

**“SISTEM PINTAR KONTROL AIR CONDITIONER(AC) BERBASIS
FUZZY LOGIC DAN PENGARUHNYA PADA KONSUMSI ENERGI
LISTRIK”**



SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana
Teknik pada Program Studi S1 Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Tadulako

Disusun Oleh :

TOMAS PALALLO

F441 19 058

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TADULAKO
2025**

**SMART AIR CONDITIONER CONTROL SYSTEM BASED ON
FUZZY LOGIC AND ITS IMPACT ON ELECTRICITY
CONSUMPTION**



UNDERGRADUATE THESIS

Submitted as a partial fulfillment of the requirements for Bachelor Degree
at Electrical Engineering Department
Faculty of Engineering
Tadulako University

Compiled By:

TOMAS PALALLO
F441 19 058

**ELECTRICAL ENGINEERING OF STUDY PROGRAM
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
TADULAKO UNIVERSITY
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

**“SISTEM PINTAR KONTROL AIR CONDITIONER(AC) BERBASIS
FUZZY LOGIC DAN PENGARUHNYA PADA KONSUMSI ENERGI
LISTRIK”**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

TOMAS PALALLO

F44119058

SKRIPSI

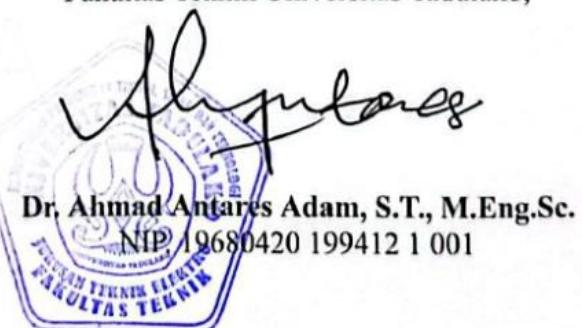
Telah dipertahankan didepan Majelis Penguji dan dinyatakan diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Strata Satu (S1) Teknik Elektro

Pada tanggal 10 Oktober 2025

Mengesahkan,



Ketua Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Tadulako,



HALAMAN PERSETUJUAN

Pada hari Jumat, Tanggal 10 Bulan Oktober tahun 2025 , Pembimbing Skripsi pada program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, berdasarkan berita acara nomor 19135/UN28.6.TE/KA.00.00/PP/2025, Tanggal 10 Bulan Oktober Tahun 2025, Menyatakan menerima dan menyetujui Skripsi yang telah diujikan terhadap mahasiswa berikut :

**TOMAS PALALLO
F 441 19 058**

Judul :

**"SISTEM PINTAR KONTROL AIR CONDITIONER(AC)
BERBASIS FUZZY LOGIC DAN PENGARUHNYA
PADA KONSUMSI ENERGI LISTRIK"**

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Nurhani Amin, S.Pd., M.T
NIP. 197908272008012018

Pembimbing Pendamping



Muh. Aristo Indra Jaya, ST., MT
NIP.199008102019031013

Palu, 10 Oktober 2025

Mengetahui
Ketua Program Studi S1 Teknik Elektro



Dr. Ir. Alamsyah, ST., MT
NIP.197404142002121001

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa

: TOMAS PALALLO

No. Stambuk

: F 441 19 058

Judul Skripsi

**:"SISTEM PINTAR KONTROL AIR
CONDITIONER(AC) BERBASIS FUZZY
LOGIC DAN PENGARUHNYA PADA
KONSUMSI ENERGI LISTRIK"**

Dengan ini penulis menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan penulis juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diasuh dalam naskah skripsi ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Palu, 10 Oktober 2025

Penulis



Tomas Palallo
NIM.F44119058

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat serta karunia-Nya sehingga skripsi dengan judul “Sistem Pintar Kontrol Air Conditioner(AC) Berbasis Fuzzy Logic Dan Pengaruhnya Pada Konsumsi Energi Listrik” akhirnya dapat terselesaikan. Penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako. Skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dorongan dari berbagai pihak yang telah memberikan gagasan, bimbingan dan berbagai dukungan lainnya. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak **Ir. Andi Arham Adam, S.T., M.Sc., Ph.D.**, sebagai Dekan Fakultas Teknik, Universitas Tadulako.
2. Ibu **Dr. Yuli Asmi Rahman ST., M.Eng**, Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik, Universitas Tadulako.
3. Bapak **Dr. Ahmad Antares Adam S.T., M.Sc**, Dosen Wali dan Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako.
4. Bapak **Dr. Alamsyah, S.T., M.T.**, Ketua Program Studi S1 Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Univesitas Tadulako.
5. Ibu **Yusnaini Arifin, ST., MT**, Ketua KDK Teknik Energi Elektrik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako.
6. Ibu **Nurhani Amin, S.Pd.,M.T**, sebagai Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis dalam pembuatan skripsi ini.
7. Bapak **Muh. Aristo Indrajaya, ST., MT**, sebagai Dosen Pembimbing II yang selama ini telah mengarahkan dan membimbing penulis sampai skripsi ini dapat terselesaikan.
8. Ibu **Ir.Mery Subito, MT**, Ibu **Ratih Mar'atus Sholihah,S.S.T.,MT**, Bapak **Baso Mukhlis,ST., MT**, sebagai penguji yang selalu memberikan saran serta kritik yang membangun kepada penulis.

9. Seluruh dosen pengajar di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan pendidikan dan pengetahuan yang bermanfaat kepada penulis.
10. Seluruh staf/laboran/teknisi di laboratorium Jurusan Teknik Elektro yang telah berpartisipasi dan memberi dukungan dalam pembuatan skripsi ini.
11. Seluruh staf akademik dan administrasi Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan bantuannya selama ini.
12. Kepada kedua orang tua tercinta, Bapak **Paulus Pea'** dan Ibu **Martina Kodo'** yang telah membesarkan, mendidik serta memperjuangkan penulis sehingga bisa mengenyam pendidikan tinggi di Universitas Tadulako.
13. Kepada saudara kandung penulis, **Gerson Tawang**, **Amos Pikar Tangdia'ga**, **Aprianus Anton Toding**, **Musa Rappanan** dan **Pince**, yang selalu mendoakan dan membiayai perkuliahan penulis.
14. Untuk saudara seperantauan di Kota Palu **David Jordan Sambue**, **Rafael Benedict Losa**, **Christomi Peluru**, **Simon Ra'ba** yang senantiasa memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis.
15. Teman-teman **Arester Angkatan 2019**, sebagai teman seperjuangan penulis selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Elektro.
16. Teman-teman **Kage 19**, yang selalu menemani penulis.
17. Seluruh rekan-rekan dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak. Akhirnya penulis berharap agar skripsi ini dapat dimanfaatkan, baik bagi rekan-rekan mahasiswa maupun bagi masyarakat luas.

