

SKRIPSI
PERANCANGAN SISTEM KENDALI OTOMATIS PADA ALAT
PENDETEKSI SUHU MENGGUNAKAN METODE FUZZY
LOGIC



MUH HARIS
105821101518

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
MAKASSAR

2025

**PERANCANGAN SISTEM KENDALI OTOMATIS PADA ALAT
PENDETEKSI SUHU MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC**



**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Elektro Disusun dan Diajukan**

Disusun dan Diajukan Oleh:

**MUH HARIS
105821101518**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH**

MAKASSAR

2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **PERANCANGAN SISTEM KENDALI OTOMATIS PADA ALAT
PENDETEKSI SUHU MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC**

Nama : 1. Muh. Haris

Stambuk : 1. 105 82 11015 18

Makassar, 04 September 2025

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Andi Abd Halik Lateko Tj, S.T., M.T, Ph.D

Pembimbing II

Dr. Ir. H. Antarissubhi, S.T., M.T

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Elektro



Ir. Rahmania, S.T., M.T
NBM : 1005 971





بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Muh. Haris** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 11015 18, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0006/SK-Y/20201/091004/2025, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu, 30 Agustus 2025.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

Makassar,

12 Rabiul Awwal 1447 H
04 September 2025 M

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, ST., MT., IPU

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., ASEAN., Eng.

2. Penguji

a. Ketua : Prof. Dr. Ir. Hj. Harsah Nirwana, M.T.

b. Sekretaris : St. Khadijah, ST., M.Kom., IPP

3. Anggota

1. Dr. Hj. Rossy Timur Wahyuningsih, S.T., M.T.

2. Ir. Abdul Hafid, M.T.

3. Lisa Fitriani-Ishak, ST., MT

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Andi Abd Halik Lateko TI, S.T., M.T., Ph.D

Dr. Ik. H. Antarissubhi, S.T., M.T

Dekan



Muh. Syafaat S Kuba, S.T., M.T., IPM

NPM : 975 188



ABSTRAK

MUH HARIS. Perancangan Sistem Kendali Otomatis Pada Alat Pendeteksi Suhu Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*. Dibimbing oleh ANDI ABDUL HALIK LATEKO dan ANTARISSUBHI.

Perkembangan teknologi industri mendorong kebutuhan sistem otomatisasi yang efisien dan adaptif, salah satunya dalam pengendalian suhu ruangan. Suhu yang stabil berperan penting terhadap kenyamanan, konsentrasi, dan produktivitas kerja. Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem kendali suhu otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Uno R3 dengan sensor LM35, driver BTS7960, dan kipas DC, serta menggunakan metode Fuzzy Logic. Sistem bekerja dalam konfigurasi closed-loop, dengan pencatatan data real-time ke Microsoft Excel dan tampilan langsung pada LCD 16×2 I²C. Hasil pengujian akurasi menunjukkan adanya bias offset konstan sebesar $\pm 0,65$ °C antara LM35 dan termometer digital, dengan kesalahan relatif 2,11–2,91% (rata-rata 2,52%). Offset yang stabil ini dapat dengan mudah dikompensasi melalui kalibrasi atau koreksi perangkat lunak, sehingga LM35 layak digunakan sebagai sensor umpan balik pada level prototipe. Pengujian kinerja kendali fuzzy pada set point 25 °C menghasilkan undershoot $-0,19$ °C, dan steady-state error rata-rata 0,32%. Dead-zone mencegah switching berulang, sedangkan proteksi suhu tinggi (≥ 38 °C) berfungsi efektif. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan terbukti mampu menjaga suhu mendekati set point dengan osilasi minimal, efisiensi aktuasi yang baik, serta mendukung penerapan otomatisasi industri berbasis teknologi cerdas.

Kata kunci : Teknologi Industri, Mikrokontroler Arduino Uno R3, Metode *Fuzzy Logic*, Pencatatan Data *Real-Time*, Pengatur Suhu

ABSTRACT

MUH HARIS. *Design of an Automatic Control System for a Temperature Detection Device Using the Fuzzy Logic Method*. Supervised by ANDI ABDUL HALIK LATEKO and ANTARISSUBHI.

The development of industrial technology drives the demand for efficient and adaptive automation systems, one of which is temperature control. A stable temperature plays a crucial role in maintaining comfort, concentration, and work productivity. This study designs and implements an automatic temperature control system based on the Arduino Uno R3 microcontroller with the LM35 sensor, BTS7960 driver, and DC fan, utilizing the Fuzzy Logic method. The system operates in a closed-loop configuration, with real-time data logging to Microsoft Excel and direct display on a 16×2 I²C LCD. Accuracy testing shows a constant offset bias of ± 0.65 °C between the LM35 and a digital thermometer, with a relative error of 2.11–2.91% (average 2.52%). This stable offset can be easily compensated through calibration or software correction, making the LM35 suitable as a feedback sensor at the prototype level. Performance testing of the fuzzy controller at a 25 °C set point achieved undershoot of -0.19 °C, and an average steady-state error of 0.32%. The dead-zone effectively prevented repeated switching, while the high-temperature protection (≥ 38 °C) functioned reliably. Overall, the system successfully maintained the temperature close to the set point with minimal oscillation, good actuation efficiency, and strong potential for application in smart industrial automation.

Keywords: *Industrial Technology, Arduino Uno R3 Microcontroller, Fuzzy Logic Method, Real-Time Data Logging, Temperature Controller*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan menyelesaikan proposal skripsi dengan judul “Perancangan Sistem Kendali Otomatis pada Alat Pendeteksi Suhu Menggunakan Metode Fuzzy *Logic*”.

Dalam penyusunan proposal skripsi ini, penulis tidak terlepas dari kendala yang dihadapi seperti keterbatasan pengetahuan, sarana dan prasarana serta materi. Akan tetapi kendala - kendala tersebut dapat teratasi berkat bantuan dan dukungan berbagai pihak, oleh karena itu penulis tidak lupa mengucapkan terimakasih kepada:

1. Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik.
2. Bapak Dr.Ir. H Abd Rahim Nanda ST., MT., Sebagai Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar
3. Kedua orang tua yang selalu memberikan kasih sayang, doa dan dukungan secara moril dan materil.
4. Bapak Ir. Muh. Syafaat S Kuba, S.T., M.T., sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Ibu Ir. Rahmania, S.T.,M.T., sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Bapak Andi Abdul Halik Lateko Tj, S.T., M.T, Ph.D selaku Pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktunya dalam membimbing kami.
7. Bapak Dr. Ir. H.Antarissubhi, S.T.,M.T selaku Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktunya dalam membimbing kami.
8. Bapak dan ibu dosen serta staf pegawai pada fakultas teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
9. Teman-teman yang telah banyak membantu selama pembuatan proposal

skripsi.

Penyusun menyadari adanya keterbatasan di dalam penyusunan proposal skripsi ini. Semoga proposal ini dapat bermanfaat bagi penyusun dan bagi pembaca sekalian. Besar harapan penyusun akan diterimanya proposal skripsi ini serta saran dan kritik yang bersifat membangun. Atas perhatian, ketersediaan serta bantuan, penyusun mengucapkan terima kasih.

Makassar, 27 Agustus 2025

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PENGESAHAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penulisan.....	3
D. Batasan Masalah	4
E. Manfaat Penelitian	4
F. Sistematika dan Metode Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Sensor LM35.....	6
B. Suhu Normal Tubuh Manusia.....	7
C. Arduino Uno R3.....	8
D. Driver Motor BTS7960.....	13
E. Motor Dc.....	15
F. LCD 16 x 2.....	17
G. Modul I2C.....	19
H. Fuzzy Logic	20
I. Arduino IDE.....	23
J. Efl (Embedded Fuzzy Logic Library).....	24

BAB III METODE PENELITIAN	27
A. Teknik Pengumpulan Data Penelitian.....	27
B. Bahan Penelitian	27
C. Tahapan Penelitian.....	27
1. Diagram.....	28
2. Blok Diagram Sistem	31
3. Blok Diagram Kontrol	32
4. Prinsip Kerja	33
D. Waktu dan Lokasi Penelitian	34
E. Dokumentasi Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
A. Hasil Penelitian	35
1. Perancangan	35
2. Pengujian Akurasi Sensor Suhu LM35	40
B. Pembahasan.....	45
1. Analisis Kinerja Sensor Suhu LM35	45
2. Analisis Kinerja dan Keefektifan Sistem Kendali Fuzzy Logic	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	50
A. Kesimpulan	50
B. Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN.....	55
RIWAYAT HIDUP	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Batas Kenyamanan Termal.....	8
Tabel 2. 2 Fungsi Bagian-bagian Arduino.....	11
Tabel 2. 3 Pin Input BTS7960B.....	14
Tabel 2. 4 Pin Output BTS7960B.....	14
Tabel 3. 1 Klasifikasi Putaran Kipas Berdasarkan Suhu.....	33
Tabel 4. 1 Hasil Perbandingan Pembacaan Suhu Sensor LM35 dan Termometer Digital	40
Tabel 4. 2 Tabel Pengujian Sistem Fuzzy.....	43



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sensor LM35.....	6
Gambar 2. 2 Konfigurasi Pin LM35	7
Gambar 2. 3 Blok Diagram Mikrokontroler ATmega328	9
Gambar 2. 4 Board Arduino.....	10
Gambar 2. 5 Driver BTS7960.....	14
Gambar 2. 6 Fan DC	16
Gambar 2. 7 LCD 16 x 2.....	18
Gambar 2. 8 Kursor LCD 16 x 2.....	19
Gambar 2. 9 I2C.....	19
Gambar 2. 10 Blok Diagram Logika <i>Fuzzy</i>	21
Gambar 2. 11 Flowchart Fuzzy.....	25
Gambar 3. 1 Diagram Alir Metode Penelitian	28
Gambar 3. 2 Perancangan <i>Hardware</i>	30
Gambar 3. 3 Blok Diagram Sistem	31
Gambar 3. 4 Blok Diagram Kontrol	32
Gambar 4. 1 Skema Rangkaian.....	36
Gambar 4. 2 Implementasi Perangkat Keras.....	39
Gambar 4. 3 Hasil Pembacaan Suhu Ruang	39
Gambar 4. 4 Grafik Perbandingan Pembacaan Kedua Alat Ukur.	42
Gambar 4. 5 Grafik Respons Sistem Kendali Suhu Terhadap Waktu	45

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi telah berkembang pesat dari tahun ke tahun seiring dengan meningkatnya kebutuhan manusia di berbagai sektor kehidupan. Salah satu sektor yang sangat merasakan dampak dari kemajuan teknologi ini adalah sektor industri, terutama dalam hal otomatisasi proses kerja. Teknologi otomatis tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi, tetapi juga berperan penting dalam meningkatkan kualitas produk serta keselamatan kerja di lingkungan industri. Pengembangan teknologi di bidang industri sangat penting untuk terus ditingkatkan agar dapat menghasilkan berbagai terobosan baru yang mampu mempermudah dan mempercepat pekerjaan manusia, sekaligus mengurangi risiko kesalahan akibat faktor manusia (*human error*).

Salah satu bentuk perkembangan teknologi digital yang signifikan adalah pemanfaatan mikrokontroler, yaitu *chip* mikrokomputer yang secara fisik berupa sebuah IC (*Integrated Circuit*). Mikrokontroler memiliki keunggulan dalam hal fleksibilitas, efisiensi, dan biaya yang relatif terjangkau, sehingga sering dimanfaatkan dalam berbagai sistem otomatisasi industri. Mikrokontroler dapat digunakan sebagai penunjang sistem kontrol yang aplikasinya sangat luas, seperti kontrol suhu, kontrol level air, kontrol kecepatan motor, monitoring tekanan, sistem keamanan otomatis, dan lain sebagainya.

Dalam beberapa sektor industri tertentu, terdapat standar dan aturan yang mewajibkan pengaturan suhu ruangan secara optimal untuk menunjang kenyamanan dan kinerja karyawan. Stabilitas suhu ruangan sangat berpengaruh terhadap kondisi fisik dan mental para pekerja, terutama bagi operator mesin yang membutuhkan konsentrasi tinggi dalam menjalankan

tugasnya. Lingkungan kerja yang ideal tidak hanya mengurangi risiko kelelahan, tetapi juga dapat meningkatkan produktivitas kerja secara signifikan. Faktor-faktor seperti suhu, pencahayaan, kelembapan udara, serta tingkat kebisingan telah terbukti secara ilmiah dapat memengaruhi tingkat fokus dan performa para operator mesin bubut dan pekerja industri lainnya.

Untuk menjawab tantangan tersebut, dibutuhkan suatu sistem kontrol otomatis yang mampu menjaga suhu ruangan agar tetap stabil sesuai dengan kebutuhan. Teknologi mikrokontroler dapat dimanfaatkan untuk membangun sistem pengendalian suhu yang efektif dan efisien. Dalam implementasinya, sistem ini biasanya menggunakan aktuator berupa kipas untuk mengatur sirkulasi udara dan menjaga suhu tetap dalam batas optimal.

Dalam mendeteksi suhu, salah satu perangkat sensor yang banyak digunakan adalah sensor suhu LM35. Sensor LM35 dikenal karena desainnya yang sederhana, keandalannya yang tinggi, serta karakteristik linieritasnya yang baik dalam mengkonversi tegangan menjadi besaran suhu. Sensor ini sangat cocok digunakan dalam aplikasi sistem kontrol suhu berbasis mikrokontroler karena kemudahannya dalam integrasi dengan sistem digital dan analognya.

Namun, dalam praktiknya, proses kontrol otomatis seringkali menghadapi tantangan berupa gangguan dari lingkungan maupun perubahan kondisi yang tidak terduga. Gangguan tersebut dapat menyebabkan sistem tidak berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan kendali yang adaptif dan cerdas. Salah satu metode yang cukup populer dan banyak diterapkan di berbagai aplikasi industri adalah metode kendali Fuzzy Logic (logika fuzzy).

Sistem kendali fuzzy memiliki keunggulan dalam menangani ketidakpastian dan ambiguitas yang sering terjadi pada proses kendali dalam dunia nyata. Dengan menggunakan pendekatan berbasis logika linguistik dan aturan-aturan yang mendekati cara berpikir manusia, logika fuzzy dapat

memberikan respons yang lebih fleksibel dibandingkan dengan metode kontrol konvensional. Dalam konteks pengendalian suhu ruangan, sistem kendali fuzzy mampu mengolah data masukan dari sensor suhu seperti LM35 dan mengatur kecepatan kipas atau aktuator lainnya secara bertahap dan proporsional berdasarkan kondisi lingkungan.

Dengan menggabungkan teknologi mikrokontroler, sensor suhu, dan metode kontrol fuzzy, maka akan tercipta sebuah sistem kontrol suhu yang adaptif, efisien, dan sesuai untuk digunakan dalam lingkungan industri modern. Sistem ini tidak hanya membantu menjaga kenyamanan kerja, tetapi juga mendukung terciptanya lingkungan kerja yang produktif dan berkelanjutan seiring perkembangan teknologi industri 4.0.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana cara membuat prototype Perancangan Sistem Kendali Otomatis Pada Alat Pendeteksi Suhu Menggunakan Metode Fuzzy Logic agar suhu tetap dalam *set point*?
2. Bagaimana implementasi sensor LM35 dalam pembacaan suhu pada Perancangan Sistem Kendali Otomatis Pada Alat Pendeteksi Suhu Menggunakan Metode Fuzzy Logic?
3. Bagaimana implementasi kontrol Fuzzy pada sistem kontrol suhu?
4. Bagaimana implementasi LCD 16x2 dengan modul I2C untuk menampilkan hasil pembacaan suhu dari sensor LM35 secara real-time?

C. Tujuan Penulisan

Melihat latar belakang yang telah diuraikan pada awal bab, tujuan penulisan ini ialah:

1. Dapat membuat prototype Perancangan Sistem Kendali Otomatis Pada Alat Pendeteksi Suhu Menggunakan Metode Fuzzy Logic dengan suhu tetap dalam *set point*.

2. Dapat menganalisa implementasi sensor LM35 dalam keefektifannya sebagai sensor deteksi suhu pada Perancangan Sistem Kendali Otomatis Pada Alat Pendeteksi Suhu Menggunakan Metode Fuzzy Logic.
3. Dapat menganalisa keefektifan kontrol Fuzzy dalam mempertahankan kestabilan suhu.
4. Menerapkan LCD 16x2 berbasis I2C sebagai media tampilan suhu agar hasil pembacaan dapat dimonitor langsung tanpa perangkat tambahan.

