.00	0.60
6 menit 30 detik	37.1	28	166	167	-1.00	0.60
7 menit 00 detik	37	28.1	171	172	-1.00	0.58
7 menit 30 detik	37	28.1	171	172	-1.00	0.58
8 menit 00 detik	37	28.1	171	172	-1.00	0.58

Lanjutan Tabel 4.7 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 37°C

8 menit 30 detik	37	28.1	174	172	2.00	1.16
9 menit 00 detik	37	28.1	172	172	0.00	0.00
9 menit 30 detik	37	28.1	173	172	1.00	0.58
10 menit 00 detik	37	28.1	172	172	0.00	0.00
10 menit 30 detik	37.1	28.1	172	172	0.00	0.00
11 menit 00 detik	37.1	28.1	172	172	0.00	0.00
11 menit 30 detik	37	28.1	172	172	0.00	0.00
12 menit 00 detik	37	28.1	173	172	1.00	0.58
12 menit 30 detik	37.2	28.1	172	172	0.00	0.00
13 menit 00 detik	37.1	28.1	172	172	0.00	0.00
13 menit 30 detik	37.1	28.1	171	172	-1.00	0.58
14 menit 00 detik	37.1	28.1	172	172	0.00	0.00
14 menit 30 detik	37	28.1	173	172	1.00	0.58
Rata-rata					0.18	0.36

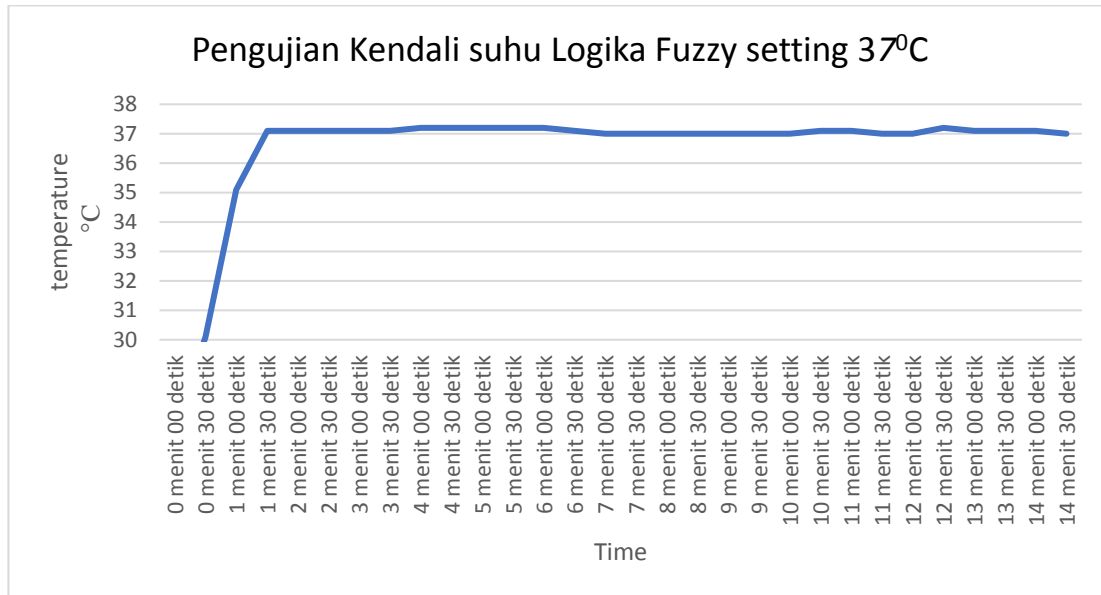
Tabel 4.7 menunjukkan hasil pengujian kendali logika fuzzy dengan setting suhu 37°C, yang membandingkan fuzzy output yang tertampil pada LCD prototipe alat dengan hasil perhitungan dari software MATLAB sebagai alat pembandingan. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali untuk memastikan konsistensi dan akurasi hasil. Perbedaan antara fuzzy output (crisp output) pada prototipe alat dan hasil perhitungan MATLAB disebabkan oleh faktor-faktor seperti perhitungan di belakang koma dan variasi pembacaan sensor yang berbeda pada setiap pengukuran. Hal ini menyebabkan adanya variasi kecil antara kedua hasil pengukuran. Rata-rata error pengukuran tercatat sebesar

0.36%, yang masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Pada pengujian ini, alat berhasil mencapai suhu setting sebesar 37.1°C, dengan suhu ruangan tercatat sebesar 28°C dan fuzzy output sebesar 168 setelah 1 menit 30 detik pengoperasian. Gambar 4.18 merupakan grafik Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 37°C dan Gambar 4.19 grafik Pengujian Kendali suhu Logika Fuzzy setting 37°C yang didapat dari data.



Gambar 4. 18 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 37°C





Gambar 4. 19 Pengujian Kendali suhu Logika Fuzzy setting 37°C

Pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.20 menyajikan hasil pengujian kendali logika fuzzy yang membandingkan fuzzy output yang dihitung oleh MATLAB dengan fuzzy output yang tertampil pada prototipe Alat Kalibrator Termometer Non Kontak Klinik menggunakan Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani. Pengujian dilakukan dengan suhu setting 42°C, yang diulang sebanyak 30 kali selama 14 menit 30 detik. Data ini memberikan gambaran mengenai kinerja sistem kendali logika fuzzy dalam menjaga suhu sesuai dengan set point yang diinginkan, serta menunjukkan konsistensi antara pengukuran yang dilakukan pada alat prototipe dan perhitungan yang dilakukan oleh software MATLAB.