Palu, 10 Oktober 2025
Penulis



Tomas Palallo
NIM. F 441 19 058

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL BAHASA INDONESIA.....	i
HALAMAN JUDUL BAHASA INGGRIS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PERYATAAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL FLOWCHART	xiii
DAFTAR SINGKATAN.....	xiv
DAFTAR RUMUS	xv
ABSTRAK	xvi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II	7
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Tinjauan pustaka.....	7
2.2Landasan Teori	10
2.2.1 AC (Air Conditioner) Sistem.....	10
2.2.2 Logika <i>fuzzy</i>	15
2.2.3 Konsumsi Energi Listrik.....	18

2.2.4 Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6572-2001)	20
2.2.5 Sensor Suhu DHT11	21
2.2.6 NodeMCU ESP32.....	22
2.2.7 Sensor PZEM-004T	23
2.2.8 Infrared <i>Receiver</i>	24
2.2.9 Infrared <i>Transmitter</i>	25
2.2.10 Wireless Mesh Network.....	26
BAB III.....	27
METODE PENELITIAN	27
3.1 Alat dan Bahan Penelitian	27
3.1.1 Alat Penelitian.....	27
3.1.2 Bahan	27
3.1.3 Data Penelitian Yang Dibutuhkan	28
3.2 Tahapan Penelitian	29
3.2.1 Perancangan sistem.....	32
3.2.2 Perancangan sistem.....	34
BAB IV	39
HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4. 1 Hasil.....	39
4.1.1 Hasil Rancangan Alat	39
4.1.2 Pengujian	46
4.2 Pembahasan	57
BAB V.....	74
KESIMPULAN DAN SARAN	74
5.1 Kesimpulan.....	74
DAFTAR PUSTAKA	76
Lampiran.....	77

DAFTAR GAMBAR

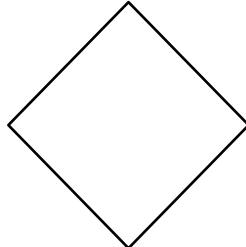
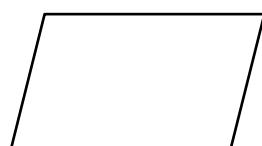
No. Gambar	Halaman
Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Mesin Pendingin Ruangan	12
Gambar 2. 2 Diagram sistem kontrol AC.....	14
Gambar 2. 3 Arsitektur logika <i>fuzzy</i>	16
Gambar 2. 4 Sensor Suhu DHT11.....	22
Gambar 2. 5 NodeMCU ESP32	23
Gambar 2. 6 Sensor PZEM-004T.....	23
Gambar 2. 7 infrared <i>receiver</i>	24
Gambar 2. 8 Infrared <i>Transmitter</i>	25
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 3. 2 Diagram blok perangkat AC <i>controller</i>	32
Gambar 3. 3 Perangkat monitoring energi listrik.....	33
Gambar 3. 4 Perangkat perekam kode remote	33
Gambar 3. 5 Skema rancang alat perangkat AC <i>controller</i>	34
Gambar 3. 6 Skema rancang perangkat monitoring energi listrik	36
Gambar 3. 7 Skema rancang perekam kode remote.....	37
Gambar 3. 8 Skema perancangan alat dalam ruangan.	38
Gambar 4. 1 Tampak bagian dalam box project perangkat AC <i>controller</i>	40
Gambar 4. 2 Bagian luar perangkat AC <i>controller</i>	40
Gambar 4. 3 Tampak bagian dalam Box Project ESP32 pengirim suhu dan kelembapan	42
Gambar 4. 4 Tampak bagian luar box project ESP32 pengirim suhu	42
Gambar 4. 5 Tampak bagian dalam box project perangkat monitoring energi listrik	43
Gambar 4. 6 Tampak bagian luar box project perangkat monitoring energi listrik	44
Gambar 4. 7 Perangkat perekam kode remote	45
Gambar 4. 8 Hasil pengujian logika <i>fuzzy</i> Mamdani	49

Gambar 4. 9 pengujian konsumsi energi listrik antara penggunaan tanpa logika <i>fuzzy</i> dan dengan logika <i>fuzzy</i>	52
Gambar 4. 10 sensor DHT11 dan alat ukur digital HTC-2 untuk suhu	52
Gambar 4. 11 Pengujian Sensor DHT11 dan Alat Ukur Digital HTC-2 untuk Kelembapan.....	54
Gambar 4. 12 Pengujian PZEM004T dan alat ukur digitar kWh meter D96-2049	56
Gambar 4. 13 Grafik input suhu.....	61
Gambar 4. 14 Grafik input kelembapan.....	62
Gambar 4. 15 Grafik output set AC	62
Gambar 4. 16 Grafik keanggotaan output	65
Gambar 4. 17 grafik perubahan suhu dan kelembapan terhadap suhu set AC.....	67

DAFTAR TABEL

No. Tabel	Halaman
Tabel 2. 1 Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya	9
Tabel 2. 2 Standar kenyamanan temperatur orang indonesia	21
Tabel 3. 1 Data AC Panasonic Cu-Yn5wkj C.....	28
Tabel 3. 2 Ukuran Ruangan	28
Tabel 4. 1 Hasil pengujian perangkat perekam kode remote	46
Tabel 4. 2 Pengujian konsumsi energi listrik antara penggunaan tanpa logika <i>fuzzy</i> dan dengan logika <i>fuzzy</i>	50
Tabel 4. 3 hasil pengujian sensor DHT11 dan alat ukur digital HTC-2 untuk suhu	53
Tabel 4. 4 hasil pengujian sensor DHT11 dan alat ukur digital HTC-2 untuk kelembapan.	54
Tabel 4. 5 hasil pengujian PZEM-004T dan alat ukur digital D96-2049.....	56
Tabel 4. 6 Perhitungan konsumsi energi listrik.....	60
Tabel 4. 7 Tabel hasil inferensi logika <i>fuzzy</i> Mamdani.....	64
Tabel 4. 8 perubahan suhu dan kelembapan terhadap suhu set AC	66

DAFTAR SIMBOL FLOWCHART

NO	Simbol	Nama	Arti simbol
1.		Terminal (<i>Start, End</i>)	Terminal merupakan simbol <i>flowchart</i> yang menunjukkan awal atau akhir dari suatu kegiatan
2.		<i>Processing</i>	<i>Processing</i> merupakan simbol <i>flowchart</i> yang menunjukkan sebuah proses pengolahan
3.		<i>Decision</i>	<i>Decision</i> merupakan simbol <i>flowchart</i> yang menunjukkan pemilihan atau penentuan suatu keputusan berdasarkan alur yang sedang berjalan
4.		<i>Flow Direction</i>	<i>Flow direction</i> merupakan simbol <i>flowchart</i> yang menjadi penghubung dan penanda arah instruksi selanjutnya
5.		<i>Input-Output</i>	Proses <i>input</i> dan <i>output</i> tanpa tergantung dengan jenis peralatannya