D. Batasan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini kami membatasi masalah yang dibahas, yaitu :

1. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu LM35.
2. Sensor ini berfokus untuk mengendalikan suhu.
3. Tidak membahas mekanik secara detail.
4. Tidak membahas mikrokontroler Arduino Uno R3 secara detail.
5. Metode yang digunakan untuk mengontrol range suhu adalah Fuzzy

E. Manfaat Penelitian

1. Menyediakan sistem pengatur suhu otomatis yang dapat menjaga kestabilan suhu ruangan kerja industri, sehingga operator mesin bisa bekerja dalam kondisi yang lebih nyaman dan produktif tanpa harus memantau atau menyesuaikan suhu secara manual.
2. Meningkatkan efisiensi penggunaan kipas pendingin melalui metode fuzzy logic, di mana kecepatan kipas dapat menyesuaikan secara bertahap sesuai perubahan suhu yang terdeteksi. Hal ini membantu mencegah penggunaan daya yang tidak perlu dan menjaga suhu tetap pada level yang ideal.
3. Mendorong pemanfaatan sensor LM35 dalam sistem kendali berbasis mikrokontroler, dengan menguji keakuratannya dalam mendeteksi

suhu dan kemudahan integrasinya dengan perangkat Arduino, yang cocok digunakan dalam berbagai aplikasi industri berskala kecil hingga menengah.

4. Menjadi referensi pengembangan sistem kendali suhu berbasis fuzzy untuk aplikasi lain, seperti sistem pendingin ruangan otomatis, perangkat rumah pintar, atau sistem kontrol suhu untuk budidaya tanaman dan peternakan yang memerlukan pengaturan suhu yang stabil.

F. Sistematika dan Metode Penulisan

Sistematika penulisan yang kami lakukan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Pada BAB I : Pendahuluan yang menjelaskan secara umum tentang latar belakang penulisan, tujuan penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

Pada BAB II : Membahas tentang tinjauan umum sistem kendali suhu, meliputi penggunaan komponen dan juga detail mengenai metode yang digunakan.

Pada BAB III : Membahas tentang waktu, tempat, alur dan metode penelitian.

Pada BAB IV : Merupakan inti dari penulisan tugas akhir ini, yaitu data hasil penelitian dan analisa kontrol suhu melalui kontrol kecepatan kipas DC dengan metode Fuzzy logic.

Pada BAB V : merupakan bab penutup dari tugas akhir ini yang terdiri atas kesimpulan dan saran.

Metode penulisan yang kami lakukan adalah mengolah data dengan mempergunakan persamaan-persamaan pada landasan teori, karakteristik, tabel referensi serta melakukan studi literatur terhadap buku-buku referensi yang digunakan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sensor LM35

Menurut Setyawan P. Sakti (2017) dalam bukunya Pengantar Teknologi Sensor, sensor adalah suatu komponen atau perangkat yang mampu mendeteksi perubahan besaran fisik atau kimia dari lingkungan sekitarnya, lalu mengubahnya menjadi sinyal listrik. Sensor berperan sebagai penghubung antara dunia fisik dan sistem elektronik. Sensor bekerja berdasarkan konversi energi dari satu bentuk ke bentuk lain:

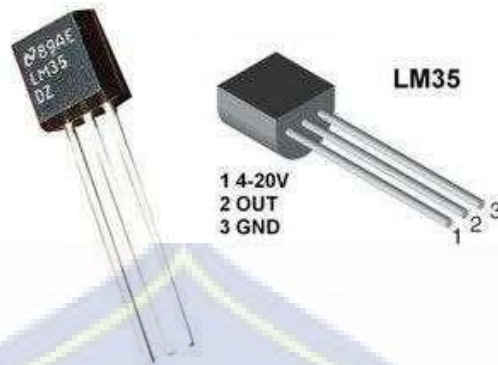
1. Energi fisik \rightarrow sinyal listrik (misal: suhu menjadi tegangan)
2. Sensor primer (detektor): mendeteksi perubahan fisik
3. Sensor sekunder (transduser): mengubah hasil deteksi menjadi sinyal listrik

Sensor suhu LM35 adalah komponen elektronika yang memiliki fungsi untuk mengubah besaran suhu menjadi besaran listrik dalam bentuk tegangan. Tegangan ideal yang keluar dari LM35 mempunyai perbandingan 100°C setara dengan 1 volt.



Gambar 2. 1 Sensor LM35
(Sumber: Tokopedia.com)

Sensor ini memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi, yaitu $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pada suhu ruang, dan tidak memerlukan kalibrasi eksternal. LM35 juga dirancang untuk bekerja pada rentang tegangan *input* antara 4 hingga 30 VDC, dengan konsumsi arus yang sangat rendah (sekitar $60\ \mu\text{A}$), sehingga cocok digunakan dalam sistem berbasis daya rendah.



Gambar 2. 2 Konfigurasi Pin LM35
(Sumber: Tokopedia.com)

Konfigurasi pin dari sensor LM35 terdiri dari tiga kaki utama, yaitu:

1. VCC (pin 1): Tegangan input (biasanya 5V)
2. Vout (pin 2): Tegangan keluaran analog (output)
3. GND (pin 3): Ground (tanah)

B. Suhu Normal Tubuh Manusia

Suhu tubuh manusia normal umumnya berada pada kisaran $36,5^{\circ}\text{C}$ – $37,5^{\circ}\text{C}$, yang diperlukan untuk menjaga kestabilan fungsi fisiologis tubuh (Nurfajriyani dan Fadilatussaniatun, 2020). Sistem termoregulasi manusia berfungsi mempertahankan suhu inti ini dengan cara menyesuaikan sirkulasi darah, pengeluaran keringat, atau peningkatan metabolisme ketika terjadi perubahan suhu lingkungan. Apabila suhu lingkungan terlalu tinggi, tubuh melepaskan panas melalui radiasi dan penguapan keringat. Sebaliknya, jika suhu lingkungan terlalu rendah, tubuh mengurangi aliran darah ke permukaan kulit dan meningkatkan metabolisme untuk menghasilkan panas tambahan.

Dalam konteks kenyamanan termal, Standar Nasional Indonesia (SNI 03-6572-2001) menetapkan rentang kenyamanan pada ruang kerja antara $20,5^{\circ}\text{C}$ – $27,1^{\circ}\text{C}$, dengan titik optimal pada $22,8^{\circ}\text{C}$ – $25,8^{\circ}\text{C}$. Batas ambang atas ditetapkan pada $28,0^{\circ}\text{C}$ dan $31,0^{\circ}\text{C}$ untuk kondisi hangat nyaman, sementara batas bawah adalah $20,5^{\circ}\text{C}$ untuk kondisi sejuk nyaman.

Hal ini menunjukkan bahwa kenyamanan termal manusia tidak hanya ditentukan oleh suhu tubuh, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti kelembaban udara, kecepatan angin, serta jenis aktivitas yang dilakukan.

Selain itu, penelitian di iklim tropis menunjukkan adanya perbedaan dengan standar internasional (ASHRAE 55-1999), di mana pekerja di daerah tropis masih merasa nyaman pada suhu yang lebih tinggi, yakni sekitar 24,9 °C – 28,5 °C. Fakta ini menegaskan bahwa faktor geografis dan iklim lokal perlu dipertimbangkan dalam perancangan sistem pengendali suhu di Indonesia.

Tabel 2. 1 Batas Kenyamanan Termal

Kondisi	Temperatur Efektif
Sejuk nyaman	20,5 °C – 22,8 °C
Ambang batas	24,0 °C
Nyaman optimal	22,8 °C – 25,8 °C
Ambang batas	28,0 °C
Hangat nyaman	25,8 °C – 27,1 °C
Ambang batas	31,0 °C

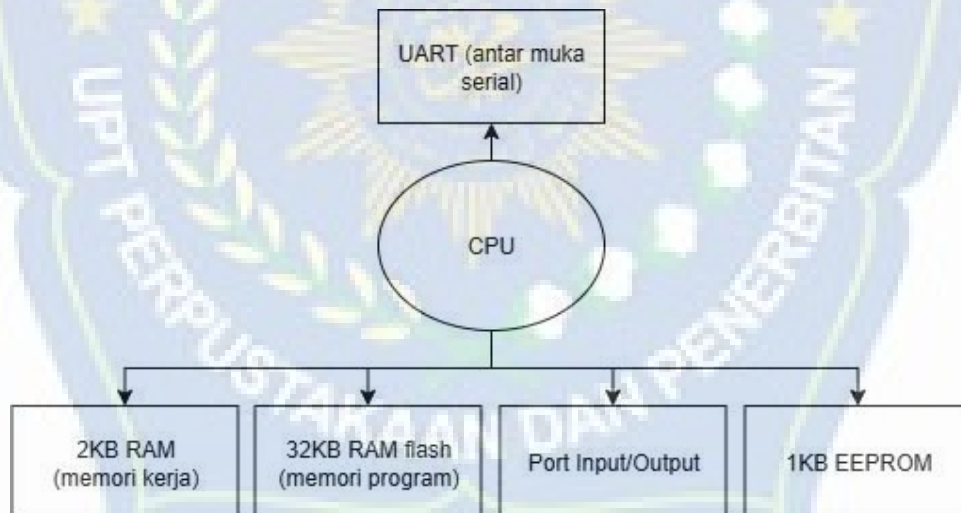
Sumber: SNI 03-6572-2001

Dalam penelitian ini, rentang suhu normal manusia serta standar kenyamanan termal tersebut dijadikan sebagai acuan *set point* dalam sistem pengendali suhu berbasis logika *fuzzy*. Nilai suhu aktual dari sensor akan dibandingkan dengan rentang kenyamanan, kemudian diproses melalui tahapan fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Hasil keluaran berupa sinyal PWM digunakan untuk menyesuaikan kecepatan kipas DC, sehingga suhu lingkungan tetap terjaga pada kondisi optimal sesuai kebutuhan kenyamanan manusia.

C. Arduino Uno R3

Mikrokontroler adalah sebuah chip yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program didalamnya. Mikrokontroler umumnya terdiri dari CPU (*Central Processing Unit*), memori, *input* atau *output* tertentu dan unit pendukung seperti ADC (*Analog-to-Digital Converter*) yang sudah terintegrasi di dalamnya. Beberapa mikrokontroler memiliki *timer* atau *counter*, ADC (*Analog to Digital Converter*), dan komponen lainnya.

Arduino merupakan papan sirkuit yang menggunakan mikrokontroler 8-bit sebagai komponen utamanya. Pada Arduino Uno, mikrokontroler yang digunakan adalah tipe ATmega328. Untuk memberikan pemahaman mengenai elemen-elemen yang ada di dalam mikrokontroler ATmega328, gambar 2.5 menyajikan sebuah diagram blok sederhana yang menggambarkan struktur internal dari mikrokontroler tersebut.:



Gambar 2. 3 Blok Diagram Mikrokontroler ATmega328

Penjelasan gambar 2.3 adalah sebagai berikut:

1. *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART) adalah *interface* atau antarmuka yang digunakan untuk komunikasi serial.
2. 2KB RAM pada memori kerja bersifat *volatile* (hilang saat daya dimatikan), digunakan oleh *variable* dalam program.

3. 32KB RAM *flash memory* bersifat *non-volatile*, digunakan untuk menyimpan program yang dimuat dari komputer. Selain menyimpan program, *flash memory* ini juga menyimpan *bootloader* yaitu program inisiasi yang ukurannya kecil dan dijalankan oleh CPU saat daya dihidupkan. Setelah *bootloader* selesai dijalankan, selanjutnya program dalam RAM akan dieksekusi.
4. 1KB EEPROM bersifat *non-volatile* dan digunakan untuk menyimpan data yang tidak boleh hilang saat daya dimatikan. Namun memori ini tidak digunakan pada papan Arduino.
5. *Central Processing Unit* (CPU) berfungsi untuk menjalankan setiap instruksi dari program. CPU merupakan bagian dari mikrokontroler.
6. Pin *input/output*, berfungsi untuk menerima atau mengeluarkan data digital maupun analog



Gambar 2. 4 Board Arduino

(Sumber: Tokopedia.com)

Berdasarkan gambar 2.4, Arduino Uno memiliki total 14 pin *input* dan *output*, yaitu 6 pin yang berfungsi sebagai *output* PWM, 6 pin *input* analog, crystal osilator 16 MHz, koneksi USB, *jack power*, kepala ICSP, dan tombol reset. Penjelasan bagian-bagian Arduino Uno terdapat pada tabel 2.3 :

Tabel 2. 2 Fungsi Bagian-bagian Arduino

Nama Bagian	Fungsi
USB Connector	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menghubungkan Arduino dengan komputer 2. Melakukan komunikasi serial seperti mengirimkan dan menerima data sensor melalui serial terminal pada Arduino IDE. 3. Memberi daya listrik pada board Arduino
Crystal Oscillator	Jantung Arduino yang membuat dan mengirimkan detak ke mikrokontroler agar beroperasi setiap detiknya.
Voltage Regulator	Menstabilkan tegangan listrik yang masuk ke Arduino
Pin Reset	Mereset Arduino agar program dimulai dari awal. Cara penggunaannya yaitu dengan menghubungkan pin reset ini langsung ke <i>ground</i>
Pin Tegangan 3.3 Volt	Pin sumber (positif) untuk komponen yang menggunakan tegangan 3.3 volt
Pin Tegangan 5 Volt	Pin sumber (positif) untuk komponen yang menggunakan tegangan 5 volt. Pin 5 volt sering juga disebut pin VCC
Pin Ground (GND)	Pin negatif pada tiap komponen yang dihubungkan ke Arduino
Pin Penambah Tegangan (VIN)	Media pemasok listrik tambahan dari luar sebesar 5 volt bila tak ingin menggunakan <i>Power USB</i> atau <i>Power Jack</i> .
Power Jack	Pin untuk sumber yang berfungsi menghidupkan Arduino

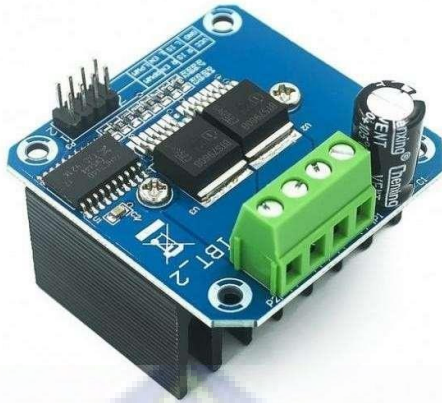
<p>Main Microcontroller (IC ATMEGA328p)</p>	<p>IC Microcontroller keluaran ATMEL dengan bootloader Arduino UNO. Berfungsi sebagai otak yang mengatur pin-pin pada Arduino.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arsitektur: AVR 8-bit RISC • Kecepatan Clock: hingga 20 MHz • Flash Memory: 32 KB • SRAM: 2 KB • EEPROM: 1 KB • I/O Pins: 23 pin I/O (bisa digunakan digital I/O, sebagian punya fungsi khusus) • Timer: <ul style="list-style-type: none"> ◦ 2 × 8-bit Timer/Counter ◦ 1 × 16-bit Timer/Counter • ADC: 10-bit, 6 channel (di paket DIP-28), sampai 8 channel (di paket TQFP/QFN) • Komunikasi: <ul style="list-style-type: none"> ◦ USART (Serial) ◦ SPI ◦ I²C (TWI) • Interrupts: hingga 24 sumber interrupt • Package: DIP-28, QFN-32, TQFP-32 • Operating Voltage: <ul style="list-style-type: none"> ◦ 1.8 – 5.5 V
---	---

	<ul style="list-style-type: none"> • Consumption: sekitar 1 mA @ 1 MHz, 1.8V • Low-power Features: <i>mode sleep (Idle, ADC Noise Reduction, Power-down, Power-save, Standby, Extended Standby)</i>
<p>Tombol Reset</p>	<p>Pengulang program dari awal dengan cara menekan tombol</p>

Pin ICSP (<i>In-Circuit Serial Programming</i>)	Memprogram mikrokontroler seperti Atmega328 melalui jalur USB Atmega16U2
Lampu Indikator <i>Power</i>	Indikator bahwa Arduino sudah mendapatkan suplai tegangan listrik yang baik
Lampu TX (<i>transmit</i>)	Penanda bahwa sedang terjadi pengiriman data dalam komunikasi serial
Lampu RX (<i>receive</i>)	Penanda bahwa sedang terjadi penerimaan data dalam komunikasi serial
Pin AREF (<i>Analog Reference</i>)	Mengatur tegangan referensi eksternal yang biasanya berada di kisaran 0 sampai 5 volt
Pin SDA (Serial Data)	Menghantarkan data dari modul I2C atau yang sejenisnya
Pin SCL (Serial <i>Clock</i>)	Menghantarkan sinyal waktu (<i>clock</i>) dari modul I2C ke Arduino
I/O Digital	Sebagai input maupun output dan dapat diatur dalam program
Power	Untuk mengambil power 5V, 3.3V, GND

D. Driver Motor BTS7960

Driver motor DC adalah sebuah rangkaian elektronik yang berfungsi mengubah besaran digital menjadi besaran analog. Sinyal yang berasal dari pin digital Arduino berfungsi sebagai trigger untuk menggerakkan motor DC. Fungsinya tidak hanya sebagai jembatan komunikasi, tetapi juga untuk memperkuat sinyal keluaran dari mikrokontroler, yang umumnya memiliki daya rendah. Hal ini penting karena sinyal langsung dari mikrokontroler, seperti Arduino, biasanya tidak memiliki tegangan dan arus yang cukup untuk menggerakkan beban seperti motor DC atau pompa 12 Volt. Oleh karena itu, penggunaan driver motor sangat diperlukan agar aktuator dapat menerima daya yang sesuai untuk beroperasi dengan optimal.