Gambar 4. 20 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 42⁰C

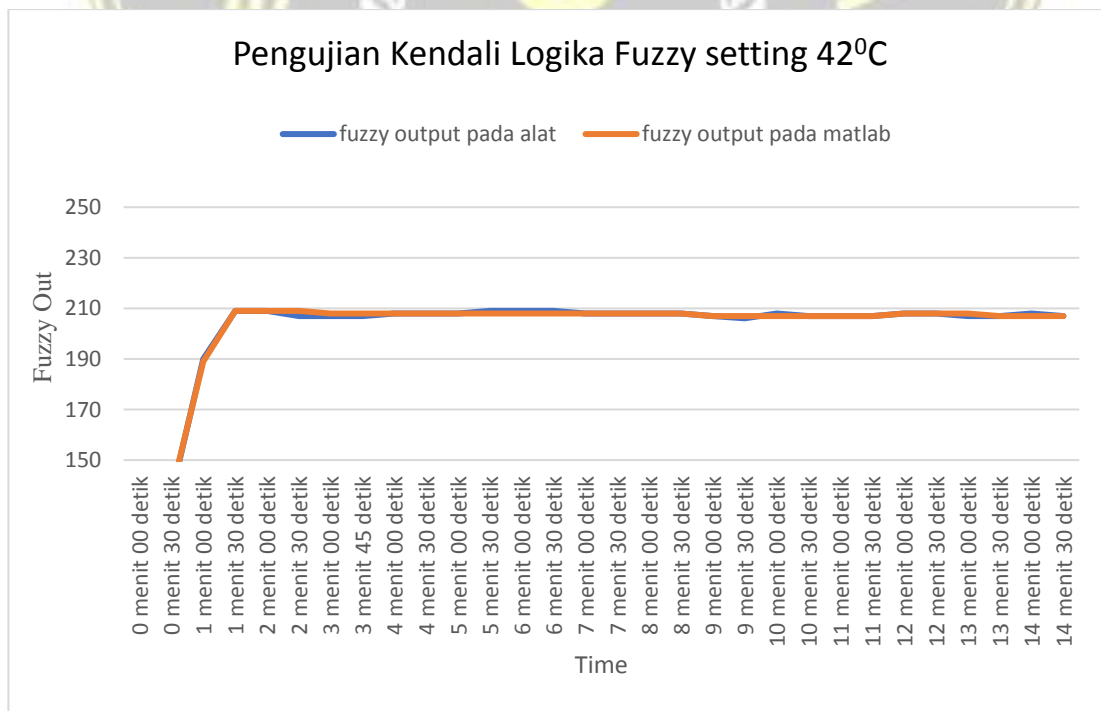
Tabel 4. 9 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 42⁰C

waktu	Hasil Pengukuran Suhu pada Heater (°C)	Hasil Pengukuran Suhu Ruangan (°C)	fuzzy output pada alat	fuzzy output pada Matlab	simpangan	Error (%)
0 menit 00 detik	27.5	27.2	57	57.5	-0.50	0.87
0 menit 30 detik	38.7	27.3	136	137	-1.00	0.73
1 menit 00 detik	41.8	27.4	190	189	1.00	0.53
1 menit 30 detik	42	27.5	209	209	0.00	0.00
2 menit 00 detik	42	27.5	209	209	0.00	0.00
2 menit 30 detik	42	27.5	207	209	-2.00	0.96
3 menit 00 detik	42.1	27.5	207	208	-1.00	0.48
3 menit 45 detik	42.2	27.5	207	208	-1.00	0.48
4 menit 00 detik	42.3	27.3	208	208	0.00	0.00
4 menit 30 detik	42.5	27.3	208	208	0.00	0.00

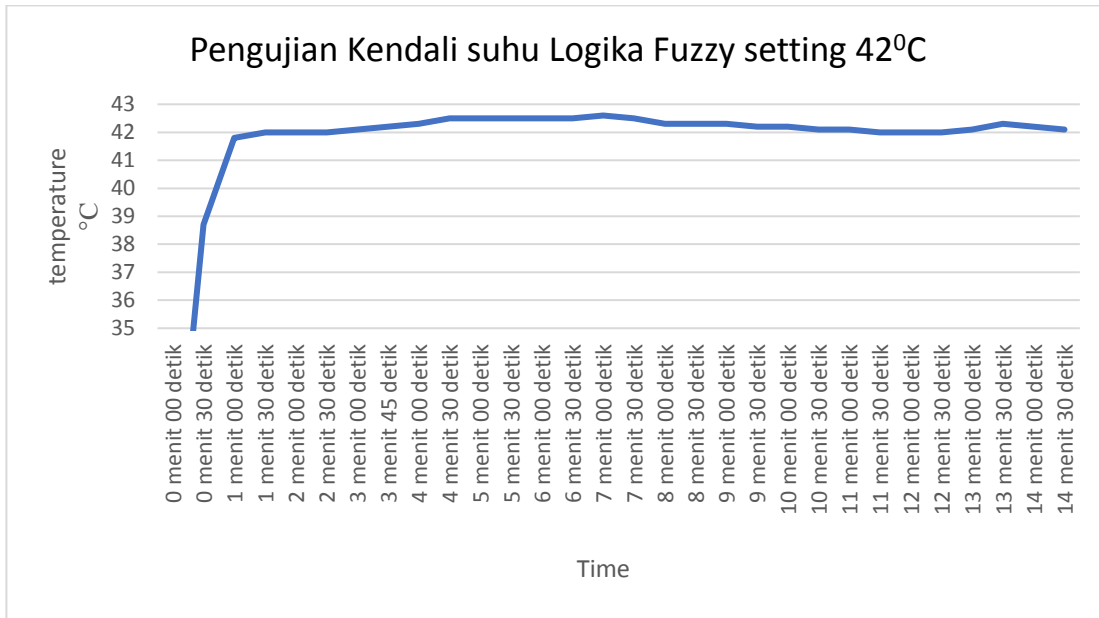
Lanjutan Tabel 4. 10 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 42⁰C

5 menit 00 detik	42.5	27.7	208	208	0.00	0.00
5 menit 30 detik	42.5	27.7	209	208	1.00	0.48
6 menit 00 detik	42.5	27.7	209	208	1.00	0.48
6 menit 30 detik	42.5	28	209	208	1.00	0.48
7 menit 00 detik	42.6	28	208	208	0.00	0.00
7 menit 30 detik	42.5	28	208	208	0.00	0.00
8 menit 00 detik	42.3	28	208	208	0.00	0.00
8 menit 30 detik	42.3	28	208	208	0.00	0.00
9 menit 00 detik	42.3	27.9	207	207	0.00	0.00
9 menit 30 detik	42.2	27.9	206	207	-1.00	0.48
10 menit 00 detik	42.2	27.9	208	207	1.00	0.48
10 menit 30 detik	42.1	27.9	207	207	0.00	0.00
11 menit 00 detik	42.1	27.9	207	207	0.00	0.00
12 menit 00 detik	42	28	208	208	0.00	0.00
12 menit 30 detik	42	28	208	208	0.00	0.00
13 menit 00 detik	42.1	28	207	208	-1.00	0.48
13 menit 30 detik	42.3	27.8	207	207	0.00	0.00
14 menit 00 detik	42.2	27.8	208	207	1.00	0.48
14 menit 30 detik	42.1	27.8	207	207	0.00	0.00
Rata-rata					0.03	0.23

Tabel 4.9 menunjukkan hasil pengujian kendali logika fuzzy dengan setting suhu 42°C, yang membandingkan fuzzy output yang tertampil pada LCD prototipe alat dengan hasil perhitungan dari software MATLAB sebagai alat pembanding. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali untuk memastikan konsistensi dan akurasi hasil. Perbedaan antara fuzzy output (crisp output) pada prototipe alat dan hasil perhitungan MATLAB disebabkan oleh faktor-faktor seperti perhitungan di belakang koma dan variasi pembacaan sensor yang berbeda pada setiap pengukuran. Perbedaan ini menyebabkan variasi kecil antara kedua hasil pengukuran. Rata-rata error pengukuran tercatat sebesar 0.23%, yang masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Pada pengujian ini, alat berhasil mencapai suhu setting sebesar 42°C, dengan suhu ruangan tercatat sebesar 27.5°C dan fuzzy output sebesar 209 setelah 1 menit 30 detik pengoperasian. Gambar 4.21 merupakan grafik Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 42⁰C dan Gambar 4.22 grafik Pengujian Kendali suhu Logika Fuzzy setting 42⁰C yang didapat dari data.