DAFTAR SINGKATAN

AC	: <i>Air Conditioner</i>
SNI	: Standar Nasional Indonesia
DHT11	: <i>Digital Humidity and Temperature</i>
PZEM-004T	: <i>Power Zero Energy Meter</i>
IR	: <i>Infrared</i>
WiFi	: <i>Wireless Fidelity</i>
HTTP	: <i>Hypertext Transfer Protocol</i>
LCD	: <i>Liquid Crystal Display</i>
kWh	: <i>Kilowatt-hour</i>
MPa	: <i>Megapascal</i>
RH	: <i>Relative Humidity</i>
IoT	: <i>Internet of Things</i>
IDE	: <i>Integrated Development Environment</i>

DAFTAR RUMUS

Rumus konsumsi energi listrik 2. 1.....	19
Rumus mencari selisih error (%) 4. 1.....	53
Penghematan energi 4. 4.....	59
μ Dingin 4. 5.....	61
μ Nyaman 4. 6.....	61
μ Panas 4. 7.....	61
μ Rendah 4. 8.....	62
μ Normal 4. 9.....	62
μ Tinggi 4. 10.....	62
Dezuzzikasi Mamdani 4. 14	65

ABSTRAK

Penggunaan Air Conditioner (AC) secara manual sering kali menyebabkan konsumsi energi listrik yang berlebihan karena pengaturan suhu tidak disesuaikan dengan kondisi lingkungan secara nyata. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol AC berbasis logika *fuzzy Mamdani* yang mampu mengatur suhu ruangan secara otomatis sesuai standar kenyamanan termal, serta menganalisis pengaruhnya terhadap konsumsi energi listrik. Sistem ini dibangun menggunakan empat sensor DHT11 yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, sedangkan konsumsi energi dipantau dengan sensor PZEM-004T dan dikirimkan ke platform ThingSpeak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol berbasis *fuzzy logic* mampu menyesuaikan suhu AC secara adaptif dengan tingkat akurasi yang baik. Penerapan sistem ini menghasilkan konsumsi energi sebesar 5,01 kWh selama tiga hari, dibandingkan 8,87 kWh pada kondisi tanpa *fuzzy logic*. Dengan demikian, sistem berhasil menghemat energi sebesar 3,86 kWh atau setara 43,82%. Temuan ini membuktikan bahwa penerapan logika *fuzzy* pada kontrol AC efektif dalam meningkatkan efisiensi energi listrik sekaligus mendukung upaya penghematan biaya listrik.

Kata kunci: logika *fuzzy*, kontrol AC, efisiensi energi, ESP32, sensor DHT11

ABSTRACT

The manual use of Air Conditioners (AC) often leads to excessive electricity consumption, as temperature settings are not adjusted to actual environmental conditions. This study aims to design and implement an AC control system based on Mamdani fuzzy logic to automatically regulate room temperature according to thermal comfort standards, as well as to analyze its effect on electricity consumption. The system was developed using four DHT11 sensors connected to an ESP32 microcontroller as the main controller, while energy consumption was monitored using a PZEM-004T sensor and transmitted to the ThingSpeak platform. Experimental results show that the fuzzy logic-based control system was able to adaptively adjust the AC temperature with high accuracy. The application of the system resulted in an energy consumption of 5.01 kWh over three days, compared to 8.87 kWh under manual control. Thus, the system achieved energy savings of 3.86 kWh or 43.82%. These findings demonstrate that applying fuzzy logic to AC control is effective in improving energy efficiency and supporting electricity cost reduction.

Keywords: Fuzzy logic, AC control, energy efficiency, ESP32, DHT11 sensor

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air conditioner (AC) merupakan salah satu alat elektronik yang paling banyak digunakan di dunia untuk mengendalikan suhu ruangan agar lebih nyaman dihuni, meskipun termasuk alat elektronik yang paling boros energi. Pada umumnya, pengaturan suhu ruangan pada AC dilakukan secara manual oleh pengguna, di mana mereka harus mengatur suhu ruangan secara berkala dan menyesuaikannya dengan keinginan mereka. Hal ini dapat menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengguna karena mereka harus sering-sering meninggalkan aktivitas mereka untuk mengatur suhu ruangan.

Pengaturan suhu ruangan secara manual dapat menyebabkan konsumsi energi listrik yang tidak efisien karena pengguna sering kali tidak memperhitungkan faktor-faktor seperti kondisi cuaca dan waktu. Hal ini dapat mengakibatkan penggunaan energi berlebihan, baik dalam pemanasan maupun pendinginan ruangan, karena sistem tidak disesuaikan dengan kondisi suhu ruangan yang sebenarnya yang memungkinkan penggunaan energi yang lebih efisien. (Abdilah et al., 2022).

Untuk itu, diperlukan sistem kontrol AC yang dapat mengatur suhu ruangan secara otomatis sesuai dengan suhu kenyamanan termal manusia di Indonesia 22,8°C sampai 25,8°C dan kelembapan relatif 55% sampai 60% yang diatur dalam Standar Nasional Indonesia SNI 03-6572-2001. Sistem kontrol AC yang otomatis dapat memberikan kenyamanan bagi pengguna dan juga dapat

menghemat konsumsi energi listrik. Oleh sebab itu penulis memilih judul tugas akhir “**SISTEM PINTAR KONTROL AIR CONDITIONER (AC) BERBASIS FUZZY LOGIC DAN PENGARUHNYA PADA KONSUMSI ENERGI LISTRIK**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem kontrol AC berbasis *fuzzy logic* yang dapat secara otomatis menyesuaikan suhu ruangan sesuai dengan standar kenyamanan?
2. Seberapa besar pengaruh sistem kontrol Air conditioner (AC) berbasis *fuzzy logic* terhadap konsumsi energi listrik?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Penelitian ini hanya berfokus pada perancangan dan implementasi sistem kontrol suhu ruangan menggunakan Air Conditioner (AC) berbasis logika *fuzzy* Mamdani, serta menganalisis pengaruhnya terhadap konsumsi energi listrik.
2. Sistem hanya menggunakan dua input, yaitu suhu dan kelembapan ruangan, yang diukur menggunakan empat sensor DHT11 yang ditempatkan di empat sudut ruangan.
3. Data yang digunakan hanya berasal dari dalam ruangan, tidak mempertimbangkan suhu atau kelembapan dari luar ruangan.