Gambar 2. 5 Driver BTS7960

(Sumber: Tokopedia.com)

Pin konfigurasi dari penggunaan driver 43A H-Bridge Drive PWM ini dapat dilihat pada tabel 2.3 dan tabel 2.4:

Tabel 2. 3 Pin Input BTS7960B

No.	Detail Pin Input	Keterangan
1.	RPWM	Input PWM Forward Level, Aktif High
2.	LPWM	Input PWM Reverse Level, Aktif High
3.	R_EN	Input Enable Forward Driver, Aktif High
4.	L_EN	Input Enable Reverse Driver, Aktif High
5.	R_IS	Forward Drive, Side current alarm output
6.	L_IS	Reverse Drive, Side current alarm output
7.	VCC	+5 V Power Supply Mikrokontroler
8.	GND	Gnd Power Supply Mikrokontroler

Tabel 2. 4 Pin Output BTS7960B

No.	Detail Pin Output	Keterangan
1.	M+	Di hubungkan ke Motor DC (V+)
2.	M-	Di hubungkan ke Motor DC (V-)
3.	B+	Tegangan Input V+ Motor
4.	B-	Tegangan Input V- Motor

Modul BTS7960 Dual H-Bridge merupakan perangkat yang dirancang

khusus untuk mengontrol motor DC melalui mikrokontroler. Mikrokontroler umumnya memiliki level logika keluaran sebesar 3.3V atau 5V dengan arus yang relatif kecil, sehingga tidak mampu secara langsung menggerakkan motor yang memerlukan tegangan dan arus lebih tinggi. Untuk itu, diperlukan driver motor sebagai perantara yang dapat memperkuat sinyal kendali dari mikrokontroler ke motor. Selain berfungsi untuk mengatur kondisi hidup/mati dan arah putaran motor, driver motor seperti BTS7960 juga mendukung pengaturan kecepatan motor melalui teknik PWM (*Pulse Width Modulation*).

Motor Driver BTS7960 merupakan modul motor driver yang menggunakan IC BTS7960 H-Bridge sehingga dapat digunakan untuk mendrive atau mengontrol sebuah motor DC dengan dua arah, yaitu *counter clock wise* (CCW) dan *clock wise* (CW). IC tersebut tidak hanya berfungsi sebagai penguat sinyal, tetapi juga menyediakan fitur proteksi seperti pembatasan laju perubahan tegangan (*slew rate control*) serta perlindungan terhadap suhu berlebih. Selain itu, BTS7960 menggunakan rangkaian MOSFET driver yang mampu memberikan perlindungan terhadap kondisi abnormal seperti tegangan berlebih, arus berlebih, maupun hubung singkat (*short circuit*) pada rangkaian.

E. Motor DC

Motor DC adalah motor yang menggunakan sumber tegangan DC dan digunakan untuk mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanis. Komponen ini bekerja dengan prinsip electromagnet. Ketika sumber tegangan diberikan, medan magnet di bagian yang diam atau disebut stator akan terbentuk. Medan magnet ini akan membuat rotor atau bagian yang bergerak berputar dan tentu saja dapat dimanfaatkan untuk memutar benda lain misalnya roda.

Fan DC adalah suatu alat yang memiliki fungsi untuk menjaga suhu

udara agar tetap stabil dan tidak melewati batas suhu yang ditentukan. Fan atau kipas angin banyak digunakan sebagai pembuang panas (*exhaust fan*) atau penurun suhu pada suatu perangkat elektronik maaupun pada perangkat komputer dengan menggunakan arus DC berkekuatan 12 Volt.



Gambar 2. 6 Fan DC
(Sumber: Tokopedia.com)

Saat tegangan DC 12V diberikan ke terminal kipas, arus listrik akan mengalir melalui kumparan dalam motor. Arus ini menciptakan medan magnet yang berinteraksi dengan magnet permanen di dalam motor, sehingga menghasilkan gaya putar (torsi). Akibatnya, poros motor mulai berputar dan memutar baling-baling kipas, menciptakan aliran udara.

Pada kipas *brushless* DC (BLDC), sistem komutasi elektronik menggantikan sikat (*brush*) mekanis untuk mengalirkan arus ke kumparan secara bergantian. Sistem ini membuat kipas lebih tahan lama, memiliki efisiensi tinggi, dan bekerja dengan suara yang lebih senyap.

Beberapa kipas DC juga dilengkapi dengan fitur PWM (*Pulse Width Modulation*) atau kontrol kecepatan berbasis tegangan, yang memungkinkan pengaturan kecepatan putaran sesuai kebutuhan sistem pendinginan.

F. LCD 16 x 2

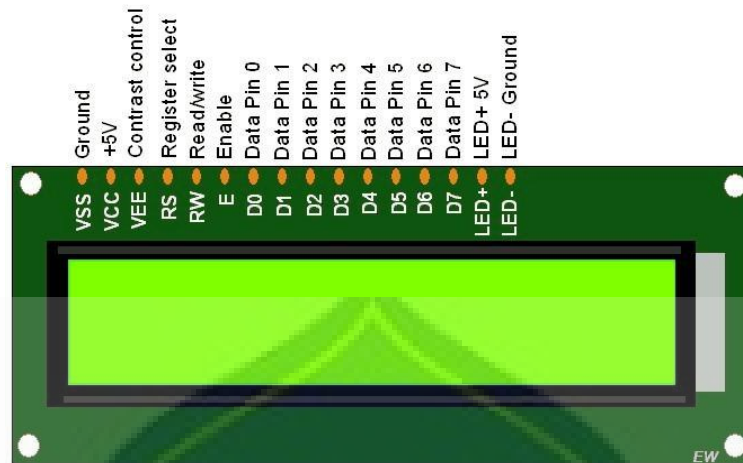
LCD adalah suatu display dari bahan cairan kristal yang pengoperasiannya menggunakan sistem dot matriks. LCD banyak digunakan sebagai display dari alat- alat elektronika seperti kalkulator, multimeter digital, jam digital dan sebagainya. Secara Garis Besar, terdapat dua jenis LCD yaitu LCD teks dan LCD grafik. LCD teks digunakan untuk menampilkan teks atau simbol-simbol tertentu. Adapun LCD grafik memungkinkan untuk menampilkan gambar.

LCD 16 x 2 adalah modul tampilan yang digunakan untuk menampilkan karakter berupa angka, huruf, atau simbol secara jelas dan efisien dengan konsumsi arus yang rendah. Modul LCD dot matrix M1632 terdiri dari dua bagian utama:

- Bagian penampil karakter (layar LCD), dan
- Bagian sistem prosesor (kontroler) yang terpasang di bagian belakang LCD.

Prosesor ini berfungsi untuk mengatur tampilan karakter pada layar serta mengelola komunikasi antara LCD dengan mikrokontroler yang menggunakannya. Modul kontrol M1632 pada LCD ini juga memiliki memori internal tersendiri untuk mendukung pengolahan data tampilan, yaitu :

1. CGROM (*Character Generator Read Only Memory*)
2. CGRAM (*Character Generator Random Access Memory*)
3. DDRAM (*Display Data Random Access Memory*)



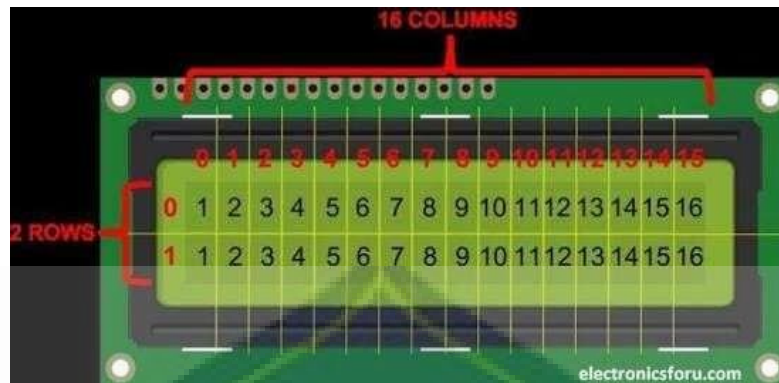
Gambar 2. 7 LCD 16 x 2

(Sumber: Tokopedia.com)

- Data Pin 0 – Data Pin 7 adalah jalur data (data bus) yang berfungsi sebagai jalur komunikasi untuk mengirimkan dan menerima data atau instruksi dari mikrokontroler ke modul LCD.
- RS (*Register Select*) adalah pin yang berfungsi sebagai selektor register, yaitu dengan memberikan logika LOW (0) sebagai register perintah dan logika HIGH (1) sebagai register data.
- R/W (*Read/Write*) adalah pin yang berfungsi untuk menentukan mode baca atau tulis dari data yang terdapat pada D0 – D7, yaitu dengan memberikan logika LOW (0) untuk fungsi read dan logika HIGH (1) untuk mode write.
- *Enable* (E), berfungsi sebagai *Enable Clock* LCD, logika 1 setiap kali pengiriman atau pembacaan data.

Tampilan LCD memiliki kursor x dan y. Kursor x dimulai dari 0 sampai 15 dan kursor y dimulai dari 0 sampai 1. Gambar dari kursor LCD seperti pada gambar

2.8 :



Gambar 2. 8 Kursor LCD 16 x 2

(Sumber: Tokopedia.com)

G. Modul I2C

I2C merupakan protokol komunikasi serial sinkron yang dikembangkan oleh Philips (sekarang NXP Semiconductors). Protokol ini hanya membutuhkan dua jalur data, yaitu:

1. SDA (Serial Data Line): jalur data dua arah
2. SCL (Serial Clock Line): jalur clock yang disediakan oleh master

I2C mendukung komunikasi multi-master dan multi-slave, serta menggunakan sistem addressing 7-bit atau 10-bit. Kecepatan standar komunikasi I2C adalah 100 kbps (Standard Mode), namun terdapat juga Fast Mode (400 kbps), Fast Mode Plus (1 Mbps), dan High-Speed Mode (3.4 Mbps) (NXP, 2021).



Gambar 2. 9 I2C

(Sumber: Tokopedia.com)

Untuk menghubungkan LCD karakter dengan protokol I2C, digunakan modul antarmuka I2C to LCD adapter, yang biasanya berbasis PCF8574, yaitu sebuah IC ekspander I/O berbasis I2C. Modul ini bekerja dengan cara mengubah sinyal I2C menjadi sinyal paralel yang dibutuhkan oleh LCD. Dengan demikian, komunikasi yang sebelumnya memerlukan 6–8 pin data, dapat dikurangi hanya menjadi 2 pin (SDA dan SCL). Modul ini juga biasanya dilengkapi dengan potensiometer untuk mengatur kontras layar.

Cara kerja I2C yaitu:

1. Master (mikrokontroler) mengirimkan data melalui jalur I2C.
2. Slave (modul I2C) menerima data dan mengubahnya menjadi sinyal paralel.
3. Sinyal paralel ini diteruskan ke pin-pin data pada LCD.
4. LCD kemudian menampilkan karakter atau instruksi sesuai data yang diterima.

Seluruh proses pengiriman data dilakukan dengan format protokol I2C, termasuk *bit start*, *address*, data, dan *stop bit*.

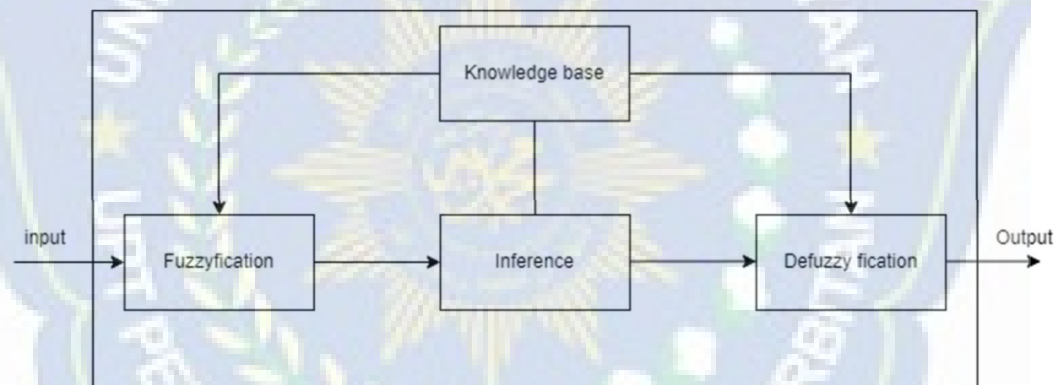
H. Fuzzy Logic

Logika fuzzy merupakan suatu pendekatan dalam sistem pengambilan keputusan yang didesain untuk menangani ketidakpastian dan ketidakjelasan data. Berbeda dengan logika klasik yang hanya mengenal nilai benar (1) dan salah (0), logika fuzzy memperbolehkan nilai kebenaran berada di antara dua kutub tersebut, seperti 0,2 atau 0,7, yang mencerminkan tingkat keanggotaan dalam suatu himpunan.

Konsep dasar logika fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Logika fuzzy sangat sesuai untuk diaplikasikan dalam sistem kendali yang kompleks dan tidak dapat dimodelkan secara matematis dengan presisi tinggi. Dalam sistem kendali fuzzy, data input dikonversi ke dalam bentuk linguistik seperti "rendah", "sedang", dan

"tinggi", lalu diproses melalui aturan if- then, dan akhirnya dikonversi kembali ke bentuk output numerik melalui proses defuzzifikasi. Logika fuzzy muncul sebagai akibat dari ketidakpastian suatu data atau informasi. Dalam logika fuzzy, nilai kebenaran suatu pernyataan berkisar dari sepenuhnya benar, sampai dengan sepenuhnya salah. Dengan teori himpunan fuzzy, suatu objek dapat menjadi anggota dari banyak himpunan dengan derajat keanggotaan yang berbeda dalam masing-masing himpunan. Logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output.

Dalam sistem inferensia fuzzy terdapat 3 metode yang sering digunakan. Perbedaan utama dari ketiga metode tersebut terletak pada perbedaan konsekuensi aturan fuzzy, agregasi, dan prosedur defuzzifikasi.



Gambar 2. 10 Blok Diagram Logika *Fuzzy*

Pada Gambar 2.10 menunjukkan blok diagram struktur dasar kontrol logika fuzzy yang terdiri dari empat komponen utama antara lain *fuzzyfication*, *knowledge base*, *inference*, *defuzzyfication*.

- *Fuzzyfication*

Fuzzyfication melibatkan beberapa fungsi, antara lain mengukur nilai variabel input, memetakan skala untuk mengonversi rentang nilai input ke dalam domain yang relevan, serta menjalankan fungsi fuzzifikasi yang mengubah data input menjadi nilai linguistik yang sesuai, yang dapat dianggap sebagai label dari himpunan fuzzy

- *Knowledge base*

Knowledge base terdiri dari kumpulan informasi dan aturan yang digunakan dalam proses pengambilan keputusan berbasis logika fuzzy. *Knowledge base* dalam fuzzy logic terdiri dari dua komponen utama antara lain:

1. Basis Data Fuzzy, yang berisi definisi himpunan fuzzy dan fungsi keanggotaan untuk memetakan input ke nilai fuzzy.
2. Basis Aturan, yaitu sekumpulan aturan if-then "jika-maka" yang menentukan hubungan antara *input* dan *output* fuzzy.

- *Inference*

Inference mampu meniru model pengambilan keputusan manusia berdasarkan konsep fuzzy serta menentukan tindakan kontrol fuzzy dengan menerapkan implikasi fuzzy dan penalaran berbasis aturan dalam logika fuzzy.

- *Defuzzyfication*

Defuzzyfication memetakan rentang nilai *output* ke dalam domain yang relevan, menghasilkan nilai aksi kontrol non-fuzzy. Dalam penelitian ini, proses defuzzifikasi menggunakan metode COA (center of area).