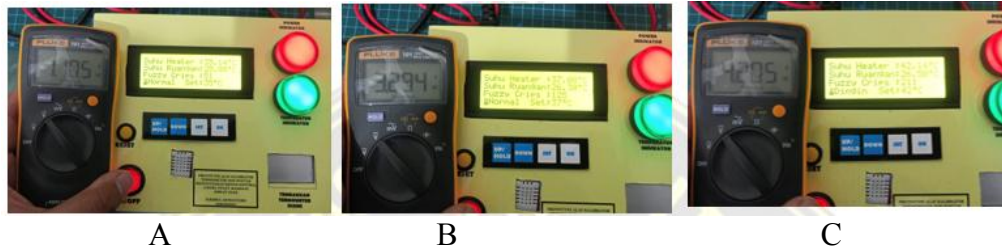
Gambar 4. 21 Pengujian Kendali Logika Fuzzy setting 42⁰C



Gambar 4. 22 Pengujian Kendali suhu Logika Fuzzy setting 42⁰C

4.2.8 Pengujian *Pulse Width Modulation* PWM

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur kinerja sistem Pulse Width Modulation (PWM) yang diterapkan pada prototipe alat, khususnya dalam mengatur daya yang diteruskan ke *heater* melalui driver. PWM digunakan untuk mengontrol aliran daya dengan cara mengubah lebar pulsa dalam periode waktu tertentu, sehingga menghasilkan output daya yang bervariasi. Selama pengujian, sinyal PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler Arduino diteruskan ke driver *heater*, dan tegangan yang diteruskan ke *heater* diukur menggunakan multimeter untuk memastikan bahwa PWM berfungsi dengan baik dalam mengontrol daya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai duty cycle PWM dapat diatur dengan akurat, dan pengaruhnya terhadap tegangan yang diteruskan ke *heater* sesuai dengan ekspektasi. Tabel 4.10 merupakan hasil dari Pengujian *Pulse Width Modulation* PWM berdasarkan data yang tertampil alat Prototipe Alat Kalibrator Termometer Non Kontak Klinik Menggunakan Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani dengan data sebanyak 30 Kali saat suhu 35°C, 37°C dan 42°C. pada gambar 4.23 pengujian *Pulse Width Modulation* PWM menggunakan Multimeter



Gambar 4. 23 pengujian *Pulse Width Modulation* PWM menggunakan Multimeter

A. Suhu 35°C, B. Suhu 37°C dan B. Suhu 42°C

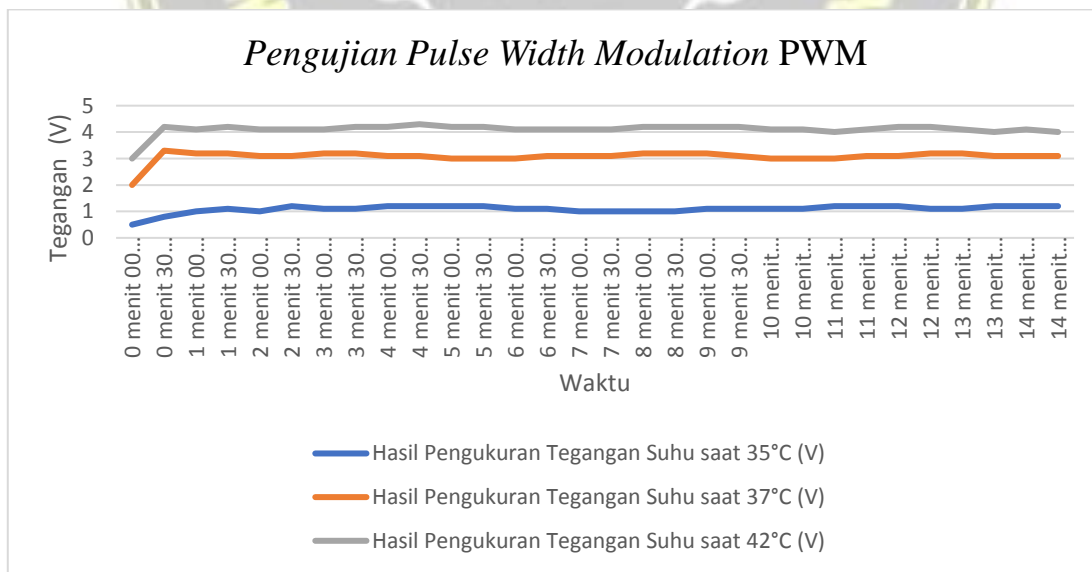
Tabel 4. 11 Pengujian Pulse Width Modulation PWM

waktu	Hasil Pengukuran Tegangan Suhu saat 35°C Tegangan PWM (V)	Hasil Pengukuran Tegangan Suhu saat 37°C Tegangan PWM (V)	Hasil Pengukuran Tegangan Suhu saat 42°C Tegangan PWM (V)
0 menit 00 detik	0,5	2	3
0 menit 30 detik	0,8	3,3	4,2
1 menit 00 detik	1	3,2	4,1
1 menit 30 detik	1,1	3,2	4,2
2 menit 00 detik	1	3,1	4,1
2 menit 30 detik	1,2	3,1	4,1
3 menit 00 detik	1,1	3,2	4,1
3 menit 45 detik	1,1	3,2	4,2
4 menit 00 detik	1,2	3,1	4,2
4 menit 30 detik	1,2	3,1	4,3
5 menit 00 detik	1,2	3	4,2
5 menit 30 detik	1,2	3	4,2
6 menit 00 detik	1,1	3	4,1
6 menit 30 detik	1,1	3,1	4,1
7 menit 00 detik	1	3,1	4,1
7 menit 30 detik	1	3,1	4,1
8 menit 00 detik	1	3,2	4,2
8 menit 30 detik	1	3,2	4,2
9 menit 00 detik	1,1	3,2	4,2
9 menit 30 detik	1,1	3,1	4,2
10 menit 00 detik	1,1	3	4,1

Lanjutan Tabel 4. 10 Pengujian Pulse Width Modulation PWM

10 menit 30 detik	1,1	3	4,1
11 menit 00 detik	1,2	3	4
11 menit 30 detik	1,2	3,1	4,1
12 menit 00 detik	1,2	3,1	4,2
12 menit 30 detik	1,1	3,2	4,2
13 menit 00 detik	1,1	3,2	4,1
13 menit 30 detik	1,2	3,1	4
14 menit 00 detik	1,2	3,1	4,1
14 menit 30 detik	1,2	3,1	4

Pada Gambar 4.24 menunjukkan grafik hasil pengujian Pulse Width Modulation (PWM), yang menggambarkan hubungan antara nilai duty cycle PWM dan output daya yang diteruskan ke *heater*. Grafik ini dihasilkan dari 30 kali pengujian yang dilakukan, sesuai dengan data yang tercatat dalam Tabel 4.10, yang mencakup hasil pengujian kinerja keseluruhan. Hasil ini memberikan gambaran yang jelas tentang seberapa efektif PWM dalam mengatur daya yang diteruskan ke *heater* sesuai dengan set point yang diinginkan.