4. Ukuran ruangan pengujian adalah 2, 35 meter x 4, 38 meter, dengan tinggi plafon 2, 50 meter, dan selama pengujian terdapat maksimal 2 sampai 4 orang berada di dalam ruangan.
5. Nilai suhu rata-rata dan kelembapan rata-rata dari keempat sensor digunakan sebagai input sistem *fuzzy*, sedangkan outputnya adalah suhu setpoint AC yang dikirim melalui sinyal infrared (IR) ke AC.
6. Sistem hanya menggunakan AC merek LG dengan format kode IR tertentu yang telah ditentukan, dan tidak membahas jenis atau merek AC lainnya.
7. Sistem komunikasi antar perangkat menggunakan jaringan WiFi lokal, dengan alamat IP statis, tanpa melibatkan komunikasi cloud atau protokol selain HTTP.
8. Konsumsi energi listrik dimonitor menggunakan sensor PZEM-004T, yang mencatat data tegangan (V), arus (A), daya (W), dan energi (kWh). Data tersebut dikirim ke platform ThingSpeak untuk keperluan pemantauan.
9. Penelitian ini tidak membahas kenyamanan subjektif pengguna atau persepsi personal, melainkan berdasarkan kategori suhu kenyamanan yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI 6390:2011) mengenai kenyamanan termal ruang kerja.
10. Lingkungan ruangan bersifat tertutup, tidak terdapat jendela terbuka atau sumber ventilasi alami lainnya, dan tidak digunakan alat bantu pendingin tambahan seperti kipas angin.

11. Penelitian ini tidak membahas aspek keamanan jaringan WiFi, performa sistem secara komersial, atau integrasi dengan sistem smart home dan aplikasi mobile.
12. Nilai suhu dan kelembapan yang digunakan sebagai dasar pembentukan fungsi keanggotaan logika *fuzzy* mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI 6390:2011) mengenai kenyamanan termal ruang kerja, dengan rentang suhu kenyamanan antara 20,50°C – 27,10°C dan kelembapan relatif antara 55% – 60%.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol AC berbasis *fuzzy logic* yang dapat mengatur suhu ruangan secara otomatis. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis pengaruh sistem kontrol AC berbasis *fuzzy logic* terhadap konsumsi energi listrik.

1.5 Manfaat Penelitian

- a. Meningkatkan kenyamanan pengguna :
 1. Sistem otomatis menyesuaikan suhu ruangan sesuai preferensi pengguna.
 2. Pengguna menikmati tingkat kenyamanan yang lebih tinggi.
- b. Menghemat konsumsi energi listrik:
 1. Kontrol *fuzzy logic* meminimalkan konsumsi energi yang tidak perlu.
 2. Pengguna menghemat biaya listrik.
 3. Mendukung upaya pelestarian lingkungan.
- c. Meningkatkan efisiensi sistem kontrol AC:

1. Sistem menyesuaikan suhu ruangan secara dinamis.
2. Mengoptimalkan operasi AC dan mengurangi pemborosan energi.
3. Menciptakan sistem yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran secara garis besar dan sekaligus mempermudah pembaca dalam mempelajari dan memahami proposal ini,maka sistematika penulisan proposal yang terdiri dari beberapa bab dapat diuraikan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Pada bab ini membahas tentang penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pembuatan skripsi ini dan teori pendukung yang berhubungan dengan pembuatan skripsi ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini membahas tentang perancangan dalam pembuatan sistem pintar kontrol Air Conditioner(AC) berbasis *fuzzy logic* dan pengaruhnya pada konsumsi energi listrik. Pada bab ini penelitian dimulai dari mulai dari mempersiapkan bahan, alat yang digunakan sampai pada tahapan pembuatan alat serta terdapat flowchart penelitian dan lain-lain.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi pembahasan hasil yang didapatkan dari pintar kontrol Air Conditioner(AC) berbasis *fuzzy logic* dan pengaruhnya pada konsumsi energi listrik.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari keseluruhan penggerjaan tugas akhir dan saran-saran untuk pengembangan diwaktu mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang daftar judul buku beserta nama penulisnya atau sumber lain yang digunakan penulis saat ini sebagai referensi dalam pelaksanaan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan pustaka

Rujukan penelitian yang dilakukan untuk mendukung penulisan skripsi ini antara lain sebagai berikut :

Berdasarkan hasil penelitian(Pramesti, 2018) dalam penelitiannya yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Pengendali Air Conditioner Dengan *Fuzzy logic*” jika suatu ruangan yang menggunakan pendingin ruangan diisi oleh orang banyak, maka semakin besar daya AC yang dibutuhkan untuk mendinginkan ruangan tersebut karena pada dasarnya manusia yang mengisi suatu ruangan mengeluarkan kalori yang cukup tinggi. Suhu yang dikeluarkan pendingin ruangan (AC) terkadang terasa cukup, terlalu sejuk, kurang sejuk dan lain sebagainya di kulit manusia. Dengan Inferensi *Fuzzy* dapat ditentukan suhu optimal yang akan dikeluarkan oleh pendingin ruangan pada ruang tertutup berdasarkan suhu di luar ruangan, jumlah orang yang berada di dalam, dan suhu di dalam ruangan tersebut. Suhu terbaik bisa menjadi efek positif untuk penyembuhan dan penghematan energi.

Pada penelitian yang dilakukan oleh(Iksal et al., 2016)Penulis dalam penelitiannya yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Pengendali Suhu Ruangan Menggunakan *Fuzzy logic*” Semakin banyak jumlah orang di dalam ruangan maka semakin besar daya AC yang dibutuhkan karena pada dasarnya tubuh manusia mengeluarkan kalori yang cukup tinggi, begitu juga dengan luas ruangan.Sementara suhu yang dikeluarkan pendingin ruangan (AC) terkadang

terasa cukup, terlalu sejuk, kurang sejuk dan lain sebagainya di kulit manusia. Dengan inferensi *fuzzy* dapat ditentukan suhu optimal yang akan dikeluarkan oleh pendingin ruangan pada ruang tertutup berdasarkan jumlah orang dalam ruangan, luas ruangan (m²), jumlah pendingin ruangan, dan spesifikasi besaran daya kompresor AC yang digunakan. Penentuan suhu yang optimal dalam ruangan sangat penting karena suhu yang optimal akan memberi pengaruh positif bagi kesehatan dan penghematan energi. Penelitian ini berhasil menemukan suhu optimal suatu ruangan dengan menggunakan metoda Inferensi *Fuzzy*.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Fikriyah & Rohmanu, 2018) Penulis dalam penelitiannya yang berjudul “Sistem Kontrol Pendingin Ruangan Menggunakan Arduino Web Server Dan Embedded *Fuzzy logic* Di Pt. InoAC Polytechno Indonesia” Indonesia merupakan negara berkembang yang penduduknya banyak bergerak di bidang pertanian dan industri. Untuk itu pengembangan teknologi di bidang industri perlu ditingkatkan untuk menghasilkan terobosan terobosan baru. Sebagai contoh perkembangan teknologi piranti piranti digital seperti mikrokontroller. Pemanfaatan mikrokontroler akan banyak membawa dampak pada kemudahan dan efektivitas kerja. Sebagai contoh rancang bangun sistem kontrol suhu ruang akan sangat bermanfaat pada proses kegiatan bekerja para pegawai industri dan perkantoran menengah yang efisien. Studi ini mengajukan perancangan simulasi sistem kontrol suhu dengan metode *fuzzy logic* sugeno dan beserta implementasinya berupa prototype. Sistem kontrol suhu ruangan menggunakan mikrokontroller arduino. Sistem kontrol suhu ini dilengkapi dengan kemampuan untuk mengontrol suhu ruangan yang dapat