Metode Fuzzy Sugeno diterapkan sebagai pengendalian nutrisi. Arsitektur dari metode Fuzzy Sugeno terdiri dari masukan, proses, dan keluaran. Tahap masukan sistem ini berupa data kepekatan dengan nilai PPM sebagai acuan. Tahap proses terdiri dari proses fuzzyfikasi, inferensi, dan defuzzyfikasi. Fuzzy metode sugeno merupakan metode inferensi fuzzy untuk aturan yang direpresentasikan dalam bentuk IF – THEN, dimana output (konsekuen) sistem tidak berupa himpunan fuzzy, melainkan berupa konstanta atau persamaan linear. Metode ini diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985. Model Sugeno menggunakan fungsi keanggotaan Singleton yaitu fungsi keanggotaan yang memiliki derajat keanggotaan 1 pada suatu nilai

crisp tunggal dan 0 pada nilai crisp yang lain. Proses pengambilan kesimpulan atau keputusan dengan menggunakan Metode Fuzzy Sugeno dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu pembentukan himpunan fuzzy, aplikasi fungsi implikasi, komposisi aturan dan defuzzifikasi

I. Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke papan mikrokontroler. Arduino IDE menyediakan antarmuka pemrograman yang sederhana dan mudah dipahami, sehingga memudahkan pengguna dalam mengembangkan sistem berbasis mikrokontroler, baik untuk kalangan pemula maupun profesional. Arduino IDE mendukung berbagai bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis C/C++, dan dilengkapi dengan berbagai pustaka (*library*) yang memungkinkan pengguna untuk mengakses dan mengendalikan berbagai perangkat keras seperti sensor, aktuator, motor, dan modul komunikasi.

Beberapa fitur utama dari Arduino IDE meliputi:

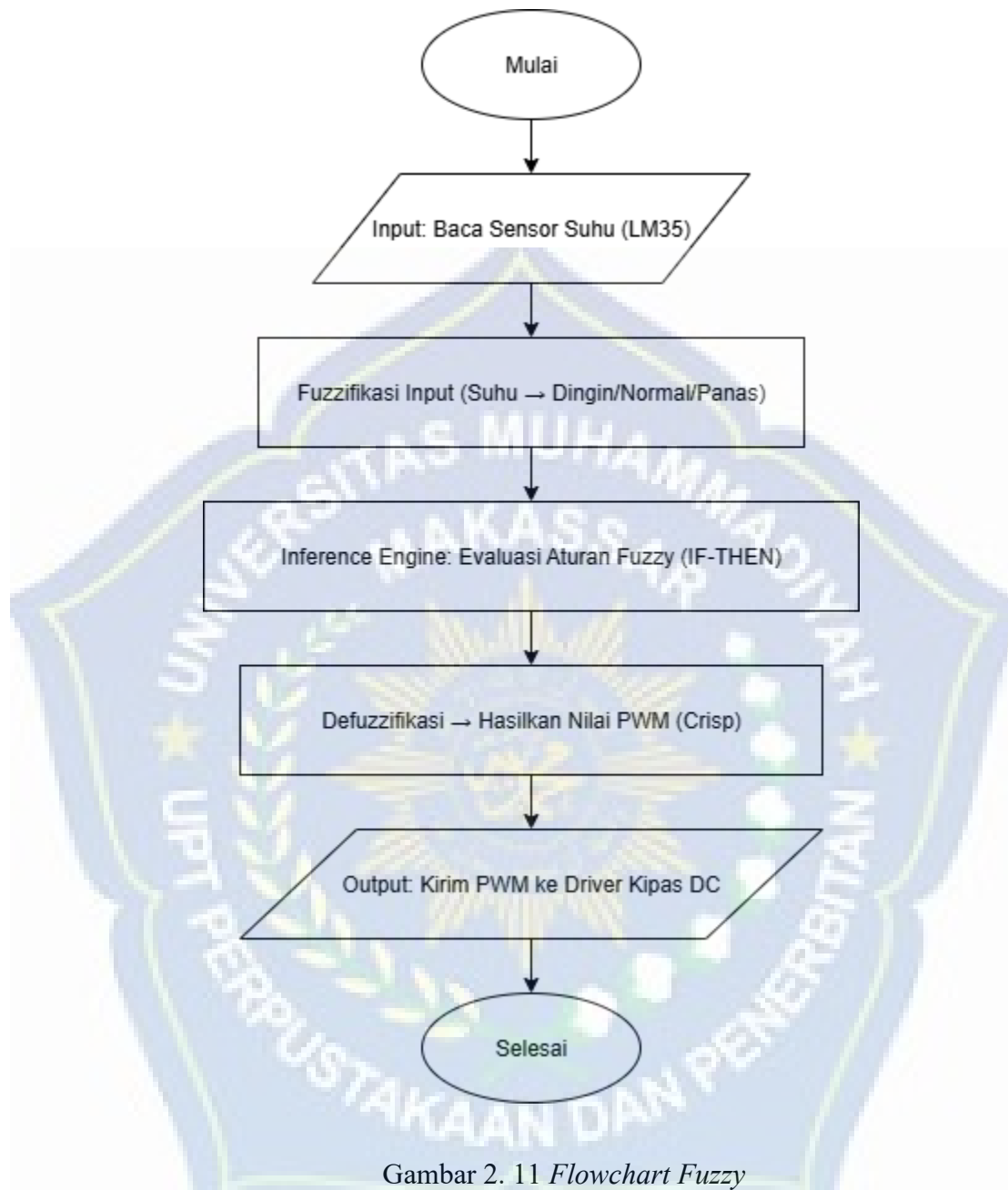
1. Editor kode dengan pewarnaan sintaks (*syntax highlighting*) dan *auto-formatting*.
2. Verifikasi dan kompilasi kode secara otomatis.
3. Pengunggahan program (*upload*) langsung ke papan mikrokontroler via USB.
4. Serial monitor, yang berguna untuk memantau data komunikasi serial secara *real-time*.

Arduino IDE juga menyediakan fungsi-fungsi dasar seperti `setup()` dan `loop()` sebagai struktur utama dalam penulisan program Arduino.

J. eFLL (*Embedded Fuzzy Logic Library*)

Untuk mengimplementasikan sistem logika fuzzy pada mikrokontroler seperti Arduino UNO, digunakan pustaka khusus yang dapat diintegrasikan langsung melalui Arduino IDE. Dalam penelitian ini dipilih eFLL (*Embedded Fuzzy Logic Library*), yaitu pustaka standar yang dirancang untuk sistem tertanam agar memungkinkan penerapan logika fuzzy secara sederhana namun efisien. Pustaka ini ditulis dalam bahasa C/C++ dengan hanya memanfaatkan pustaka standar `stdlib.h`, sehingga tidak hanya kompatibel dengan Arduino, tetapi juga dapat digunakan pada berbagai platform sistem tertanam lain. Keunggulan utama eFLL terletak pada fleksibilitasnya, karena jumlah variabel input, output, maupun aturan fuzzy tidak dibatasi secara eksplisit, melainkan hanya menyesuaikan kemampuan pemrosesan dan memori mikrokontroler. Proses inferensi dalam eFLL menggunakan metode MAX-MIN dan Mamdani Minimum, sementara proses defuzzifikasi dilakukan dengan metode *Center of Area* (CoA).

Integrasi pustaka ini dengan Arduino IDE sangat praktis karena dapat diinstal langsung melalui Library Manager, sehingga peneliti dapat segera merancang sistem fuzzy di dalam kode program. Melalui eFLL, variabel input seperti suhu aktual dan variabel output seperti kecepatan kipas DC dapat didefinisikan beserta himpunan fuzzy-nya, misalnya dingin, normal, dan panas untuk suhu, serta lambat, sedang, dan cepat untuk kecepatan kipas. Selanjutnya, aturan fuzzy dapat disusun dengan sintaks yang sederhana, misalnya “IF suhu IS panas THEN kecepatan_kipas IS cepat.” Pustaka kemudian secara otomatis memproses nilai masukan tegas (*crisp input*) dari sensor suhu, melakukan fuzzifikasi, mengevaluasi aturan, dan menghasilkan keluaran tegas (*crisp output*) berupa sinyal PWM untuk mengendalikan kecepatan kipas. Dengan demikian, penggunaan eFLL memungkinkan sistem pengendali suhu berbasis logika fuzzy dapat diimplementasikan secara optimal meskipun berjalan pada perangkat keras dengan sumber daya terbatas seperti Arduino UNO.



Gambar 2. 11 *Flowchart Fuzzy*

Penjelasan gambar 2.11 yaitu :

1. Mulai Program

Program dimulai dan sistem inisialisasi dilakukan. FuzzyLite engine dibuat, input dan output variable disiapkan, serta *rule base fuzzy* di-*load* ke dalam memori.

2. Baca Sensor Suhu

Sensor suhu seperti LM35, DHT22, atau sensor lainnya membaca

suhu lingkungan dan memberikan nilai *crisp* (misal: 37.2°C) ke mikrokontroler atau sistem.

3. Fuzzifikasi Input

Proses fuzzifikasi dilakukan dengan mengubah nilai suhu *crisp* hasil pembacaan sensor menjadi nilai *fuzzy* berdasarkan fungsi keanggotaan (*membership function*) yang telah ditetapkan. Rentang suhu 0 °C hingga 24 °C dikategorikan sebagai dingin, suhu 26 °C hingga 27 °C dikategorikan sebagai normal, sedangkan suhu 28 °C hingga 100 °C dikategorikan sebagai panas. Pendefinisian domain keanggotaan ini menjadi dasar dalam menentukan aturan *fuzzy* yang selanjutnya dievaluasi melalui mekanisme inferensi dan defuzzifikasi untuk menghasilkan sinyal kendali berupa PWM pada kipas DC.

4. Evaluasi Aturan Fuzzy

Mesin inferensi fuzzy mengevaluasi semua aturan *fuzzy* (contohnya: IF suhu IS panas THEN kipas IS cepat). Setiap aturan dihitung kekuatan (*firing strength*)-nya berdasarkan nilai keanggotaan input.

5. Defuzzifikasi Output

Hasil evaluasi aturan *fuzzy* akan menghasilkan *output fuzzy* (misal kecepatan kipas dalam bentuk *fuzzy* seperti “lambat”, “sedang”, “cepat”). Proses defuzzifikasi (umumnya dengan metode *centroid*) digunakan untuk menghasilkan nilai *crisp output*, misalnya PWM = 75%.

6. Output ke Kipas DC

Nilai *crisp output* digunakan untuk mengatur kecepatan putaran kipas DC melalui sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*).

7. Selesai

Sistem terus berjalan dalam *loop* untuk membaca suhu baru dan menyesuaikan kecepatan kipas secara *real-time*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Teknik Pengumpulan Data Penelitian

Berdasarkan topik tugas akhir, teknik pengumpulan data yang dipakai adalah:

1. Observasi

Observasi adalah teknik pengumpulan data yang dilakukan melalui sesuatu pengamatan, dengan disertai pencatatan-pencatatan terhadap keadaan objek yang diamati.

2. Wawancara

Penulis tugas akhir melakukan pengumpulan data dengan cara diskusi, tanya jawab atau wawancara dengan dosen pembimbing mengenai semua yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas.

B. Bahan Penelitian

3. Spesifikasi Elektrik

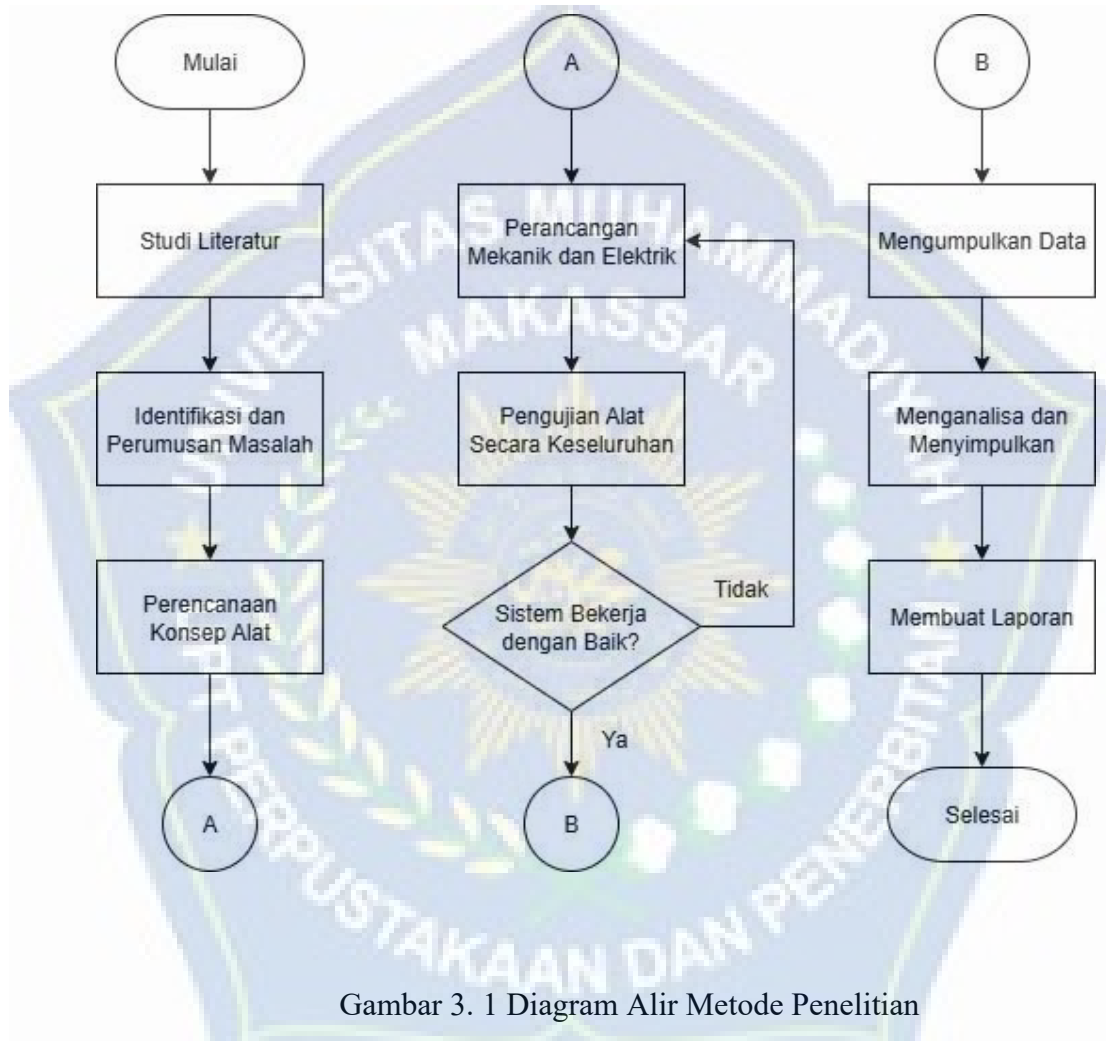
1. Sensor LM35
2. Mikrokontroler Arduino Uno R3,
3. Driver Motor BTS7960
4. Fan DC 12 Volt
5. LCD 16 x 2
6. Modul I2C
7. Power Supply 12 Volt 5A

C. Tahapan Penelitian

Terdapat beberapa metode yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian ini, di antaranya yaitu melakukan pengumpulan dan mempelajari literatur yang selaras dengan topik kontrol suhu dengan metode *fuzzy logic* melalui penelitian-penelitian terdahulu, dasar-dasar sistem mikrokontroler, serta literatur pendukung lainnya yang berhubungan dengan topik tugas

akhir. Kemudian dilanjutkan dengan perancangan *hardware* yang berisi perancangan elektrik, selanjutnya dilakukan perancangan *software* menggunakan aplikasi arduino IDE.