Gambar 4. 24 Pengujian *Pulse Width Modulation* (PWM)

4.2.9 Pengujian Kinerja Keseluruhan

Pengujian kinerja keseluruhan dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas dan keandalan sistem secara menyeluruh, termasuk semua komponen yang terlibat dalam prototipe alat, seperti sensor suhu, driver *heater*, kendali logika fuzzy, dan sistem PWM. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa alat berfungsi dengan baik dalam menjaga suhu pada set point yang telah ditentukan, serta untuk mengidentifikasi potensi ketidaksesuaian atau kesalahan dalam pengoperasian sistem. Selama pengujian, alat diuji pada berbagai suhu set point (35°C, 37°C, dan 42°C) dan suhu ruangan yang bervariasi. Data yang diambil selama pengujian mencakup pengukuran suhu yang terdeteksi oleh sensor MLX90614 pada prototipe alat dan perbandingan dengan alat pembanding untuk memastikan akurasi. Hasil pengujian juga mencakup evaluasi terhadap respons sistem kendali logika fuzzy dalam mengatur suhu *heater* dengan tepat dan stabil. Hasil pengujian menunjukkan bahwa prototipe alat dapat mencapai suhu yang diinginkan dengan tingkat akurasi yang tinggi. Rata-rata error pengukuran suhu selama pengujian kinerja keseluruhan adalah $\pm 0.2^\circ\text{C}$, yang berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Selain itu, sistem kendali logika fuzzy dan PWM berfungsi secara efisien, dengan suhu yang tetap stabil pada set point yang diinginkan. Pada Tabel 4.11 merupakan hasil dari uji Kinerja Keseluruhan berdasarkan data yang tertampil alat Prototipe Alat Kalibrator Termometer Non Kontak Klinik Menggunakan Sistem Kontrol Logika Fuzzy Mamdani dengan data sebanyak 30 Kali selama 14menit 30 detik. Berikut merupakan Tabel hasil pengujiannya.

Tabel 4. 12 uji Kinerja Keseluruhan

Waktu	Hasil Pengukuran Suhu Pada <i>Heater</i> ($^\circ\text{C}$)	Hasil Pengukuran Suhu Ruangan ($^\circ\text{C}$)	Fuzzy Output Pada Alat	Driver <i>Heater</i> (V)	Status Pengkondisian <i>Heater</i>
0 menit 00 detik	25	25	40.2	0.5	PANAS
0 menit 30 detik	27.9	25	40.2	0.8	PANAS

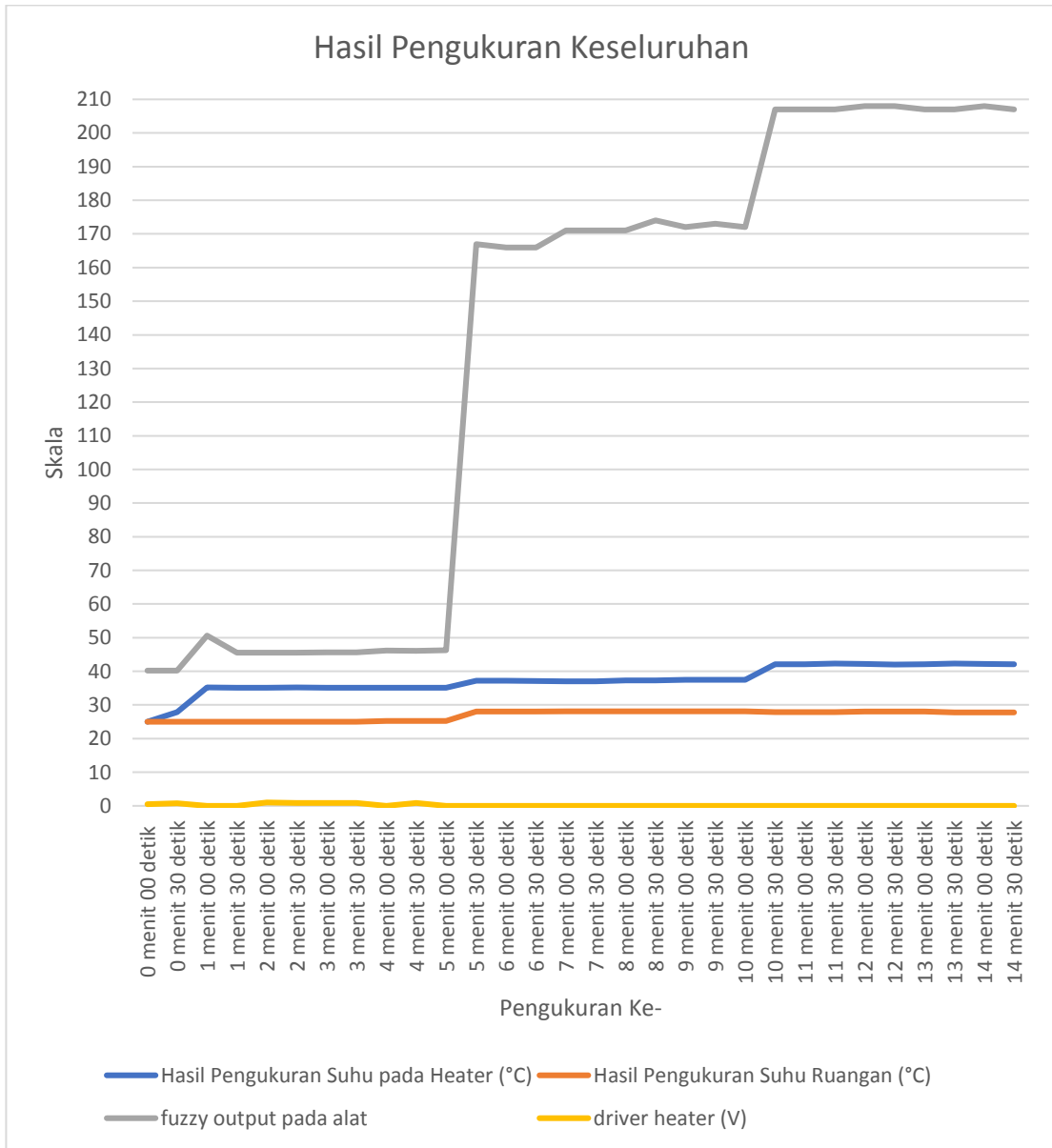
Lanjutan Tabel 4.10 Hasil Pengujian Kinerja Keseluruhan