ditampilkan di Web Server. Metode perancangan sistem dimulai dari kajian arsitektur sistem, perencanaan sistem kontrol suhu, dan pembuatan prototype sistem kontrol suhu. Pada penelitian ini suhu akan ditampilkan pada Web Server. Sistem ini menggunakan dua variable yaitu suhu ruangan dan jumlah orang. Semakin banyak orang yang masuk kedalam ruangan, maka otomatis kipas akan hidup, ketika orang didalam ruangan berkurang, kecepatan kipas akan berkurang juga. Sistem ini bekerja dengan menggunakan beberapa perangkat diantaranya Arduino, sensor suhu, kipas dan sensor LM35.

Adapun persamaan dan perbedaan penelitian penulis dengan penelitian sebelumnya dipaparkan pada tabel 2. 1 sebagai berikut.

Tabel 2. 1 Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya

“Rancang Bangun Sistem Pengendali Air Conditioner Dengan <i>Fuzzy logic</i>”		
Persamaan	Perbedaan	
	Penelitian terdahulu	Penelitian penulis
Menggunakan <i>fuzzy logic</i> (metode mamdani)	1. Aplikasi MATLAB R2014a. 2. Rancang bangun sistem di simulasikan di dalam Aplikasi MATLAB R2014a. 3. Tidak terhubung ke AC (Air conditioner) 4. Perhitungan konsumsi energi listrik tidak ada	1. Menggunakan Arduino IDE 2. Rancang bangun sistem akan di aplikasikan secara langsung pada AC 3. Terhubung ke AC(Air conditioner) 4. Perhitungan konsumsi energi listrik ada
“Rancang Bangun Sistem Pengendali Suhu Ruangan Menggunakan <i>Fuzzy logic</i>”		
Persamaan	Perbedaan	
	Penelitian terdahulu	Penelitian penulis
Menggunakan <i>Fuzzy logic</i>	1. Metode Tsukamoto 2. Berdasarkan variabel jumlah	1. Metode Mamdani 2. Berdasarkan suhu ruangan dan

	<p>orang, jumlah AC, luas ruangan, dan spesifikasi AC untuk mengoptimalkan suhu ruangan.</p> <p>3. Rancang bangun sistem akan di aplikasikan secara langsung pada AC</p> <p>4. Perhitungan konsumsi energi listrik ada</p> <p>4. Perhitungan konsumsi energi listrik tidak ada</p>	<p>kelmbapan ruangan</p> <p>3. Rancang bangun sistem akan di aplikasikan secara langsung pada AC</p> <p>4. Perhitungan konsumsi energi listrik ada</p>
“Sistem Kontrol Pendingin Ruangan Menggunakan Arduino Web Server Dan Embedded Fuzzy logic Di Pt. InoAC Polytechno Indonesia”		
Persamaan	Perbedaan	
Menggunakan <i>Fuzzy logic</i>	<p>Penelitian terdahulu</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Metode Sugeno 2. Diimplementasikan pada kipas angin 	<p>Penelitian penulis</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Metode Mamdani 2. Diimplementasikan pada Air Condisioner (AC)

2.2 Landasan Teori

2.2.1 AC (Air Conditioner) Sistem

A. Komponen-komponen dasar dalam sistem AC

Dalam Air Conditioner(AC) terdapat beberapa bagian atau komponen komponen utama dan fungsinya adalah sebagai berikut :

1. Kompresor

Komponen AC yang satu ini berfungsi untuk menghisap dan menekan uap refrigerant dari evaporator yang mana kompresor menjadi salah satu komponen utama pada unit pendingin ruangan atau AC . Setelah itu, kompresor akan mengompresi uap tersebut sehingga suhu dan tekanannya lebih tinggi. Fungsi lain dari kompresor di sini juga akan mempertahankan perbedaan tekanan dan temperature dalam sistem. Komponen AC ini juga membantu mengalirkan

refrigerant ke seluruh sistem pendingin. Intinya pendingin ruangan akan sangat bergantung pada kompresor ini untuk mengatur tekanan udara.

2. Kondensator

Kondensator adalah komponen AC yang berfungsi sebagai penukar kalor atau panas. Alat yang satu ini juga akan menurunkan temperature refrigerant dan mengubah wujud refrigerant dari gas menjadi cair atau disebut dengan proses kondensasi. Kondensator ini terdapat pada bagian unit outdoor pendingin ruangan anda karena fungsinya adalah untuk membuang panas. Kondensator ini berbentuk jaringan pipa yang berfungsi sebagai tempat pengembunan. Setelah refrigerant berubah menjadi zat cair karena pengembunan tersebut, zat cair itu akan mengalir ke pipa evaporator untuk dibuang.

3. Blower atau Fan

Pada AC di rumah, unit indoor maupun outdoornya memiliki komponen fan atau blower ini. Pada unit indoor bentuknya seperti tabung bersirip karena fungsinya adalah sebagai sirkulasi udara. Kemudian, komponen yang terdapat pada bagian outdoor berbentuk seperti kipas dan berfungsi mendinginkan refrigerant pada kondensor.

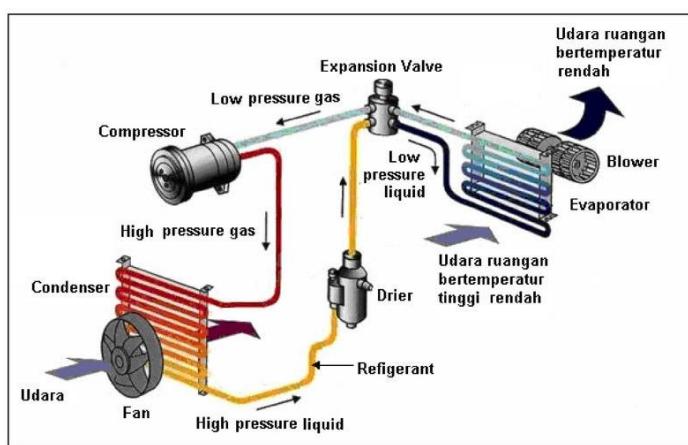
4. Refrigerant atau Freon

Refrigerant atau sering disebut dengan Freon ini menjadi komponen pendingin udara yang berbentuk gas atau senyawa kimia. Fungsinya yakni sebagai fluida yang mengkondisikan suhu udara yang dikeluarkan oleh AC. Freon pada umumnya tidak berbau dan tidak berwarna. Ringkasnya, ketika Freon pada

pendingin ruangan habis, perlu segera menggantinya karena tanpa Freon yang maksimal dan cukup, AC tidak bisa mengeluarkan udara sejuk pada ruangan.