1. Diagram



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metode Penelitian

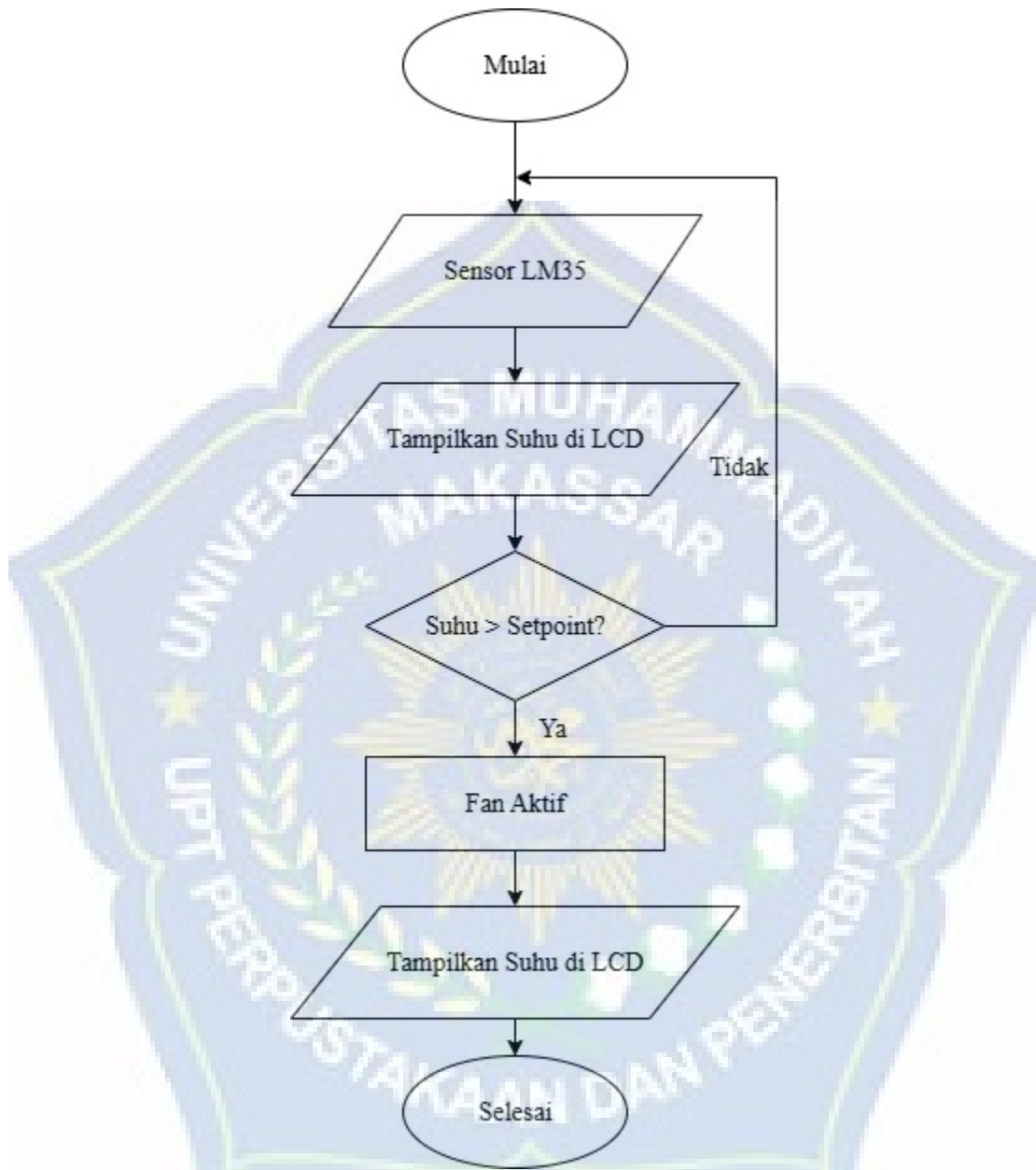
1. Studi literatur : Mempelajari tentang macam-macam topik penelitian terdahulu. Dapat melalui jurnal publik, skripsi, maupun buku.
2. Identifikasi dan Perumusan Masalah: Menentukan apa yang akan digunakan sebagai bahan pembuatan skripsi.
3. Perencanaan Konsep Alat : Merancang gambaran alat deteksi getaran pada jembatan, menentukan komponen apa saja yang digunakan

dalam sistem, mempelajari tiap komponen melalui berbagai sumber, serta mencoba rangkaian *real* menggunakan *project board*.

4. Perancangan Mekanik dan Elektrik : Mulai memasang komponen pada PCB, menghubungkan dengan mikrokontroler, membuat wadah untuk seluruh komponen rancang bangun.
5. Pengujian Alat Secara Keseluruhan : Menguji apakah antara *hardware* dan *software* berjalan dan bekerja sesuai dengan yang diharapkan.
6. Mengumpulkan Data : Mencoba keseluruhan sistem alat.
7. Menganalisa dan Menyimpulkan : Menganalisa performa fuzzy logic sebagai kontrol suhu, serta menganalisa hasil pengujian keseluruhan alat.
8. Pembuatan Laporan : Sebagai bukti bahwa telah mengerjakan tugas akhir.

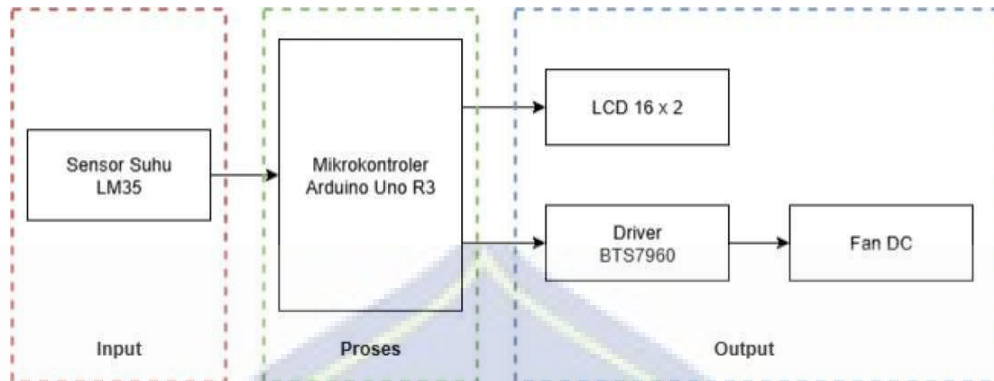


2. Perancangan *Software*



Gambar 3. 2 Perancangan *Software*

3. Blok Diagram Sistem



Gambar 3. 3 Blok Diagram Sistem

a. Bagian Input

Sensor Suhu LM35, berfungsi untuk mendeteksi suhu lingkungan secara real-time dan mengubahnya menjadi sinyal analog yang dapat dibaca oleh mikrokontroler.

b. Bagian Proses

Mikrokontroler Arduino Uno R3, menerima data suhu dari sensor, memprosesnya menggunakan logika fuzzy, lalu menghasilkan sinyal kendali untuk mengatur kecepatan kipas.

c. Bagian Output

Driver BTS7960, menguatkan sinyal dari mikrokontroler agar cukup untuk menggerakkan motor DC.

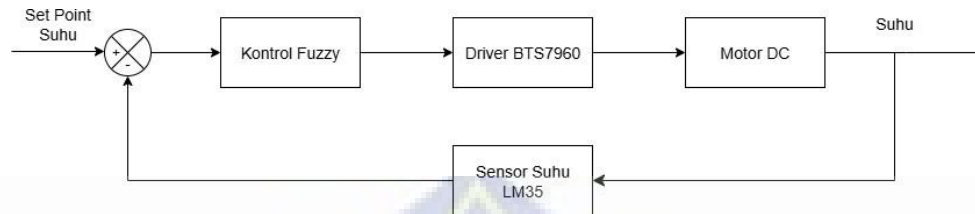
d. Fan DC

Bertindak sebagai aktuator untuk menurunkan suhu ruangan dengan menghasilkan aliran udara.

e. LCD 16x2

Berfungsi menampilkan nilai suhu yang dibaca sensor LM35 secara real-time, memudahkan operator untuk melakukan monitoring tanpa memerlukan koneksi ke komputer.

4. Blok Diagram Kontrol



Gambar 3. 4 Blok Diagram Kontrol

Blok diagram pada gambar 3.4 menggambarkan sistem kendali suhu otomatis berbasis logika fuzzy yang dirancang untuk menjaga suhu tetap berada pada nilai yang diinginkan (*set point*). Berikut adalah penjelasan alur kerja sistem secara keseluruhan:

a) *Set Point* Suhu

Sistem menerima masukan berupa nilai set point suhu, yaitu suhu target yang ingin dipertahankan dalam lingkungan tertentu. Nilai ini menjadi acuan utama dalam proses pengendalian.

b) Pengendali Fuzzy

Set point dibandingkan dengan suhu aktual yang diukur oleh sensor untuk menghasilkan nilai selisih (*error*). Nilai error ini kemudian diproses oleh pengendali fuzzy yang telah diprogram dengan sejumlah aturan if-then berbasis logika linguistik. Sistem fuzzy memberikan output berupa sinyal kendali yang menentukan tingkat kecepatan motor kipas sesuai dengan kondisi suhu yang terdeteksi.

c) Driver BTS7960

Sinyal keluaran dari pengendali fuzzy tidak memiliki arus yang cukup untuk menggerakkan aktuator secara langsung. Oleh karena itu, sinyal ini diteruskan ke driver motor BTS7960 yang berfungsi sebagai penguat sinyal, sekaligus mengatur daya yang dibutuhkan untuk mengoperasikan motor DC secara stabil.

d) Motor DC (Kipas)

Motor DC yang terhubung ke driver akan berputar sesuai dengan sinyal

PWM dari sistem fuzzy. Putaran motor ini menggerakkan kipas sebagai aktuator utama dalam sistem pendinginan, yang bertugas menurunkan suhu ruangan sesuai kebutuhan.

e) Sensor Suhu LM35

Sensor LM35 berfungsi untuk mendeteksi suhu lingkungan secara terus-menerus. Hasil pembacaan suhu dikirim kembali ke sistem sebagai umpan balik (*feedback*). Data ini digunakan dalam perhitungan error pada siklus kontrol berikutnya, sehingga membentuk sistem kendali loop tertutup (*closed-loop control system*).

5. Prinsip Kerja

Prinsip kerja dari sistem ini adalah sistem pengendalian suhu untuk mempertahankan suhu ruangan tetap stabil dan berada dalam *set point* yang telah ditentukan melalui program. Sensor LM35 berperan sebagai pendeteksi suhu pada ruangan. Ketika *set point* suhu melebihi *set point*, fan DC akan menyala. Kecepatan dari fan DC akan dikendalikan oleh pengontrol fuzzy melalui PWM (*Pulse Width Modulation*). Selain mengontrol kipas, sistem juga akan menampilkan nilai suhu yang terukur pada LCD 16x2 menggunakan protokol I²C, sehingga memudahkan pemantauan suhu secara langsung.

Tabel 3. 1 Klasifikasi Putaran Kipas Berdasarkan Suhu

Suhu (°C)	PWM	RPM	Kondisi Kipas
23 – 27.9	0	0	Tidak Putar
28 – 30	145	1422	Putar Pelan
≥ 30.6	154 – 226	1510 – 2216	Putar Cepat

Tabel 3.1 digunakan sebagai dasar pembentukan logika *fuzzy* dengan menghubungkan variabel input berupa suhu dan variabel output berupa kecepatan kipas. Hasil yang diharapkan pada rentang suhu 23–27.9 °C kipas berada pada kondisi tidak berputar, pada suhu 28–30 °C menghasilkan putaran pelan, ketika suhu diatas 30.6°C, kipas berputar cepat. Pola perubahan bertahap ini menjadi dasar penentuan himpunan fuzzy, fungsi

keanggotaan, dan aturan IF–THEN dalam sistem inferensi fuzzy, sehingga pengendalian kipas dapat dilakukan secara adaptif sesuai variasi suhu.

D. Waktu dan Lokasi Penelitian

1. Waktu Penelitian

Pembuatan sistem ini akan dilaksanakan selama 1 bulan yaitu bulan Agustus 2025.

2. Lokasi Penelitian

Lab Teknik Elektro universitas Muhammadiyah Makassar, Jl. Sultan Alauddin, Sungguminasa, Kec. Rappocini, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan

E. Dokumentasi Penelitian

Dokumentasi adalah metode yang dilakukan untuk mengumpulkan seluruh data yang terkait dengan hal hal penelitian. Ke semua data tersebut diperoleh dari Lab Teknik Elektro universitas Muhammadiyah Makassar, Jl. Sultan Alauddin, Sungguminasa, Kec. Rappocini, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, akan diuraikan secara rinci hasil dari perancangan dan serangkaian pengujian prototipe sistem kendali suhu otomatis. Selanjutnya, akan dilakukan pembahasan mendalam terhadap data yang diperoleh untuk menganalisis dan menjawab tujuan penelitian, yaitu menguji keefektifan sensor suhu LM35 sebagai komponen input dan metode kontrol fuzzy logic dalam menjaga kestabilan suhu ruangan sesuai dengan titik setel atau set point pada suhu 25°C.

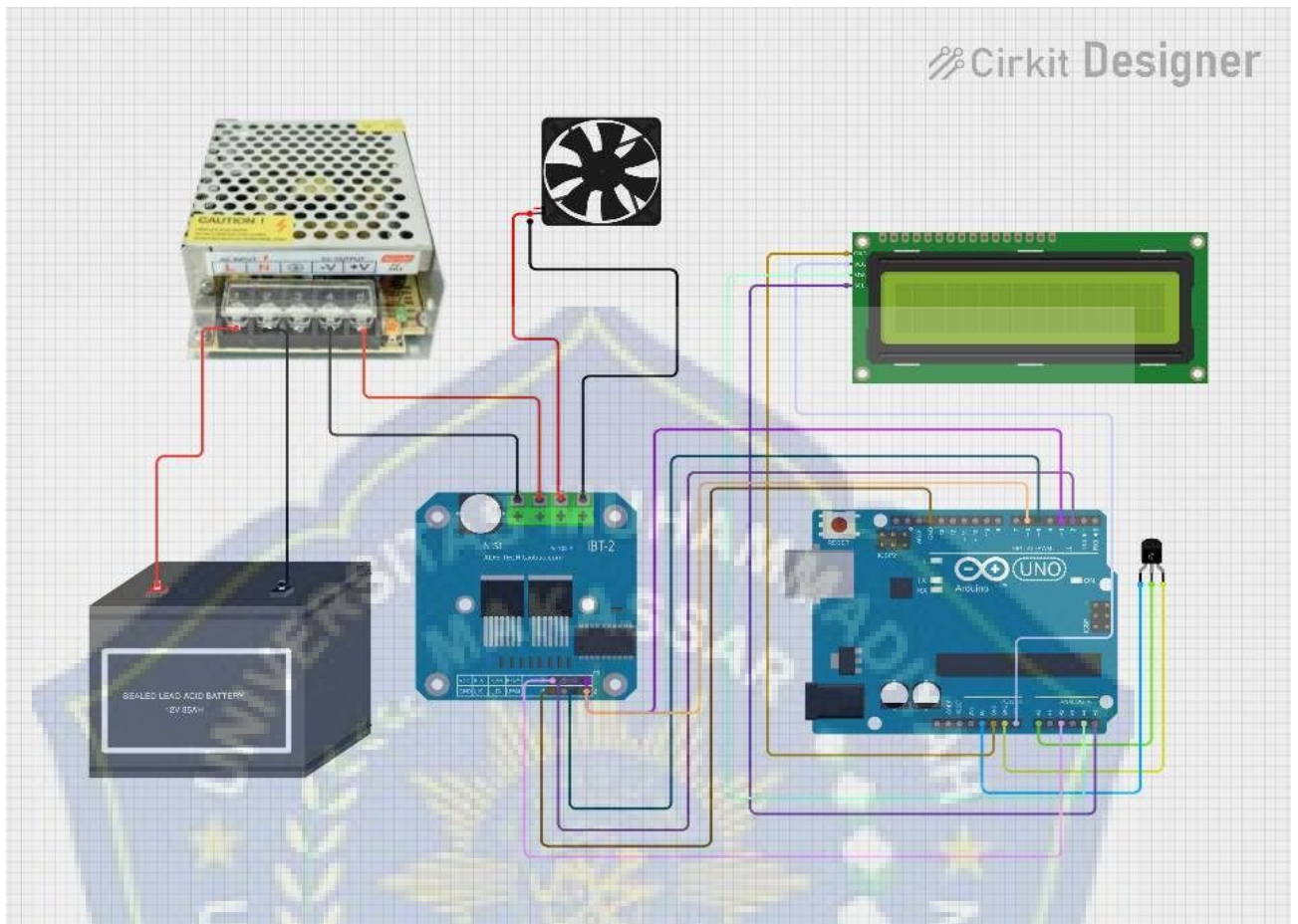
A. Hasil Penelitian

Hasil penelitian disajikan secara sistematis yang mencakup tiga bagian utama: (1) realisasi perangkat keras prototipe yang telah dirancang, (2) pengujian akurasi sensor suhu LM35, dan (3) pengujian kinerja sistem kendali fuzzy logic secara keseluruhan dalam menjalankan fungsinya untuk mencapai dan mempertahankan suhu pada set point yang telah ditentukan.