1 menit 00 detik	35	27,1	50,9	1,1	PANAS
1 menit 30 detik	35.1	26	45.5	1,1	PANAS
2 menit 00 detik	35.1	25	45.5	1	PANAS
2 menit 30 detik	35.2	25	45.5	0.9	PANAS
3 menit 00 detik	35.1	25	45.6	0.9	PANAS
3 menit 30 detik	35.1	25	45.6	0.9	PANAS
4 menit 00 detik	35.1	25.2	46.2	1,1	PANAS
4 menit 30 detik	35.1	25.2	46.1	0.9	PANAS
5 menit 00 detik	35.1	25.2	46.3	1,2	PANAS
5 menit 30 detik	37.2	28	167	3,3	NORMAL
6 menit 00 detik	37.2	28	166	3,3	NORMAL
6 menit 30 detik	37.1	28	166	3,1	NORMAL
7 menit 00 detik	37	28.1	171	3,1	NORMAL
7 menit 30 detik	37	28.1	171	3,1	NORMAL
8 menit 00 detik	37.3	28.1	171	3,4	NORMAL
8 menit 30 detik	37.3	28.1	174	3,3	NORMAL
9 menit 00 detik	37.5	28.1	172	3,3	NORMAL
9 menit 30 detik	37.5	28.1	173	3,4	NORMAL
10 menit 00 detik	37.5	28.1	172	3,5	NORMAL
10 menit 30 detik	42.1	27.9	207	4,2	DINGIN

Lanjutan Tabel 4.10 Hasil Pengujian Kinerja Keseluruhan

11 menit 00 detik	42.1	27.9	207	4,2	DINGIN
11 menit 30 detik	42.3	27.9	207	4,3	DINGIN
12 menit 00 detik	42.2	28	208	4,3	DINGIN
12 menit 30 detik	42	28	208	4,1	DINGIN
13 menit 00 detik	42.1	28	207	4,1	DINGIN
13 menit 30 detik	42.3	27.8	207	4,3	DINGIN
14 menit 00 detik	42.2	27.8	208	4,2	DINGIN
14 menit 30 detik	42.1	27.8	207	4,1	DINGIN

Pada Gambar 4.23 menunjukkan grafik hasil pengujian kinerja keseluruhan, yang menggambarkan hubungan antara suhu *heater*, suhu ruangan, kendali logika fuzzy, dan tegangan. Grafik ini dihasilkan dari 30 kali pengujian yang dilakukan, sesuai dengan data yang tercatat dalam Tabel 4.10, yang mencakup hasil pengujian kinerja keseluruhan. Grafik ini memberikan gambaran yang jelas mengenai interaksi antara berbagai parameter yang diuji, serta kinerja sistem secara keseluruhan.



Gambar 4. 25 Hasil Pengujian Kinerja Keseluruhan

Gambar 4.23 menunjukkan hasil pengujian kinerja keseluruhan yang dilakukan dengan variasi suhu ruangan antara 25°C hingga 28°C, dan setting suhu *heater* pada 35°C, 37°C, dan 42°C. Pengujian ini menghasilkan data kinerja keseluruhan sebagai berikut:

- **Pada setting suhu 35°C**, alat menampilkan suhu *heater* sebesar 35.0°C, suhu ruangan sebesar 27.1°C, fuzzy output sebesar 50.9, tegangan sebesar 1.1V, dan status pengkondisian *heater* "PANAS" pada waktu 5 menit 30 detik.
- **Pada setting suhu 37°C**, alat menampilkan suhu *heater* sebesar 37.2°C, suhu ruangan sebesar 28°C, fuzzy output sebesar 167, tegangan sebesar 3.3V, dan status pengkondisian *heater* "NORMAL" pada waktu 5 menit 30 detik.
- **Pada setting suhu 42°C**, alat menampilkan suhu *heater* sebesar 42.1°C, suhu ruangan sebesar 27.9°C, fuzzy output sebesar 207, tegangan sebesar 4.2V, dan status pengkondisian *heater* "DINGIN" pada waktu 10 menit 30 detik.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa alat dapat mencapai suhu yang diinginkan dengan konsistensi yang baik, dan sistem kendali suhu berfungsi sesuai dengan status yang ditampilkan dalam berbagai kondisi pengujian.

Berikut merupakan perhitungan manual pada waktu 1 menit 00 detik sdengan suhu *heater* 35.2°C

1. Derajat Keanggotaan

Suhu *Heater* (35.2°C)

Dingin

$$\mu_{Suhu\ dingin}[35,2] = \left\{ \frac{37-35}{37-35} = 1 \right.$$

Normal

$$\mu_{Suhu\ normal}[35,2] = \left\{ \frac{35-35}{37-35} = 0 \right.$$

Panas

$$\mu_{Suhu\ Panas\ [35,2]} = 0 \text{ di luar rentang himpunan panas}$$

Suhu Ruangan (27,5°C)

Dingin

$$\mu_{Suhu\ Ruangan\ Panas2\ [25]} = 0 \text{ di luar rentang himpunan panas}$$

Normal

$$\mu_{\text{Suhu Ruang normal2}[25]} = \left\{ \frac{30-27,1}{30-25} = 0,58 \right.$$

Panas

$$\mu_{\text{Suhu Ruang dingin2}[25]} = 0 \text{ di luar rentang himpunan panas}$$

2. pAturan Fuzzy

IF Suhu IS Normal AND Suhu Ruang IS Normal2 THEN Output IS Kondisi Normal.

normal AND normal2 (Aturan 5)

$$\mu_{\text{normal}}(35.2) \text{ dan } \mu_{\text{normal2}}(27.5) = \max(1; 0,58) = 1$$

Output: KondisiNormal (40-60)

3. Menggabungkan Output Fuzzy

Menggunakan nilai keluaran dan derajat keanggotaan untuk aturan 2 dan 5:

- KondisiNormal dengan derajat 1 rentang [40, 60]
- KondisiNormal2 dengan derajat 0,58 rentang [40, 60]

4. Defuzzifikasi

$$Z = \frac{\sum_{j=1}^n Z_j \mu(Z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(Z_j)}$$

Penyebut (denominator):

$$\int_{40}^{60} \mu(z_j) dZ = \int_{40}^{60} 1 dZ = 1(60 - 40) = 20$$

Pembilang (numerator):

$$\begin{aligned} &= \int_{40}^{60} Z \cdot \mu(z_j) dZ = \int_{40}^{60} Z \cdot 1 dZ = 1 \int_{40}^{60} Z dZ \\ &= 1 \left[\frac{Z^2}{2} \right]_{40}^{60} = 1 \left[\frac{60^2}{2} - \frac{40^2}{2} \right]_{40}^{60} \\ &= 1 \left[\frac{3600}{2} - \frac{1600}{2} \right] = 1 \cdot 1000 \end{aligned}$$

$$= 1000$$

Sehingga nilai Znya

$$Z = \frac{\sum_{j=1}^n Z_j \mu(Z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(Z_j)}$$

$$= \frac{1000}{20} = 50$$

Dari perhitungan manual dengan hasil 50 yang tertampil pada alat terjadi perbedaan. Sedangkan pada pada pengujian keseluruhan pada saat suhu 35.2 °C sebesar 50.5 dapat dikatakan Perbedaan antara dua pembacaan ini adalah 50.5–50 =0.5. Perbedaan 0.5 sangat kecil dan berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa pengukuran suhu ruangan oleh kedua alat ukur ini konsisten dan akurat satu sama lain. Dengan kata lain, pengukuran suhu ruangan dapat dianggap akurat dan kedua alat tersebut dapat dipercaya untuk pengukuran suhu pada kondisi yang sama.