B. Prinsip kerja pendinginan pada AC

Sistem kerja pendingin udara (AC) didasarkan pada proses sirkulasi refrigeran yang mengalami perubahan tekanan dan temperatur pada setiap tahapannya.



Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Mesin Pendingin Ruangan

Gambar 2. 1 menunjukkan prinsip kerja mesin pendingin ruangan. Udara dari ruangan pertama-tama diserap oleh evaporator, kemudian dialirkan menuju kompresor. Pada bagian ini, refrigeran dalam bentuk gas bertekanan rendah dikompresi sehingga tekanannya meningkat menjadi gas bertekanan tinggi. Selanjutnya, gas tersebut dialirkan ke kondensor untuk didinginkan hingga berubah menjadi cairan. Setelah melewati katup ekspansi, tekanan dan temperatur refrigeran turun drastis, sehingga refrigeran berubah menjadi uap bertekanan rendah dan bertemperatur rendah. Uap inilah yang kemudian kembali ke evaporator untuk menyerap panas dari udara ruangan sehingga suhu ruangan dapat terjaga sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Apabila suhu yang

terdeteksi sensor tidak sesuai dengan setpoint, maka sistem akan memberikan umpan balik (*feedback*) yang diaktualisasikan melalui relay untuk mengendalikan siklus kerja AC secara *on/off*.

C. Variabel kontrol pada AC

1. Suhu

Ini adalah variabel terpenting yang dikendalikan oleh pengguna AC. Suhu ruangan diatur dengan mengatur termostat. Ketika termostat diatur ke suhu yang lebih tinggi, AC akan menyala dan mendinginkan ruangan sampai mencapai suhu yang disetel. Ketika termostat diatur ke suhu yang lebih rendah, AC akan mati.

2. Kecepatan kipas

Kipas di AC berputar untuk mensirkulasikan udara dingin di sekitar ruangan. Kecepatan kipas dapat diatur ke tinggi, sedang, atau rendah. Setelan kipas yang lebih tinggi akan mendinginkan ruangan lebih cepat, tetapi juga akan lebih berisik.

3. Arah aliran udara

Arah aliran udara dapat diatur agar meniup ke atas, ke bawah, atau ke kiri dan kanan. Hal ini memungkinkan kita untuk mengarahkan udara dingin ke area tertentu ruangan.

4. Mode operasi

AC memiliki beberapa mode operasi yang berbeda, seperti pendinginan, pemanasan, ventilasi, dan dehumidifikasi. Mode pendinginan digunakan untuk mendinginkan ruangan, mode pemanasan digunakan untuk memanaskan ruangan,

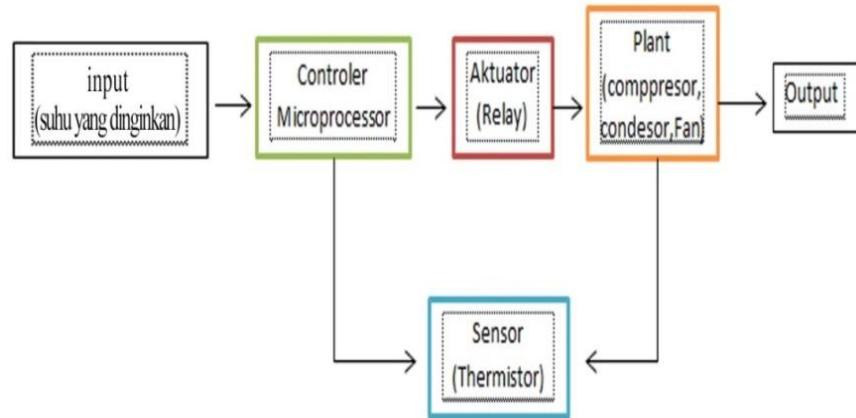
mode ventilasi digunakan untuk mensirkulasikan udara di dalam ruangan, dan mode dehumidifikasi digunakan untuk menghilangkan kelembapan dari udara.

5. Pengatur waktu

Pengatur waktu dapat digunakan untuk menghidupkan dan mematikan AC secara otomatis. Hal ini dapat membantu menghemat energi dengan mematikan AC saat tidak digunakan.

D. Sistem kontrol pada AC

Sistem kontrol AC bekerja dengan cara mengatur suhu ruangan sesuai dengan yang yang kita inginkan.



Gambar 2. 2 Diagram sistem kontrol AC

Gambar 2. 2 menunjukkan diagram sistem kontrol AC. Pertama memasukkan suhu yang diinginkan melalui remote kontrol atau panel kontrol. Sensor thermistor kemudian akan mendeteksi suhu ruangan aktual dan mengirimkan informasi tersebut ke kontroler. Kontroler kemudian membandingkan suhu ruangan aktual dengan suhu yang diinginkan. Jika suhu ruangan aktual lebih tinggi, kontroler akan memberikan instruksi kepada aktuator (relay) untuk mengaktifkan kompresor dan kipas. Kompresor dan kipas kemudian akan bekerja sama untuk menghasilkan udara dingin dan mensirkulasi di ruangan.

Ketika suhu ruangan mencapai suhu yang diinginkan, kontroler akan mematikan kompresor dan kipas. Sensor thermistor akan terus memantau suhu ruangan dan kontroler akan mengaktifkan kembali kompresor dan kipas jika suhu ruangan naik kembali.

2.2.2 Logika *fuzzy*

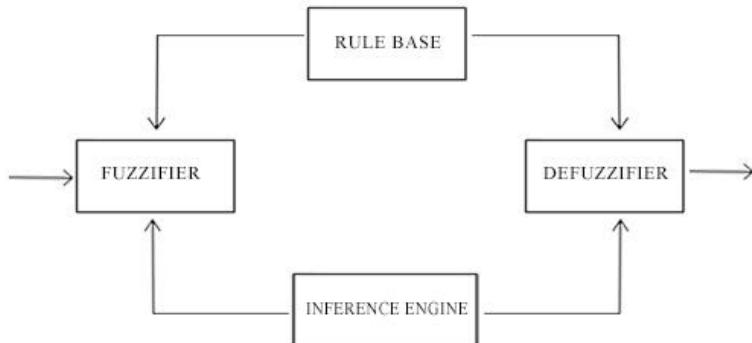
A. Pengertian Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* atau dalam istilah bahasa inggris disebut *fuzzy logic* merupakan bentuk logika bernilai banyak yang memiliki nilai kebenaran variabel dalam bilangan real antara 0 dan 1. Logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh melalui tulisannya tentang teori himpunan *fuzzy* pada tahun 1965. Lotfi Asker Zadeh adalah seorang ilmuwan Amerika Serikat berkebangsaan Iran dari Universitas California di Barkeley.