1. Perancangan

a. Rancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Prototipe sistem kendali suhu otomatis telah berhasil direalisasikan sesuai dengan diagram blok dan skema rangkaian yang telah dirancang. Rangkaian skematik sistem secara keseluruhan divisualisasikan pada Gambar 4.1. Datasheet IC Arduino Uno dan Driver BTS7960 ditampilkan pada Lampiran 2. Secara fungsional, sistem ini terbagi menjadi tiga blok utama yang saling terintegrasi: blok input, blok proses, dan blok *output*. Pada gambar 4.1 dibawah ini terlihat interkoneksi antara Arduino Uno R3 sebagai pusat kontrol, sensor suhu LM35, LCD 16x2 I2C sebagai antarmuka, driver motor BTS7960 sebagai pengendali aktuator, serta kipas DC dan sumber daya.



Gambar 4. 1 Skema Rangkaian

Sambungan kabel untuk LCD, BTS7960 (driver motor), dan sensor LM35 ke Arduino UNO, berdasarkan warna kabel adalah sebagai berikut:

1. Sambungan LCD 16x2 ke Arduino UNO

LCD menggunakan koneksi paralel dengan beberapa kabel data dan kontrol.

- a) Hitam → GND (LCD) → GND Arduino
- b) Merah → VCC (LCD) → 5V Arduino
- c) Ungu → RS (LCD) → Pin 8 Arduino
- d) Kuning → E (LCD) → Pin 9 Arduino
- e) Hijau muda (hijau cerah) → D4 (LCD) → Pin 10 Arduino
- f) Biru muda → D5 (LCD) → Pin 11 Arduino

g) Oranye → D6 (LCD) → Pin 12 Arduino

h) Pink/Magenta → D7 (LCD) → Pin 13 Arduino

Jadi LCD menggunakan mode 4-bit, dengan pin digital Arduino 8–13.

2. Sambungan Modul Driver Motor BTS7960 (IBT-2) ke Arduino

UNO BTS7960 digunakan untuk mengendalikan beban DC (pada gambar berupa kipas).

a) Kabel Merah Tebal → +12V dari Power Supply/Baterai

b) Kabel Hitam Tebal → GND (Power Supply & Arduino)

c) Kabel Biru → R_EN (Enable kanan) → Pin 4 Arduino

d) Kabel Hijau → L_EN (Enable kiri) → Pin 5 Arduino

e) Kabel Kuning → R_PWM → Pin 6 Arduino

f) Kabel Ungu → L_PWM → Pin 7 Arduino

Dengan konfigurasi ini, Arduino dapat mengatur kecepatan dan arah kipas menggunakan PWM.

3. Sambungan Sensor LM35 ke Arduino UNO

LM35 adalah sensor suhu analog dengan 3 pin (VCC, OUT, GND).

a) Merah → VCC (LM35) → 5V Arduino

b) Hitam → GND (LM35) → GND Arduino

c) Kuning → OUT (LM35) → Pin A0 Arduino (analog input)

LM35 akan memberikan tegangan analog proporsional dengan suhu, lalu dibaca di pin A0.

4. Ringkasan Jalur Utama

a) LCD: pin digital 8–13 Arduino

b) BTS7960: pin digital 4–7 Arduino

c) LM35: pin analog A0 Arduino

Power: Semua perangkat berbagi GND dan VCC sesuai kebutuhan (5V untuk Arduino, 12V untuk driver/kipas)

Blok Input yaitu sensor suhu LM35 menjadi komponen input utama. Sensor ini bertugas mendeteksi suhu ambien ruangan secara *real-*

time dan mengubah besaran fisis tersebut menjadi sinyal listrik analog yang dapat dibaca oleh mikrokontroler.

Blok proses yaitu sebuah mikrokontroler Arduino Uno R3 yang tertanam pada papan pengembangan bertindak sebagai unit pemroses sentral. Penggunaan Arduino Uno R3 sebagai pengendali utama umum dilakukan dalam berbagai sistem kontrol otomatis karena kemudahan pemrograman dan fleksibilitasnya (Pratama & Putri, 2024). Mikrokontroler ini menerima data tegangan analog dari sensor, mengubahnya menjadi nilai suhu digital, kemudian mengolahnya menggunakan algoritma logika *fuzzy* untuk menentukan tindakan kontrol yang diperlukan.

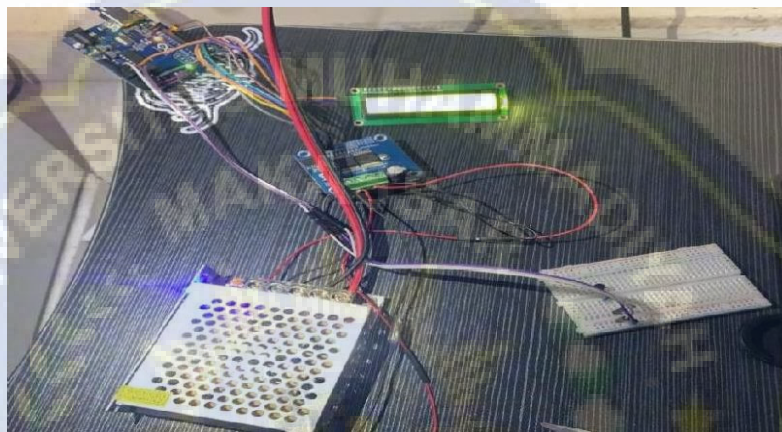
Blok *output* yaitu sebuah aktuator berupa kipas pendingin DC dikendalikan oleh mikrokontroler melalui sebuah modul driver Bts7960. Driver ini berfungsi sebagai saklar daya (*power switching*) yang mengatur tegangan dan arus ke kipas, sehingga kecepatannya dapat divariasikan (Luqman et al., 2025). Kecepatan putaran kipas diatur secara proporsional berdasarkan hasil kalkulasi dari proses defuzzifikasi logika *fuzzy*.

Sistem ini beroperasi dengan prinsip umpan balik tertutup (*closed-loop control system*). Sensor secara kontinu memberikan data suhu aktual ke mikrokontroler. Mikrokontroler kemudian membandingkan data ini dengan *set point* untuk menghitung nilai error. Berdasarkan nilai error inilah, algoritma *fuzzy logic* menentukan penyesuaian kecepatan kipas pendingin yang optimal untuk meminimalkan error dan membawa suhu ruangan kembali ke nilai yang diinginkan.

b. Implementasi Perangkat Keras

Rancangan perangkat keras diimplementasikan di laboratorium dengan sensor suhu LM35 sebagai masukan utama. Sinyal analog dari LM35 dibaca oleh Arduino Uno R3, dikonversi ke satuan suhu, lalu

diproses menggunakan metode Fuzzy Logic untuk menghasilkan sinyal kendali berupa PWM yang menggerakkan aktuator kipas melalui driver BTS7960. Parameter utama yaitu suhu, *set point*, *error*, dan PWM kemudian ditransmisikan ke komputer melalui antarmuka USB serial. Microsoft Excel digunakan sebagai antarmuka pemantauan dan pencatatan real-time, sehingga tabel dan grafik pengujian tersaji otomatis.



Gambar 4. 2 Implementasi Perangkat Keras



Gambar 4. 3 Hasil Pembacaan Suhu Ruang

Gambar 4.3 menunjukkan LCD 16×2 I²C yang menampilkan parameter utama secara real-time. Ketika Suhu $\approx 25,0$ °C (set point), error ≈ 0 , status OFF dan PWM = 0 menandakan pengendali berada pada zona mati (*dead-zone*) untuk mencegah *switching* berulang dan menjaga efisiensi energi.

2. Pengujian Akurasi Sensor Suhu LM35

Pengujian dilakukan dengan membandingkan pembacaan LM35 terhadap termometer digital terkalibrasi pada lokasi yang sama dan interval teratur, dengan perekaman real-time ke Excel. Dari 39 pasangan data pada rentang rujukan 22,35– 30,75 °C, diperoleh rata-rata selisih $\approx 0,65$ °C dengan kesalahan relatif 2,11–2,91

% dan rata-rata $\approx 2,52$ %. Pola ini menunjukkan bias offset stabil, sehingga dapat dikompensasi melalui kalibrasi dua titik atau koreksi tetap 0,65 °C di perangkat lunak, disertai perhatian pada stabilitas catu daya, referensi ADC, tata letak, dan grounding. Dengan kompensasi tersebut, LM35 layak digunakan sebagai umpan balik bagi pengendali *fuzzy*.

Tabel 4. 1 Hasil Perbandingan Pembacaan Suhu Sensor LM35 dan Termometer Digital

No	Termometer Digital (°C)	Sensor Suhu LM35 (°C)	Selisih (°C)	Kesalahan (%)
1	22,35	23,0	0,65	2,91
2	22,35	23,0	0,65	2,91
3	23,15	23,8	0,65	2,81
4	23,25	23,9	0,65	2,8
5	23,45	24,1	0,65	2,77
6	23,65	24,3	0,65	2,75
7	23,65	24,3	0,65	2,75
8	23,65	24,3	0,65	2,75
9	24,15	24,8	0,65	2,69
10	24,25	24,9	0,65	2,68
11	24,25	24,9	0,65	2,68
12	24,75	25,4	0,65	2,63
13	24,75	25,4	0,65	2,63
14	24,75	25,4	0,65	2,63
15	24,95	25,6	0,65	2,61
16	24,95	25,6	0,65	2,61
17	25,25	25,9	0,65	2,57
18	25,45	26,1	0,65	2,55
19	25,45	26,1	0,65	2,55
20	25,75	26,4	0,65	2,52
21	25,95	26,6	0,65	2,5
22	25,95	26,6	0,65	2,5
23	26,05	26,7	0,65	2,5

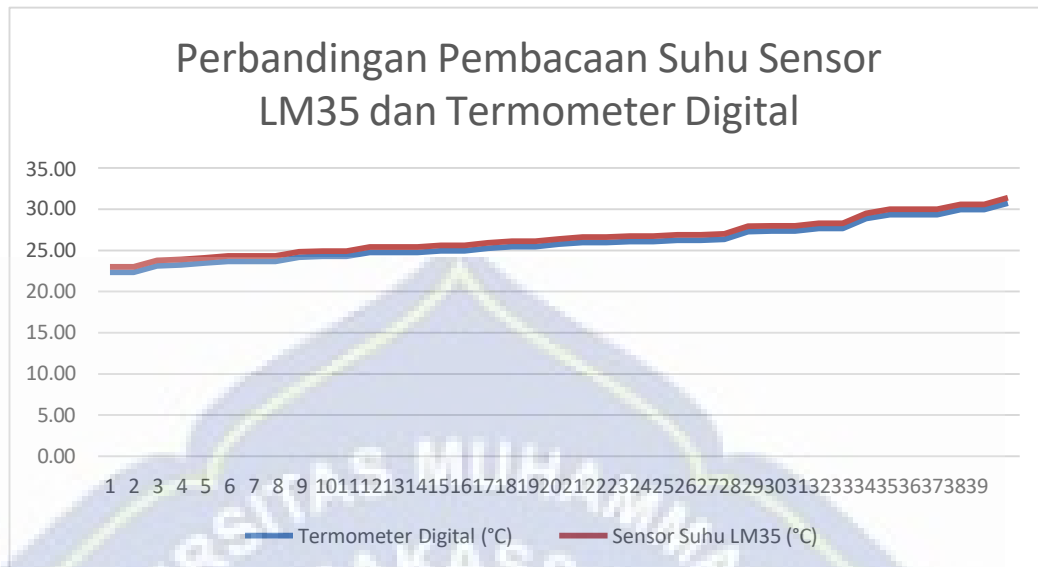
24	26,05	26,7	0,65	2,5
25	26,25	26,9	0,65	2,48
26	26,25	26,9	0,65	2,48
27	26,35	27,0	0,65	2,47
28	27,25	27,9	0,65	2,39
29	27,35	28,0	0,65	2,38
30	27,35	28,0	0,65	2,38
31	27,65	28,3	0,65	2,35
32	27,65	28,3	0,65	2,35
33	28,85	29,5	0,65	2,25
34	29,35	30,0	0,65	2,21
35	29,35	30,0	0,65	2,21
36	29,35	30,0	0,65	2,21
37	29,95	30,6	0,65	2,17
38	29,95	30,6	0,65	2,17
39	30,75	31,4	0,65	2,11

Sumber: Data diolah (2025)

Tabel 4.1 menampilkan 39 pasangan pengukuran antara termometer digital pada rentang 22,35–30,75 °C dan sensor LM35 pada rentang 23,0–31,4 °C. Terlihat rata-rata selisih sekitar 0,65 °C pada seluruh baris, sehingga kesalahan relatif berada pada rentang 2,11–2,91% dan cenderung menurun ketika suhu meningkat karena selisihnya tetap sementara penyebutnya, yaitu suhu rujukan, membesar. Rata-rata kesalahan MAPE dari seluruh data sekitar 2,52%, yang mengindikasikan bias *offset* tetap antara bacaan LM35 dan termometer rujukan, bukan fluktuasi acak.

Pola ini sangat berguna secara praktis: offset yang konsisten lebih mudah dikompensasi melalui kalibrasi dua titik atau penambahan koreksi tetap 0,65 °C

pada perangkat lunak serta memastikan V_{ref}/ADC dan catu daya stabil. Dengan kompensasi sederhana tersebut, akurasi bacaan LM35 dapat ditingkatkan mendekati rujukan, sehingga data yang masuk ke pengendali Fuzzy Logic menjadi lebih presisi tanpa mengubah arsitektur perangkat keras. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa LM35 memadai untuk level prototipe dan siap digunakan sebagai sumber umpan balik kendali suhu, khususnya setelah offset tetapnya diakomodasi.



Gambar 4. 4 Grafik Perbandingan Pembacaan Kedua Alat Ukur.

Gambar 4.4 menunjukkan kurva perbandingan pembacaan suhu antara termometer digital dan sensor LM35 untuk 39 titik uji. Kedua garis bergerak hampir sejajar dan meningkat secara gradual, menandakan korelasi linear yang kuat serta konsistensi respons terhadap perubahan suhu. Garis LM35 cenderung sedikit berada di atas termometer digital dengan selisih yang relatif sekitar 0,65

°C; selisih tetap ini menghasilkan kesalahan relatif yang kecil dan makin menurun pada suhu lebih tinggi karena nilai rujukan membesar. Pola tersebut mengindikasikan adanya bias offset yang stabil, sehingga akurasi dapat dengan mudah ditingkatkan melalui kalibrasi satu atau dua titik tanpa mengubah rangkaian. Secara praktis, grafik ini menegaskan bahwa LM35 memberi data yang repeatable dan cukup presisi untuk digunakan sebagai umpan balik kendali, sekaligus memvalidasi kualitas pencatatan data yang rapi dan bebas anomali mencolok.

3. Pengujian Kinerja Sistem Kendali *Fuzzy Logic*

Kinerja pengendali Fuzzy Logic dievaluasi *end-to-end* pada prototipe yang terdiri atas sensor LM35, Arduino Uno R3, driver BTS7960, dan kipas DC. *Set point* ditetapkan 25 °C dengan kondisi awal untuk memunculkan respons transien; suhu, error, dan PWM direkam setiap satu menit ke Microsoft Excel melalui antarmuka USB-serial. Sebelum uji selama 30 menit, basis aturan diverifikasi dengan membandingkan keluaran PWM perangkat menunjukkan kesesuaian pola. Berikut hasil pengujian sistem *fuzzy logic* pada tabel berikut.