Pada Output fuzzy (Z) biasanya dihasilkan dalam rentang tertentu, misalnya 0–255 dalam sistem. Dalam PWM pada Arduino, nilai PWM juga memiliki rentang 0–255, sehingga hasil fuzzy dapat langsung diterapkan sebagai nilai PWM. Duty cycle dihitung berdasarkan nilai PWM dengan

$$\begin{aligned} \text{Duty Cycle (\%)} &= \frac{Z}{255} (100) \\ &= \frac{50}{255} (100) \\ &= 0,196\% = 0,196 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{out} &= \text{Duty Cycle} \times V_{in} \\ &= 0,196 \times 5 = 0,98 \text{ V} \end{aligned}$$

Dari perhitungan PWM manual dengan hasil 0,98 V yang tertampil pada alat terjadi perbedaan. Sedangkan pada pada pengujian keseluruhan pada saat suhu 35.2 °C didapat PWM sebesar 0,98 V dapat dikatakan Perbedaan antara dua pembacaan ini adalah 1,1-0,98 V =0,12. Perbedaan 0,12 kecil dikarenakan perhitungan 0 dibelakang koma

dan berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa pengukuran suhu ruangan oleh kedua alat ukur ini konsisten dan akurat satu sama lain. Dengan kata lain, pengukuran suhu ruangan dapat dianggap akurat dan kedua alat tersebut dapat dipercaya untuk pengukuran suhu pada kondisi yang sama

Berikut merupakan perhitungan manual pada waktu 5 menit 30 detik dengan suhu heater 37.2°C

1. Derajat Keanggotaan

Suhu Heater (37.2°C)

Dingin

$$\mu_{Suhu\ dingin[37,2]} = 0 \text{ di luar rentang himpunan dingin}$$

Normal

$$\mu_{Suhu\ normal[37,2]} = \left\{ \frac{37,2-35}{37-35} \right\} = 0.96$$

Panas

$$\mu_{Suhu\ Panas\ [37,2]} = 0 \text{ di luar rentang himpunan panas}$$

Suhu Ruangan (28°C)

Dingin2

$$\mu_{Suhu\ Ruangan\ Dingin2\ [28]} = 0 \text{ di luar rentang himpunan dingin2}$$

Normal2

$$\mu_{Suhu\ Ruangan\ normal2[28]} = \left\{ \frac{30-28}{30-25} \right\} = 0.4$$

Panas2

$$\mu_{Suhu\ Ruangan\ panas2[28]} = \left\{ \frac{28-25}{30-25} \right\} = 0.6$$

2. Aturan Fuzzy

IF Suhu IS Normal AND Suhu Ruangan IS Panas2 THEN Output IS Kondisi Panas.

normal AND panas2 (Aturan 6)

$$\mu_{\text{normal}}(37.2) \text{ dan } \mu_{\text{panas2}}(28) = \max(0.96, 0.6) = 0.96$$

Output: KondisiNormal (150 - 190)

3. Menggabungkan Output Fuzzy

Menggunakan nilai keluaran dan derajat keanggotaan untuk aturan 2 dan 5:

- KondisiNormal dengan derajat 0.6, rentang [150, 190]

4. Defuzzifikasi

$$Z = \frac{\sum_{j=1}^n Z_j \mu(Z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(Z_j)}$$

Penyebut (denominator):

$$\int_{150}^{190} \mu(z_j) dz = \int_{150}^{190} 0,96 dz = 0,96(190 - 150) = 38,4$$

Pembilang (numerator):

$$\begin{aligned} &= \int_{150}^{190} Z \cdot \mu(z_j) dz = \int_{150}^{190} Z \cdot 0,96 dz = 0,96 \int_{150}^{190} Z dz \\ &= 0,96 \left[\frac{Z^2}{2} \right]_{150}^{190} = 0,96 \left[\frac{190^2}{2} - \frac{150^2}{2} \right]_{150}^{190} \\ &= 0,96 \left[\frac{36100}{2} - \frac{22500}{2} \right] = 0,96 \cdot 6700 \\ &= 6432 \end{aligned}$$

Sehingga nilai Znya

$$Z = \frac{\sum_{j=1}^n Z_j \mu(Z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(Z_j)}$$

$$= \frac{6432}{38,4} = 167,5$$

Dari perhitungan manual dengan hasil 167,5 yang tertampil pada alat terjadi perbedaan. Sedangkan pada pada pengujian keseluruhan pada saat suhu 37.2 °C sebesar 167 dapat dikatakan Perbedaan antara dua pembacaan ini adalah 167,5–167 =0,5. Perbedaan 0,5 kecil dikarenakan perhitungan 0 dibelakang koma dan berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa pengukuran suhu ruangan oleh kedua alat ukur ini konsisten dan akurat satu sama lain. Dengan kata lain, pengukuran suhu ruangan dapat dianggap akurat dan kedua alat tersebut dapat dipercaya untuk pengukuran suhu pada kondisi yang sama.

Pada Output fuzzy (Z) biasanya dihasilkan dalam rentang tertentu, misalnya 0–255 dalam sistem. Dalam PWM pada Arduino, nilai PWM juga memiliki rentang 0–255, sehingga hasil fuzzy dapat langsung diterapkan sebagai nilai PWM. Duty cycle dihitung berdasarkan nilai PWM dengan

$$\begin{aligned} \text{Duty Cycle (\%)} &= \frac{Z}{255} (100) \\ &= \frac{167,5}{255} (100) \\ &= 65,6\% = 0,656 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{out} &= \text{Duty Cycle} \times V_{in} \\ &= 0,656 \times 5 = 3,28 \text{ V} \end{aligned}$$

Dari perhitungan PWM manual dengan hasil 3,28 V yang tertampil pada alat terjadi perbedaan. Sedangkan pada pada pengujian keseluruhan pada saat suhu 37.2 °C didapat PWM sebesar 3,28 V dapat dikatakan Perbedaan antara dua pembacaan ini adalah 3,3–3,28 V =0,02 . Perbedaan 0,02 kecil dikarenakan perhitungan 0 dibelakang koma dan berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Oleh karena itu, dapat dikatakan

bahwa pengukuran suhu ruangan oleh kedua alat ukur ini konsisten dan akurat satu sama lain. Dengan kata lain, pengukuran suhu ruangan dapat dianggap akurat dan kedua alat tersebut dapat dipercaya untuk pengukuran suhu pada kondisi yang sama.