B. Prinsip Dasar Logika *Fuzzy*

Prinsip dasar logika *fuzzy* adalah bahwa segala sesuatu memiliki derajat keanggotaan. Derajat keanggotaan adalah nilai yang menunjukkan seberapa besar suatu objek termasuk dalam suatu himpunan *fuzzy*. Dalam logika *fuzzy*, suatu objek dapat dikatakan termasuk dalam suatu himpunan *fuzzy* dengan derajat keanggotaan yang lebih besar dari 0, tetapi tidak sepenuhnya. Misalnya, suatu benda dapat dikatakan "panas" dengan derajat keanggotaan 0,5. Hal ini berarti benda tersebut tidak sepenuhnya panas, tetapi juga tidak sepenuhnya dingin.

C. Arsitektur Sistem Logika Fuzzy



Gambar 2. 3 Arsitektur logika *fuzzy*

Gambar 2. 3 menunjukkan arsitektur logika *fuzzy* pada dasarnya, ada empat bagian dalam arsitektur sistem logika *fuzzy*, yakni :

1. Rule Base

Berisi semua aturan dan kondisi "*if-else*" untuk mengontrol pengambilan keputusan. Namun, seiring perkembangan modern, jumlah aturan dalam *rule-base* yang digunakan logika *fuzzy* telah banyak berkurang.

2. Fuzzification

Fuzzifikasi adalah komponen kedua dalam arsitektur logika *fuzzy* dan berguna untuk membantu mengubah input. Komponen ini membantu dalam mengkonversi angka ekstrem ke himpunan *fuzzy*. Masukan yang ekstrem diukur oleh sensor dan diteruskan ke sistem kontrol untuk diproses. Modul ini digunakan untuk mengubah input sistem dan juga membantu dalam membagi sinyal input menjadi lima state yaitu *Large positive*, *Medium positive*, *Small*, *Medium negative*, *Large negative*.

3. Inference Engine

Komponen ketiga ini membantu dalam menentukan tingkat kecocokan antara input *fuzzy* dan aturan *fuzzy*. Berdasarkan persentase itu diputuskan aturan mana yang perlu diterapkan. Setelah itu, untuk mengembangkan tindakan kontrol, aturan yang diterapkan digabungkan.

4. Defuzzifikasi

Modul ini adalah kebalikan dari proses *fuzzification*. Di sini, nilai *fuzzy* diubah menjadi nilai ekstrem melalui pemetaan (*mapping*). Akan ada beberapa metode defuzzifikasi untuk melakukan ini, tetapi pemilihan metode yang terbaik didasarkan sesuai input. Metode yang digunakan untuk defuzzifikasi yakni metode rata-rata (*average*) dan metode titik tengah (*center of area*) yang digunakan untuk membantu pengambilan keputusan yang tepat.

D. Sistem Inferensi *Fuzzy*

1. Metode Inferensi Mamdani

Sistem inferensi *fuzzy* Mamdani diusulkan oleh Ebhasim Mamdani tahun 1977. Pertama kali dirancang untuk mengontrol kombinasi mesin uap dan boiler dengan seperangkat aturan kontrol linguistik yang diperoleh dari operator manusia yang berpengalaman.

Pada sistem inferensi Mamdani, keluaran dari setiap aturan menjadi himpunan logika *fuzzy* untuk menentukan keluaran atau output terdapat beberapa tahapan, yakni sebagai berikut:

- a. Pembentukan himpunan *fuzzy*. Variabel input maupun output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*.
- b. Fuzzifikasi, yaitu menetukan derajat keanggotaan varibel input.

- c. Operasi logika *fuzzy*, perlu dilakukan jika bagian antecedent lebih dari satu pernyataan melakukan operasi-operasi logika *fuzzy*. Hasil akhir dari operasi ini adalah derajat kebenaran antecedent yang berupa bilangan tunggal. Operator *fuzzy* untuk melakukan operasi and dan or bisa dibuat sendiri.
- d. Implikasi: menerapkan metode implikasi untuk menentukan bentuk akhir *fuzzy* set keluaran. Consequent atau keluaran dari aturan *fuzzy* ditentukan dengan mengisikan kumpulan *fuzzy* keluaran ke variabel keluaran. Fungsi implikasi yang digunakan adalah Min.
- e. Agregasi: yaitu proses mengkombinasikan keluaran semua aturan if - then menjadi sebuah kumpulan *fuzzy* tunggal menggunakan fungsi Max. Apabila digunakan fungsi impifikasi min maka metode agregasi ini disebut dengan nama max-min atau max-min atau Mamdani.
- f. Defuzzifikasi: input dari proses ini adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan outputnya adalah bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut.

2.2.3 Konsumsi Energi Listrik

A. Pengertian Konsumsi Energi Listrik

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI), konsumsi listrik didefinisikan sebagai jumlah energi listrik yang digunakan oleh suatu peralatan atau instalasi listrik dalam satuan waktu, biasanya dinyatakan dalam kilowatt-jam (kWh). SNI 04-6956.1:2005 tentang Persyaratan Umum Instalasi Listrik Tegangan Rendah, mendefinisikan konsumsi listrik sebagai berikut :

Konsumsi energi listrik adalah energi listrik yang digunakan oleh suatu peralatan atau instalasi listrik dalam satuan waktu, biasanya dinyatakan dalam kilowatt-jam (kWh). Konsumsi listrik dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$E = P \cdot t \quad (2.1)$$

Dimana :

E = adalah konsumsi energi listrik dalam kWh

P = adalah daya listrik dalam Kw

t = adalah waktu penggunaan daya dalam jam

Daya adalah jumlah energi listrik yang digunakan oleh suatu peralatan atau instalasi listrik pada suatu waktu tertentu. Waktu adalah periode waktu selama peralatan atau instalasi listrik digunakan.

Konsumsi listrik dapat diukur dengan menggunakan alat ukur energi listrik, seperti kWh meter. kWh meter adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur jumlah energi listrik yang digunakan oleh suatu pelanggan dalam periode waktu tertentu.

B. Faktor-faktor yang memengaruhi konsumsi energi AC

Berikut adalah beberapa faktor yang memengaruhi konsumsi energi AC yaitu.

Faktor Internal AC:

1. Kapasitas AC: Semakin besar kapasitas AC, semakin banyak energi yang dikonsumsi.
2. Teknologi AC: AC dengan teknologi inverter umumnya lebih hemat energi dibandingkan AC konvensional.