Tabel 4. 2 Tabel Pengujian Sistem Fuzzy

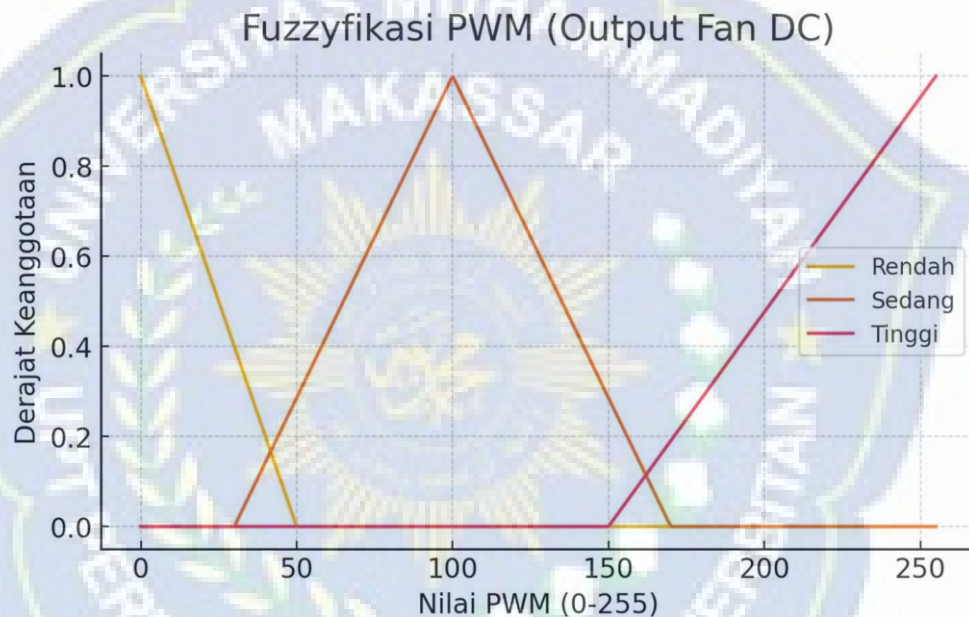
No	Suhu (°C)	PWM	RPM
1	23	0	0
2	23	0	0
3	23.8	0	0
4	23.9	0	0
5	24.1	0	0
6	24.3	0	0
7	24.3	0	0
8	24.3	0	0
9	24.8	0	0
10	24.9	0	0
11	24.9	0	0
12	25.4	0	0
13	25.4	0	0
14	25.4	0	0
15	25.6	0	0
16	25.6	0	0
17	25.9	0	0
18	26.1	0	0
19	26.1	0	0
20	26.4	0	0
21	26.6	0	0
22	26.6	0	0
23	26.7	0	0
24	26.7	0	0
25	26.9	0	0
26	26.9	0	0
27	27	0	0
28	27.9	0	0
29	28	145	1422

30	28	145	1422
31	28.3	145	1422
32	28.3	145	1422
33	29.5	145	1422
34	30	145	1422
35	30	145	1422
36	30	145	1422
37	30.6	154	1510
38	30.6	154	1510
39	31.4	166	1627
40	31.4	166	1627
41	32.6	182	1784
42	32.6	182	1784
43	33.6	197	1931
44	33.9	203	1990
45	33.9	203	1990
46	34.2	209	2049
47	34.2	209	2049
48	34.4	211	2069
49	34.4	211	2069
50	34.4	211	2069
51	34.4	211	2069
52	37.6	226	2216
53	38	226	2216
54	38.3	226	2216
55	40.7	226	2216

Sumber: Data diolah (2025)

Tabel 4.2 merekam respons kendali fuzzy dari keadaan sejuk hingga panas. Pada rentang 23,0–27,9 °C kipas tetap tidak aktif dengan PWM 0 dan RPM 0, yang menunjukkan adanya zona mati di suhu rendah agar aktuator tidak sering menyala dan padam. Pada 28,0 °C sistem mulai memberi aksi pendinginan dengan melompat ke PWM 145 setara kira-kira 1.422 rpm dan mempertahankannya hingga 30,0 °C. Kenaikan suhu berikutnya direspons bertahap: 30,6 °C menghasilkan PWM 154 sekitar 1.510 rpm, 31,4 °C menghasilkan 166 sekitar 1.627 rpm, 32,6 °C menghasilkan 182 sekitar 1.784 rpm, 33,6 °C menghasilkan 197 sekitar 1.931 rpm, 33,9 °C menghasilkan 203 sekitar 1.990 rpm, 34,2 °C menghasilkan 209 sekitar 2.049 rpm, dan 34,4 °C menghasilkan 211 sekitar 2.069 rpm. Di atas 37,6 °C kipas bekerja mendekati puncak pada PWM 226 sekitar 2.216 rpm hingga 40,7 °C sebagai proteksi terhadap suhu berlebih.

Pola bertingkat tersebut menunjukkan keluaran fuzzy yang halus dan proporsional; semakin besar deviasi suhu dari target, semakin tinggi duty cycle PWM dan putaran kipas. Di zona kerja 28,0–34,4 °C, kenaikan rata-rata sekitar 10,3 satuan PWM per derajat Celcius atau sekitar 101 rpm per derajat Celcius berdasarkan pemetaan linier PWM ke RPM yang digunakan, sehingga peningkatan pendinginan terjadi tanpa lompatan tajam. Pengulangan nilai pada beberapa titik, misalnya 30,0 °C dengan PWM 145 atau 34,4 °C dengan PWM 211, memperlihatkan konsistensi aturan dan tidak terjadi osilasi keluar-masuk level yang dapat mengganggu kestabilan.



Gambar 4. 5 Grafik Respons Sistem Kendali Suhu Terhadap Waktu

Pengujian verifikasi dilakukan untuk memastikan implementasi fuzzy berjalan baik. Hasil keluaran PWM dari perangkat dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan Excel dan menunjukkan kesesuaian pola, sehingga basis aturan dan fungsi keanggotaan yang ditanamkan pada mikrokontroler dapat dinyatakan terimplementasi dengan benar.

B. Pembahasan

1. Analisis Kinerja Sensor Suhu LM35

Hasil pada Tabel 4.1 menegaskan bahwa LM35 layak digunakan sebagai sensor suhu pada tahap prototipe: rata-rata selisih sekitar $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ masih berada dalam batas wajar untuk kendali suhu non-presisi. Karena LM35 bersifat analog, stabilitas catu daya menjadi faktor penentu akurasi; fluktuasi tegangan berpotensi memengaruhi pembacaan (Bahruddin, 2013). Untuk aplikasi berpresisi tinggi atau lingkungan bising, disarankan penggunaan regulator/penstabil tegangan, praktik decoupling di dekat pin suplai, tata letak dan grounding yang baik, serta pemfilteran sebelum masuk ADC. Sebagai alternatif, dapat dipertimbangkan sensor digital berkalibrasi seperti DHT22 atau DS18B20 (Hilmi et al., 2021; Hidayat, 2019; Prayitno et al., 2019). Dalam penelitian ini, LM35 terbukti andal dan ekonomis sebagai pemasok data bagi pengendali *fuzzy*.

Secara prinsip, LM35 memiliki skala linear $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ dengan akurasi tipikal $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan rentang operasi -55 hingga $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Karakter linear ini memudahkan konversi dari ADC ke $^{\circ}\text{C}$ tanpa perhitungan non-linear tambahan, sehingga beban komputasi pada mikrokontroler rendah sebelum nilai suhu diproses oleh Fuzzy Logic. Literatur instrumentasi juga menekankan bahwa LM35 telah terkalibrasi pabrik dan sesuai untuk pengukuran suhu ruangan pada kelas biaya rendah–menengah; implikasinya, sepanjang kebersihan catu dan penempatan sensor diperhatikan, kinerja praktisnya mendekati spesifikasi.

Sejumlah studi membandingkan LM35 dengan sensor digital. Pada kondisi tertentu, DHT11/DHT22 dilaporkan sedikit lebih stabil karena keluaran digital yang tahan derau, sementara DS18B20 (antarmuka 1-Wire) kerap unggul dalam konsistensi dan kemudahan multi-drop. Temuan-temuan ini sejalan dengan hasil pengukuran bahwa galat rata-rata dipengaruhi lingkungan, penempatan, dan catu daya, sehingga kalibrasi dua titik terhadap termometer rujukan serta validasi silang penting

dilakukan saat komisioning. Strategi redundansi mempertahankan LM35 untuk respons cepat dan linear sekaligus menambahkan satu sensor digital sebagai pembanding/detektor anomali dapat menekan galat sistemik dan meningkatkan keandalan jangka panjang.

Integrasi LM35 dengan platform IoT memberikan nilai tambah untuk telemetri dan retuning. Pada pengendalian kipas DC berbasis platform seperti Blynk, kenaikan suhu yang terbaca LM35 diikuti peningkatan PWM dan RPM kipas yang terukur. Data historis suhu, PWM dan RPM semacam ini sangat berguna untuk menyetel domain keluaran fuzzy agar aksi lebih halus namun tetap responsif. Selain itu, aplikasi multisensory misalnya LDR dipadukan dengan LM35 pada atap otomatis relevan bagi ruang dengan beban termal dinamis: LM35 menyediakan konteks termal, sedangkan LDR/raindrop/okupansi menyediakan konteks lingkungan, sehingga keputusan kendali (misalnya menaikkan kecepatan kipas atau menyesuaikan set point lokal) menjadi lebih kontekstual dan adaptif.

Pada domain keselamatan, praktik di inkubator menunjukkan manfaat penggunaan beberapa titik LM35 untuk memantau distribusi suhu dan memicu proteksi berbasis ambang. Pendekatan serupa dapat diadopsi pada ruang kritis seperti server room atau laboratorium dengan menempatkan dua hingga tiga LM35 pada zona berbeda, lalu menerapkan voting atau median filter sebagai umpan balik ke pengendali *fuzzy*. Dengan demikian, pilihan LM35 pada penelitian ini tetap tepat, sembari membuka ruang peningkatan melalui redundansi sensor, telemetri, dan *multisensor fusion*.

2. Analisis Kinerja dan Keefektifan Sistem Kendali Fuzzy Logic

Berbasis data pada Tabel 4.2, pengendali Fuzzy Logic menunjukkan kinerja yang stabil dan cepat, disertai *undershoot* sangat kecil sekitar 0,19 °C dan galat kondisi mantap rata-rata sekitar 0,32%. Capaian ini menegaskan penyetelan basis aturan, bentuk fungsi

keanggotaan, serta skema defuzzifikasi ke PWM 0–255 telah dilakukan dengan efektif. Temuan tersebut sejalan dengan laporan pada berbagai aplikasi termal yang menunjukkan reliabilitas *fuzzy logic*, antara lain pada inkubator (Aristiono dan Putri, 2019; Hidayat, 2019), kandang ternak (Kurniawan et al., 2023), dan pengkondisian udara ruangan (Hilmi et al., 2021; Fikriyah dan Rohmanu, 2018).

Dibandingkan kontrol nyala-mati yang bersifat diskrit dan kerap memicu ayunan, *fuzzy logic* menghasilkan aksi kendali proporsional dan halus melalui modulasi lebar pulsa, sehingga suhu tidak berayun di sekitar *set point*. Mekanisme penerjemahan variabel linguistik ke keluaran bertingkat melalui PWM telah banyak dibahas dalam literatur kendali berbasis elektronika daya (Baligar et al., 2019) dan terbukti menghasilkan *overshoot* yang rendah pada beragam studi, misalnya sistem pemanas air berbasis *fuzzy* (Alfith et al., 2019).

Keunggulan lain adalah adaptivitas terhadap ketidakpastian dan nonlinieritas. Dengan merumuskan himpunan keanggotaan seperti Dingin, Normal, dan Panas serta basis aturan yang sesuai, pengendali *fuzzy* mengambil keputusan mendekati cara berpikir manusia. Prinsip ini berakar pada teori himpunan samar (Zadeh, 1965) dan diperkuat oleh temuan eksperimental terkini di ranah instrumentasi dan kendali cerdas (Prayitno et al., 2019).

Pada konteks terapan, studi rumah kaca berbasis *Fuzzy Sugeno* melaporkan penurunan galat suhu dan penjagaan kelembapan dalam rentang ideal dibanding kondisi tanpa pengendali, yang menegaskan kemampuan *fuzzy* meredam gangguan dan beban termal yang tidak linier. Di sisi lain, pada kandang *close-house*, masukan multivariabel berupa suhu, kelembapan, dan usia ternak digunakan untuk menyesuaikan target lingkungan yang dinamis sepanjang siklus pemeliharaan (Kurniawan et al., 2023; Pratama et al., 2014). Implikasi untuk penelitian ini adalah pentingnya mempertimbangkan penambahan

sensor kelembapan digital serta indikator beban termal seperti okupansi atau intensitas radiasi cahaya agar fluktuasi residu berkurang dan penetapan di sekitar *set point* berlangsung lebih cepat.

Dari perspektif keamanan dan efisiensi energi, pendekatan fuzzy juga unggul. Pada suhu tinggi, misalnya 38°C atau lebih, aturan pengendali mendorong PWM kipas menuju nilai maksimum dan memutus sumber panas bila tersedia sebagai mekanisme pengaman, praktik yang lazim pada rancangan inkubator modern (Hidayat, 2019). Strategi ini menurunkan risiko panas berlebih sekaligus mengurangi perpindahan saklar yang boros energi. Secara keseluruhan, hasil pengujian menegaskan bahwa Fuzzy Logic efektif, stabil, dan efisien untuk mempertahankan suhu di sekitar *set point* (Hilmi et al., 2021).



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Prototipe sistem kendali suhu otomatis berbasis LM35, Arduino Uno R3, BTS7960 dan kipas DC berhasil direalisasikan dan beroperasi sesuai rancangan dalam konfigurasi closed-loop. Pencatatan data real time ke Microsoft Excel memudahkan analisis kuantitatif serta verifikasi alur kerja mulai dari akuisisi, pemrosesan, hingga aktuasi.
2. Uji akurasi menunjukkan adanya bias offset konstan sekitar $0,65^{\circ}\text{C}$ antara LM35 dan termometer digital, dengan kesalahan relatif 2,11–2,91% dengan rata-rata 2,52%. Pola ini menandakan bias yang stabil (bukan noise acak) sehingga mudah dikompensasi melalui kalibrasi dua titik atau koreksi tetap di perangkat lunak. Dengan kompensasi sederhana dan pengelolaan catu daya/ADC yang baik, LM35 memadai sebagai sensor umpan balik pada level prototipe.
3. Pengujian kinerja pengendali Fuzzy Logic pada set point 25°C memperlihatkan respons yang cepat dan halus, *undershoot* sangat kecil yaitu $-0,19^{\circ}\text{C}$, serta steady-state error rata-rata 0,32%. Adanya dead-zone menjaga kipas tetap off pada suhu rendah untuk mencegah switching berulang, sedangkan aksi PWM meningkat bertahap seiring deviasi suhu. Mekanisme proteksi suhu tinggi yaitu $\geq 38^{\circ}\text{C}$ mengaktifkan PWM mendekati maksimum, sehingga kondisi aman tetap terjaga. Secara keseluruhan, tujuan penelitian tercapai: sistem mampu mencapai dan mempertahankan suhu di sekitar 25°C dengan osilasi minimal dan efisiensi aktuasi yang baik.
4. LCD 16×2 dengan modul I2C berhasil diintegrasikan dan berfungsi menampilkan data suhu dari sensor LM35 secara *real-time*. Tampilan ini memudahkan pemantauan langsung tanpa harus bergantung pada komputer, sehingga sistem lebih praktis dan informatif.

B. Saran

1. Kalibrasi dan keandalan: terapkan kalibrasi dua titik untuk LM35 dan simpan offset di firmware; stabilkan V_{ref}/ADC dengan decoupling yang memadai, layout dan grounding yang rapi, serta filtrasi sinyal sebelum ADC. Lakukan uji repeatability dan reproducibility berkala untuk memantau drift sensor.
2. Peningkatan sensor dan konteks: pertimbangkan sensor fusion (mis. menambah DS18B20 atau DHT22 untuk validasi silang dan pembacaan kelembapan) serta indikator beban termal (okupansi atau intensitas cahaya) agar aturan fuzzy menjadi lebih kontekstual dan adaptif. Untuk ruang kritis, gunakan multi-titik LM35 dan agregasi (median/voting) guna memantau distribusi suhu.
3. Penalaan kendali: selaraskan kembali fungsi keanggotaan dan rule base menggunakan data historis suhu–PWM–RPM; uji pada beberapa set point, ukuran ruangan, dan skenario gangguan (step load, pintu dibuka, beban panas intermiten). Bandingkan performa dengan PID atau kendali hibrida fuzzy–PID untuk menilai trade-off respons, stabilitas, dan konsumsi energi.
4. Karakterisasi aktuator: kalibrasikan kurva PWM→RPM dengan tachometer dan, bila memungkinkan, kaitkan dengan aliran udara (CFM) agar pemetaan aksi kendali ke efek termal lebih presisi. Tambahkan batasan rate-limit dan anti-windup (untuk hibrida) guna mengurangi keausan mekanik.
5. Keandalan sistem: lengkapi dengan watchdog, deteksi sensor fault (nilai beku/keluar rentang), failsafe pemutusan sumber panas, serta data logging jangka panjang (terintegrasi IoT) untuk alerting dini. Dokumentasikan prosedur komisioning dan pemeliharaan agar sistem siap naik kelas dari prototipe ke implementasi operasional yang robust dan skalabel.

DAFTAR PUSTAKA

Aristiono, D., & Putri, A. R. (2019). Pengembangan Sistem Pengendalian Dan Monitoring Suhu Pada Ruang Inkubator Budidaya Lovebird Berbasis FUZZY LOGIC. *JOEICT (Jurnal of Education and Information Communication Technology)*, 3, 141–149.

Bachtiar, A., & Algizan, A. A. (2019). Perancangan Pengendali Suhu Air Pada Bak Mandi Menggunakan Fuzzy Logic Controller. *Jurnal Teknik Elektro*, 8(2), 109–115.