Berikut merupakan perhitungan manual pada 10 menit 30 detik dengan suhu heater 42.1⁰C

1. Derajat Keanggotaan

Suhu Heater (42.1⁰C)

Dingin

$$\mu_{Suhu\ dingin}[42.1] = 0 \text{ di luar rentang himpunan dingin}$$

Normal

$$\mu_{Suhu\ normal}[42.1] = 0 \text{ di luar rentang himpunan dingin}$$

Panas

$$\mu_{Suhu\ Panas}[42.1] = 1 \text{ di luar rentang himpunan dingin}$$

Suhu Ruangan (27.9⁰C)

Dingin2

$$\mu_{Suhu\ Ruangan\ Dingin2}[27.9] = 0 \text{ di luar rentang himpunan dingin2}$$

Normal2

$$\mu_{Suhu\ Ruangan\ Dingin2}[27.9] = 0 \text{ di luar rentang himpunan Normal2}$$

Panas2

$$\mu_{Suhu\ Ruangan\ panas2}[27.9] = \left\{ \frac{30-27,9}{35-25} = 0.42 \right.$$

2. Aturan Fuzzy

IF Suhu Heater IS Panas AND Suhu Ruangan IS Panas2 THEN Output IS Kondisi Panas.

$$\mu_{normal}(42.1) \cap \mu_{normal2}(27.9) = \max(1,0.42) = 1$$

Output: KondisiPanas (200-220)

3. Menggabungkan Output Fuzzy

Menggunakan nilai keluaran dan derajat keanggotaan untuk aturan 2 dan 5:
Kondisi Dingin dengan derajat 0.1125, rentang [200, 220]

4. Defuzzifikasi

$$Z = \frac{\sum_{j=1}^n Z_j \mu(Z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(Z_j)}$$

Penyebut (denominator):

$$\int_{200}^{220} \mu(z_j) dZ = \int_{200}^{220} 1 dZ = 1(220 - 200) = 20$$

Pembilang (numerator):

$$\begin{aligned} &= \int_{200}^{220} Z \cdot \mu(z_j) dZ = \int_{200}^{220} Z \cdot 1 dZ = 1 \int_{200}^{220} Z dZ \\ &= 1 \left[\frac{Z^2}{2} \right]_{200}^{220} = 1 \left[\frac{220^2}{2} - \frac{200^2}{2} \right]_{200}^{220} \\ &= 1 \left[\frac{48400}{2} - \frac{40000}{2} \right] = 1 \cdot 4200 \\ &= 4200 \end{aligned}$$

Sehingga nilai Znya

$$Z = \frac{\sum_{j=1}^n Z_j \mu(Z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(Z_j)}$$

$$= \frac{4200}{20} = 210$$

Dari perhitungan manual dengan hasil 210 yang tertampil pada alat terjadi perbedaan. Sedangkan pada pada pengujian keseluruhan pada saat suhu 42,1 °C sebesar 207 dapat dikatakan Perbedaan antara dua pembacaan ini adalah 207-210 =-3. Perbedaan

3 kecil dikarenakan perhitungan 0 dibelakang koma dan berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa pengukuran suhu ruangan oleh kedua alat ukur ini konsisten dan akurat satu sama lain. Dengan kata lain, pengukuran suhu ruangan dapat dianggap akurat dan kedua alat tersebut dapat dipercaya untuk pengukuran suhu pada kondisi yang sama.

Pada Output fuzzy (Z) biasanya dihasilkan dalam rentang tertentu, misalnya 0–255 dalam sistem. Dalam PWM pada Arduino, nilai PWM juga memiliki rentang 0–255, sehingga hasil fuzzy dapat langsung diterapkan sebagai nilai PWM. Duty cycle dihitung berdasarkan nilai PWM dengan

$$\begin{aligned} \text{Duty Cycle (\%)} &= \frac{Z}{255} (100) \\ &= \frac{210}{255} (100) \\ &= 82,3\% = 0,823 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{out} &= \text{Duty Cycle} \times V_{in} \\ &= 0,823 \times 5 = 4,115 \text{ V} \end{aligned}$$

Dari perhitungan PWM manual dengan hasil 4,115 V yang tertampil pada alat terjadi perbedaan. Sedangkan pada pada pengujian keseluruhan pada saat suhu 37.2 °C didapat PWM sebesar 4,2V dapat dikatakan Perbedaan antara dua pembacaan ini adalah 4,2–4,115 = 0,085 . Perbedaan 0,085 kecil dikarenakan perhitungan 0 dibelakang koma dan berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa pengukuran suhu ruangan oleh kedua alat ukur ini konsisten dan akurat satu sama lain. Dengan kata lain, pengukuran suhu ruangan dapat dianggap akurat dan kedua alat tersebut dapat dipercaya untuk pengukuran suhu pada kondisi yang sama.

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan didapat beberapa kesimpulan diantara lain :

1. Penelitian ini membuktikan bahwa alat kalibrator termometer non kontak dengan sistem kontrol logika fuzzy Mamdani dapat untuk kalibrasi termometer non kontak klinik dengan ketelitian $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ alam rentang suhu pengujian (35°C , 39°C , dan 42°C);
2. Kalibrator yang dikembangkan menunjukkan perbedaan kecil dalam hasil pengukuran antara pengujian manual dan alat yang diukur, dengan perbedaan sekitar $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ yang masih dalam batas toleransi yang dapat diterima
3. Sistem kontrol logika fuzzy Mamdani yang diterapkan pada alat kalibrator terbukti efektif dalam mengendalikan suhu selama proses kalibrasi, menghasilkan nilai koreksi yang akurat dan dapat diandalkan;
4. Dari hasil pengembangan alat kalibrator termometer non kontak menggunakan sistem kontrol logika fuzzy Mamdani berhasil mencapai tujuan penelitian, yaitu Mengaplikasikan Metode Logika Fuzzy Mamdani dalam Kontek Sistem Kontrol Suhu agar mendapatkan suhu yang stabil.