Baligar, S. S., Joshi, S. S., Mudhole, S., Jadhav, S. S., & Jambotkar, C. K. (2019). *Temperature based speed control of fan using Arduino*. *Int. J. Innov. Res. Technol.*, 5(10), 2349-6002.

Demaniqga, Revidho Yusuf. (2019). Rancang Bangun Sistem Deteksi Kerusakan Pola Batik menggunakan Metode First Order. Tugas Akhir. *Institut Bisnis dan Informatika STIKOM Surabaya*.

Dharmawan, Hari Arief. 2017. *Mikrokontroler, Konsep Dasar dan Praktis*. Malang: UB Press.

Ibrahim, D. 2011. *Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers: Principles and Applications*. Newnes.

Kotta, M. H. (2008). *Suhu Netral Dan Rentang Suhu Nyaman Manusia Indonesia (Studi Kasus Penelitian Pada Bangunan Kantor Di Makassar)*. *Metropilar*, 6(1), 220335.

M. Zainuri dan Ir. C. D. Kusmindari. 2025. Analisis Lingkungan Kerja Fisik Terhadap Kinerja Operator Mesin Bubut. *Journal of Engineering Chronicles*, Vol. No.12025, 38–54, 2025.

Muhammad Arman dkk. 2022. Perbandingan Karakteristik Sensor Temperatur LM35 dan DS18B20 Pada Simulator Cerobong Tata

Udara. *Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar, Bandung, 13-14 Juli 2022.*

M. P. Saptono dan A. Sumbiaganan. 2020. *LPG Gas Leakage Prototype Based On Atmega328 and LCD Microcontroller as Information Media. Jurnal Elektro*

Nurfajriyani, I., & Fadilatussaniatun, Q. (2020). Pengaruh Suhu Ruangan Kelas Terhadap Konsentrasi Belajar Mahasiswa Pendidikan Biologi Semester Vii (B). *Bio Educatio*, 5(1), 377461. *Luceat*.

Zuly Budiarto dkk. 2020. Sistem Kendali Kecepatan Robot Mobil dengan Dua Penggerak Motor DC Berbasis Arduino. *Dinamika Informatika*, Vol.12, No.1, Maret 2020 : 1-8.

M. S. Yoski dan R. Mukhaiyar. 2020. Prototipe Robot Pembersih Lantai Berbasis Mikrokontroler dengan Sensor Ultrasonik. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia Vol 1 No 2 (2020)*.

Sirojul Hadi dkk. 2022. Perbandingan Akurasi Pengukuran Sensor LM35 dan Sensor DHT11 untuk Monitoring Suhu Berbasis *Internet Of Things*. *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*, Vol. 6 No. 3 April, 2022.

T. R. Adzdziri dkk. 2021. Implementasi IoT (*Internet of Things*) pada Rumah Budidaya Jamur Tiram Putih. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)* Vol. 5 No. 1, Maret 2021.

B. Salendah dkk. 2022. Penentuan Beasiswa dengan Metode Fuzzy Tsukamoto Berbasis Web. *Prosiding SNASIKOM Vo. 2 No.1 2022* 81.

Widharma, I Gede Suputra. 2021. Buku Teks Mikrokontroler. *Politeknik Negeri Bali*.

Wahana Komputer. 2016. Pemrograman Mikrokontroler Arduino Uno untuk Pemula. *Yogyakarta: ANDI*.

Hari Purnomo dan Siti Rochimah. 2010. Logika Fuzzy dan Implementasinya pada Sistem Kontrol. *Yogyakarta: ANDI*.

Regtien, Paul P.L. 2018. *Sensors for Mechatronics*. Elsevier.

Sakti, Setyawan P. 2017. Pengantar Teknologi Sensor: Prinsip Dasar Sensor Besaran Mekanik. *UB Press*.

Ross, T. J. 2010. *Fuzzy Logic with Engineering Applications* (3rd ed.).

Wiley. Zadeh, L. A. 1965. *Fuzzy Sets*. *Information and Control*, 8(3), 338–353.

Rada-Vilela, J. 2015. *FuzzyLite Library Documentation*. <https://fuzzylite.com>.





بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

UPT Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar,
Menerangkan bahwa mahasiswa yang tersebut namanya di bawah ini:

Nama : Muh Haris
Nim : 105821101518
Program Studi : Teknik Elektro

Dengan nilai:

No	Bab	Nilai	Ambang Batas
1	Bab 1	2%	10 %
2	Bab 2	8%	25 %
3	Bab 3	6%	10 %
4	Bab 4	0%	10 %
5	Bab 5	0%	5 %

Dinyatakan telah lulus cek plagiat yang diadakan oleh UPT- Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar Menggunakan Aplikasi Turnitin.

Demikian surat keterangan ini diberikan kepada yang bersangkutan untuk dipergunakan seperlunya.

Makassar, 28 Agustus 2025
Mengetahui,

Kepala UPT- Perpustakaan dan Penerbitan,


Nursiah S. Ham, M.P.
NBM: 964 591

Lampiran 1. Koding Pemrograman pada Prototipe

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <BTS7960.h>
#include <Fuzzy.h>

// ===== LCD =====
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,
16, 2); byte
simbol_derajat[8] = {
    0b00111,0b00101,0b00111,0b00000,0b00000,0b00000,0b00000,0b00000
};

// ===== Motor BTS7960 =====
#define L_EN 5
#define R_EN 2
#define L_PWM 6
#define R_PWM 3
BTS7960 motor1(L_EN, R_EN, L_PWM, R_PWM);

// Atur true kalau kipasmu berputar
terbalik const bool INVERT_MOTOR =
true;

// ===== Fuzzy =====
Fuzzy *fuzzy = new Fuzzy();
FuzzySet *cold= new FuzzySet(-10, -10, 10, 20);
FuzzySet *normal = new FuzzySet(15, 22, 28, 35);
FuzzySet *hot = new FuzzySet(30, 35, 50, 50);

FuzzySet *fanStop
    = new FuzzySet( 0, 0, 0,
    0);
FuzzySet *fanLow = new FuzzySet( 30, 60, 60, 100);
FuzzySet *fanMedium = new FuzzySet( 90, 120, 170, 200);
FuzzySet *fanHigh = new FuzzySet(180, 220, 255, 255);

// ===== Sensor LM35 =====
const int SENSOR_PIN = A0;
// Kita pakai AREF DEFAULT (≈5V)
```

```
const float REF_MV = 5000.0f;  
//  
mV const float LM35_MV_PER_C =  
10.0f;
```



```

const uint8_t AVG_SAMPLES = 32;
const float ALPHA = 0.15f; // EMA
smoothing float suhuEMA = NAN;
float lastGood = 25.0f; // fallback

float readTempCStable() {
    // Oversampling + buang
    outlier uint32_t sum = 0;
    uint16_t mn = 1023, mx = 0;

    for (uint8_t i = 0; i < AVG_SAMPLES; i++)
    {
        uint16_t r = analogRead(SENSOR_PIN);
        sum += r;
        if (r < mn) mn = r;
        if (r > mx) mx = r;
        delayMicroseconds(250);
    }

    // Jika hampir semua 1023 → saturasi (mis-wiring/AREF salah)
    if (mx >= 1020) {
        return lastGood; // tahan nilai sebelumnya agar tidak “ngunci 110”
    }

    float adcAvg = (sum - mn - mx) / float(AVG_SAMPLES - 2);

    // Konversi: Vout(mV) = adcAvg * REF_MV / 1023
    // LM35: 10 mV per °C → °C = Vout(mV) / 10
    float tempC = (adcAvg * REF_MV / 1023.0f) / LM35_MV_PER_C;

    // Saring EMA
    if (isnan(suhuEMA)) suhuEMA = tempC;
    suhuEMA = (1.0f - ALPHA) * suhuEMA + ALPHA * tempC;

    // Validasi rentang wajar (-10..110 °C)
    if (suhuEMA > -10.0f && suhuEMA < 110.0f)
    {
        lastGood = suhuEMA;
        return suhuEMA;
    }
    else {
        return lastGood;
    }
}

```

```
}  
}  
  
// ===== Helper Motor =====  
void runFanPWM(int pwm) {  
  pwm = constrain(pwm, 0, 255);  
  if (pwm < 10) {    //  
    deadband motor1.stop();  
    return;  
  }  
}
```



```

    }
    motor1.pwm = pwm;
    if (INVERT_MOTOR) motor1.back(); // BALIK ARAH DI SINI
    else               motor1.front();
}

// ===== Setup =====
void setup() {
    Serial.begin(96
00);

    // Pakai AREF DEFAULT (5V). JANGAN panggil
    analogReference(INTERNAL) di konfigurasi ini.
    // analogReference(DEFAULT);

    // Motor
    motor1.begin(
);
    motor1.enable
();

    // LCD
    lcd.init();
    lcd.backlight
();
    lcd.createChar(0, simbol_derajat);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(3,0); lcd.print("Fuzzy
Fan"); delay(800); lcd.clear();

    // Fuzzy I/O
    FuzzyInput *tempIn = new
    FuzzyInput(1); tempIn-
    >addFuzzySet(cold);
    tempIn-
    >addFuzzySet(normal);
    tempIn-
    >addFuzzySet(hot);
    fuzzy-
    >addFuzzyInput(tempIn);

```



```
FuzzyOutput *speedOut = new
FuzzyOutput(1); speedOut-
>addFuzzySet(fanStop);
speedOut-
>addFuzzySet(fanLow);
speedOut-
>addFuzzySet(fanMedium);
speedOut-
>addFuzzySet(fanHigh);
fuzzy-
>addFuzzyOutput(speedOut);

// Rules
{
    auto a=new FuzzyRuleAntecedent(); a-
    >joinSingle(cold); auto c=new
    FuzzyRuleConsequent(); c->addOutput(fanLow);
    fuzzy->addFuzzyRule(new FuzzyRule(1,a,c));
}
{
    auto a=new FuzzyRuleAntecedent(); a->joinSingle(normal);
```

```

    auto c=new FuzzyRuleConsequent(); c-
    >addOutput(fanMedium); fuzzy->addFuzzyRule(new
    FuzzyRule(2,a,c));
  }
  {
    auto a=new FuzzyRuleAntecedent(); a-
    >joinSingle(hot); auto c=new
    FuzzyRuleConsequent(); c->addOutput(fanHigh);
    fuzzy->addFuzzyRule(new FuzzyRule(3,a,c));
  }
}

// ===== Loop =====
void loop() {
  // 1) Baca suhu real-time stabil
  (°C) float suhu =
  readTempCStable();

  // 2) Fuzzy → PWM
  fuzzy->setInput(1,
  suhu); fuzzy-
  >fuzzify();
  int pwm = (int)constrain(fuzzy->defuzzify(1), 0, 255);

  // 3) Jalankan kipas
  runFanPWM(pwm);

  // 4) Tampil & debug
  Serial.print("Suhu(C): ");
  Serial.print(suhu, 2); Serial.print(" |
  PWM: "); Serial.println(pwm);

  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0
  ,0);
  lcd.print("Suhu:"); lcd.print(suhu,1); lcd.write((byte)0);
  lcd.print("C"); lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("PWM:"); lcd.print(pwm);

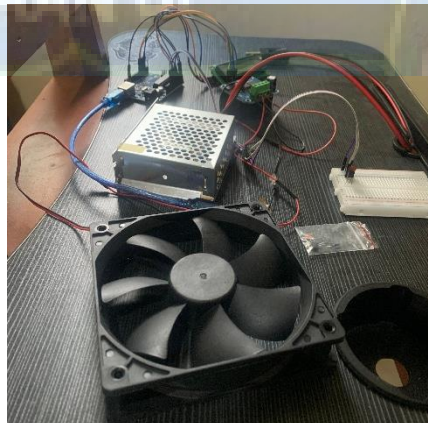
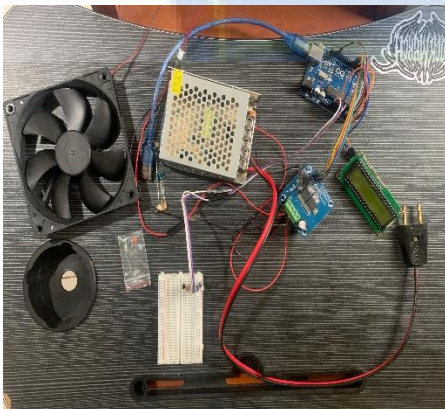
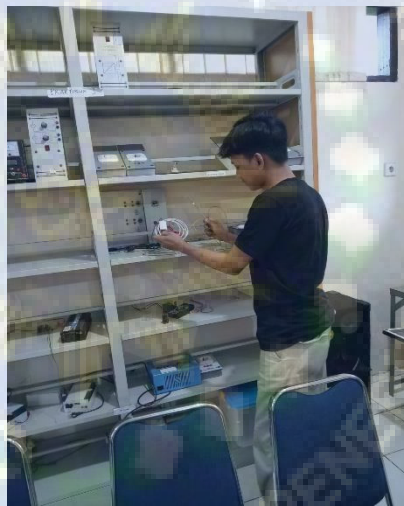
  delay(400);
}

```

Lampiran 2 Datasheet IC Arduino UNO R3 dan Driver BTS7960

Parameter	ATmega328P (Arduino Uno)	ATmega2560 (Arduino Mega)	BTS7960 (Driver Motor)	Keterangan
Jenis IC	Mikrokontroler 8-bit	Mikrokontroler 8-bit	H-Bridge Driver Motor	Fungsi utama dari IC.
Arsitektur	AVR RISC	AVR RISC	Tidak Berlaku	Arsitektur dasar prosesor.
Tegangan Operasi (Logika)	5 V	5 V	3.3 V - 5 V	Tegangan untuk pin kontrol dan logika internal.
Tegangan Suplai (Utama)	5 V	5 V	6 V - 27 V	Tegangan utama untuk operasional IC atau motor.
Kecepatan Clock	16 MHz	16 MHz	Tidak Berlaku	Kecepatan prosesor pada papan Arduino.
Flash Memory (Program)	32 KB	256 KB	Tidak Berlaku	Tempat menyimpan kode program (sketch).
SRAM (Variabel)	2 KB	8 KB	Tidak Berlaku	Memori untuk variabel saat program berjalan.
EEPROM (Penyimpanan)	1 KB	4 KB	Tidak Berlaku	Penyimpanan data non-volatil (tidak hilang).
Pin I/O Digital	14	54	Tidak Berlaku	Jumlah pin yang bisa digunakan sebagai input/output digital.
Pin Input Analog	6	16	Tidak Berlaku	Jumlah pin untuk membaca sinyal analog.
Pin PWM	6	15	2 (LPWM, RPWM)	Pin yang dapat mengeluarkan sinyal PWM.
Arus Output Kontinu	20 mA (per pin)	20 mA (per pin)	43 A	Arus maksimum yang dapat ditangani secara terus-menerus.
Frekuensi PWM Maks.	~490 Hz / 980 Hz	~490 Hz / 980 Hz	25 kHz	Frekuensi sinyal PWM yang didukung.
Resistansi Internal (RDSon)	Tidak Berlaku	Tidak Berlaku	16 mΩ	Resistansi internal saat aktif, makin kecil makin baik.
Fitur Proteksi	Tidak Ada	Tidak Ada	Suhu, Arus, Tegangan	Fitur keamanan terintegrasi pada IC.

Lampiran 3 Dokumentasi



Lampiran 4. Komponen



RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota ENREKANG pada tanggal 3 Maret 2000 sebagai anak ke-1 dari pasangan Bapak Hassan dan Ibu Sadariani. Pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMK) ditempuh di SMK Latanro Ene kang dan lulus pada tahun 2018, penulis diterima sebagai mahasiswa Program Sarjana (S-1) pada Program Studi 2018 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Selama mengikuti program S-1, penulis aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan, selama menempuh pendidikan penulis banyak mendapatkan pengalaman hidup yang sangat bermanfaat, baik akademik maupun non-akademik.

Penulis pernah Sakit di penghujung kuliah tahun 2022 akhir, tiga hari sebelum masuk lokasi Kkp profesi harus bersabar karena diberi ujian, sakit (saraf kejepit) dan akhirnya lumpuh tidak bisa berjalan dan harus fokus pengobatan, singkat cerita tahun 2024, tahun ke 2 pasca sakit bulan 9 September 2024 mulai masuk dan menjalani kembali proses akademik, meskipun keterbatasan masih menggunakan alat bantu tetap semangat sambil fokus berobat trafi di RS. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada orang tua, keluarga, teman-teman. Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, yang telah membantu, menyemangati, support penulis untuk tetap melanjutkan kuliah menyelesaikan proses akademik dan tugas akhir skripsi .