5.2 Saran

Berdasarkan dari hasil yang telah dilakukan didapat beberapa saran diantara lain :

1. Pengembangan pada tampilan yang menggunakan Display TFT untuk memperindah tampilan dan lebih modern;
2. Sistem ini dapat dikembangkan dengan menambahkan *wireless*;

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. B. and J. D. Pušnik, “CALIBRATION OF NON-CONTACT THERMOMETERS I . Pušnik , J . Bojkovski and J . Drnovšek,” *Calibration of Non-Contact Thermometers*, pp. 2–5, 2023.
- [2] J. Setiyono, C. Sutowo, M. Sjahmanto, and A. Sebastian, “Pelatihan dan Praktikum Kalibrasi Alat Ukur Temperatur untuk Pendeteksi Suhu Tubuh Manusia di Pondok Pesantren Nurul Ihsan,” *J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 1, no. 2, pp. 17–25, 2021.
- [3] N. S. Yamanoor, S. Yamanoor, and K. Srivastava, “Low Cost Design of Non-Contact Thermometry for Diagnosis and Monitoring,” *2020 IEEE Glob. Humanit. Technol. Conf. GHTC 2020*, pp. 1–6, 2020, doi: 10.1109/GHTC46280.2020.9342853.
- [4] I. Pusnik, J. Bojkovski, and J. Drnovsek, “Development of a calibration bath for clinical thermometers,” *IFMBE Proc.*, vol. 16, no. 1, pp. 338–341, 2007, doi: 10.1007/978-3-540-73044-6_86.
- [5] H. Wiriadinata and A. Insani, “Kalibrasi Media Kalibrasi untuk Termometer Infrared Direct Reading Yang Bekerja Pada Panjang Gelombang (8-14) μ m,” *Instrumentasi*, vol. 43, no. 1, p. 65, 2019, doi: 10.31153/instrumentasi.v43i1.150.
- [6] F. Azharul, Rahmawati, Choiruddin, and Wilarso, “Rancang Bangun Alat Kalibrasi Pengukur Suhu Berbasis Digital Temperatur Controller,” *TEKNOSAINS J. Sains, Teknol. dan Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 109–116, 2021, doi: 10.37373/tekno.v8i2.103.

- [7] T. Barry, G. Fuller, K. Hayatleh, and J. Lidgey, "Self-calibrating infrared thermometer for remote monitoring in cold climates," *2011 IEEE Int. Conf. Imaging Syst. Tech. IST 2011 - Proc.*, vol. 44, no. 0, pp. 264–267, 2011, doi: 10.1109/IST.2011.5962169.
- [8] X. Li, H. Dong, and H. Chen, "Design of a Measurement Error Calibration Device for Platinum Resistance Temperature Transmitter," *Proc. 2020 IEEE Int. Conf. Adv. Electr. Eng. Comput. Appl. AEECA 2020*, pp. 602–606, 2020, doi: 10.1109/AEECA49918.2020.9213678.
- [9] A. Ramadhani, S. Lutfhiyah, and A. Pudji, "Perancangan Kalibrator Termometer Digital Menggunakan Media Air Berdasarkan Kontrol Pid Dan on / Off," *Politek. Kesehat. Kementeri. Kesehat. Surabaya*, pp. 1–5, 2020, [Online]. Available: <http://semnas.poltekkesdepkes-sby.ac.id/index.php/2020/article/view/300/114>
- [10] S. Sijabat, D. G. R. Aruan, D. Antoni, and B. Simarmata, "Studi Akurasi Alat Termometer Non-Contact Dengan Menggunakan Infra Red Pada Termometer Digital," *J. Mutiara Elektromedik*, vol. 5, no. 2, pp. 72–79, 2021, doi: 10.51544/elektromedik.v5i2.4502.
- [11] G. Nurdianto, M. Rahmat, and N. Nurrohman, "Uji Kinerja Movable Thermostatic Bath Sebagai Alat Kalibrasi Termokopel," *AME (Aplikasi Mek. dan Energi) J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 1, p. 13, 2019, doi: 10.32832/ame.v5i1.2353.
- [12] Kusumadewi, *Artificial intelligence (teknik dan aplikasinya)*. 2003.
- [13] B. Arifin and A. A. Nugroho, "Pengendalian Suhu dalam Ruang Berbasis Logika Fuzzy dengan Menggunakan National Instrument Myrio 1900," *Semin. Nas. Pendidik. Sains dan Teknol.*, pp. 226–231, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.unimus.ac.id/index.php/psn12012010/article/view/4221%0Ahttps>

://jurnal.unimus.ac.id/index.php/psn12012010/article/viewFile/4221/3916

- [14] B. Arifin, B. Y. Suprpto, S. A. D. Prasetyowati, and Z. Nawawi, "Steering Control in Electric Power Steering Autonomous Vehicle Using Type-2 Fuzzy Logic Control and PI Control," *World Electr. Veh. J.*, vol. 13, no. 3, 2022, doi: 10.3390/wevj13030053.
- [15] A. J. Rindengan and Y. A. R. Langi, *SISTEM FUZZY*. 2019.
- [16] Y. Mukhammad and A. S. Hyperastuty, "Sensitivitas Sensor MLX90614 Sebagai Alat Pengukur Suhu Tubuh Non-Contact Pada Manusia," *Indones. J. Prof. Nurs.*, vol. 1, no. 2, p. 51, 2021, doi: 10.30587/ijpn.v1i2.2339.
- [17] S. Iksal, Suherman, "Perancangan Sistem Kendali Otomatisasi On-Off Lampu Berbasis Arduino dan Borland Delphi," *Semin. Nas. Rekayasa Teknol.*, no. November, pp. 117–123, 2018.
- [18] F. Baskoro, H. W. Fahruri, M. Widyartono, and ..., "MONITORING ARUS, TEGANGAN, DAN SUHU PADA PROTOTYPE THERMOELECTRIC GENERATOR BERBASIS IoT," *J. Tek. ...*, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/view/36876><https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/download/36876/32821>
- [19] H. Suryantoro, "Prototype Sistem Monitoring Level Air Berbasis Labview dan Arduino Sebagai Sarana Pendukung Praktikum Instrumentasi Sistem Kendali," *Indones. J. Lab.*, vol. 1, no. 3, p. 20, 2019, doi: 10.22146/ijl.v1i3.48718.
- [20] D. . Ningtias, M. . Sudarman, and I. . Harsoyo, "Rancang Bangun Bantal Terapi Berbasis Arduino," *Elektrika*, vol. 11, no. 2, p. 26, 2019, doi: 10.26623/elektrika.v11i2.1706.
- [21] F. Puspasari, T. P. Satya, U. Y. Oktiawati, I. Fahrurrozi, and H. Prisyanti, "Analisis Akurasi Sistem sensor DHT22 berbasis Arduino terhadap

Thermohygrometer Standar,” *J. Fis. dan Apl.*, vol. 16, no. 1, p. 40, 2020, doi: 10.12962/j24604682.v16i1.5776.

- [22] Hartono and R. I. S., “Rancang Bangun Pulse Width Modulation (Pwm) Sebagai Pengatur Kecepatan Motor Dc Berbasis Mikrokontroler Arduino,” *J. Penelit.*, vol. 3, no. 1, pp. 50–58, 2018.