3. Efisiensi Energi (EER): Semakin tinggi nilai EER, semakin hemat energi AC.
4. Kondisi filter udara: Filter udara yang kotor dapat menghambat aliran udara dan menyebabkan AC bekerja lebih keras, sehingga konsumsi energi meningkat.
5. Suhu ruangan: Semakin tinggi suhu ruangan yang ingin dicapai, semakin banyak energi yang dikonsumsi AC.
6. Pengaturan timer: Penggunaan timer untuk mematikan AC secara otomatis dapat membantu menghemat energi.

Faktor Eksternal AC:

1. Suhu luar ruangan: Semakin tinggi suhu luar ruangan, semakin banyak energi yang dikonsumsi AC untuk mendinginkan ruangan.
2. Kelembapan: Kelembaban yang tinggi dapat membuat AC bekerja lebih keras, sehingga konsumsi energi meningkat.
3. Posisi AC: Posisi AC yang terkena sinar matahari langsung dapat membuat AC bekerja lebih keras, sehingga konsumsi energi meningkat.
4. Kebocoran udara: Kebocoran udara pada ruangan dapat membuat AC bekerja lebih keras untuk mendinginkan ruangan, sehingga konsumsi energi meningkat.

2.2.4 Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6572-2001)

Standar Nasional Indonesia (SNI) yang digunakan dalam penelitian ini adalah SNI 03-6572-2001 tentang tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung. Tata cara dalam perancangan sistem ventilasi ini, sebagai pedoman untuk semua pihak yang terlibat dalam perencanaan, pembangunan dan pengelolaan gedung, dan bertujuan untuk

memperoleh kenyamanan dan keamanan bagi tamu dan penghuni yang berada maupun yang menempati gedung tersebut.

Standar ini diberlakukan terhadap kinerja peralatan (*equipment*) dan komponen sesuai kriteria penggunaan energi yang efektif untuk instalasi baru dan penggantian peralatan dan komponen sistem ventilasi dan pengkondisian udara. Adapun standar tersebut memberikan arahan dan pedoman agar dapat mengetahui sistem ventilasi dan tata cara perancangannya agar suhu udara dapat berfungsi dengan baik dan meningkatkan kualitas kenyamanan bagi pengguna atau penghuni bangunan.

Berikut ini tabel standart yang ditetapkan oleh SNI 03-6572-2001 untuk tingkatan temperatur yang nyaman untuk orang Indonesia, yaitu:

Tabel 2. 2 Standar kenyamanan temperatur orang indonesia

NO	Kategori Kenyamanan	Temperatur Efektif (°C)
1	Sejuk Nyaman	20,50 - 22,80
2	Nyaman Optimal	22,80 - 25,80
3	Hangat Nyaman	25,80 - 27,10

Sementara untuk kelembaban udara relatif yang dianjurkan antara 40% ~ 50%, tetapi untuk ruangan yang jumlah orangnya padat seperti ruang pertemuan, kelembaban udara relatif masih diperbolehkan berkisar antara 55% ~ 60%.

2.2.5 Sensor Suhu DHT11

DHT-11 merupakan sensor suhu dan kelembapan yang memiliki output yang stabil serta dapat diandalkan untuk penggunaan jangka panjang. Sensor ini mengukur suhu di sekitarnya dan menghasilkan sinyal digital pada pin data,

sehingga tidak memerlukan sinyal input analog dalam pengoperasiannya. Adapun spesifikasi sensor DHT-11 adalah sebagai berikut:

- a. Tegangan pasokan dan I/O: 3–5 Volt.
- b. Rentang kelembapan: 20–80% RH dengan tingkat akurasi $\pm 5\%$.
- c. Rentang suhu: 0–50°C dengan akurasi $\pm 2^\circ\text{C}$.
- d. Jumlah pin: 3, yaitu, pin ground, VCC, dan data (Anif & Prasetyo, 2019)



Gambar 2. 4 Sensor Suhu DHT11

2.2.6 NodeMCU ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler penerus dari mikrokontroler ESP328266.

Yang menjadi pembeda ESP32 ialah memiliki wifi dan bluetooth, yang akan sangat membantu untuk membangun IoT yang membutuhkan konektivitas nirkabel. Fungsifungsi ini tidak termasuk dalam ESP328266, maka ini merupakan peningkatannya. Kelebihan dari ESP32 antara lain :

1. Mendukung konektivitas wifi dan bluetooth.
2. Didukung dengan sumber daya program yang luas.
3. Harganya yang terjangkau dan mudah didapat. (Pratama et al., 2023)



Gambar 2. 5 NodeMCU ESP32

2.2.7 Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM-004T merupakan modul sensor yang multifungsi contohnya digunakan untuk pengukuran daya aktif, tegangan AC, frekuensi, energi aktif, dan arus yang terdapat pada sebuah aliran listrik.



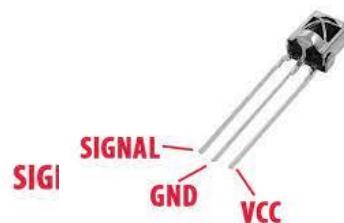
Gambar 2. 6 Sensor PZEM-004T

Penggunaan sensor ini khusus untuk penggunaan di dalam ruangan, selain itu beban yang terpasang tidak boleh melebihi daya yang sudah ditetapkan. Sensor PZEM-004T data dibaca melalui interface TTL dari modul ini adalah interface pasif, membutuhkan catu daya ekternal 5V artinya jika berkomunikasi keempat port (5V, RX, TX, GND) harus terhubung. Sensor PZEM004T mempunyai dimensi fisik dari papan sensor PZEM-004T $3,1 \times 7,4$ cm selain itu sensor PZEM-004T dibundel dengan sebuah kumparan trafo arus diameter 3 mm digunakan

untuk mengukur arus maksimal rentang pengukuran 100A untuk External Transformator, dan rentang pengukuran 10A untuk Built-in Shunt. (Yulistiani, 2023).

2.2.8 Infrared Receiver

Komponen yang dapat menerima infra merah ini merupakan komponen yang peka cahaya yang dapat berupa dioda (photodiode) atau transistor (phototransistor). Komponen ini akan merubah energi cahaya, dalam hal ini energi cahaya infra merah, menjadi pulsa-pulsa sinyal listrik. Komponen ini harus mampu mengumpulkan sinyal infra merah sebanyak mungkin sehingga pulsa-pulsa sinyal listrik yang dihasilkan kualitasnya cukup baik.



Gambar 2. 7 infrared receiver

Semakin besar intensitas infra merah yang diterima maka sinyal pulsa listrik yang dihasilkan akan baik jika sinyal infra merah yang diterima intensitasnya lemah maka infra merah tersebut harus mempunyai pengumpul cahaya (*light collector*) yang cukup baik dan sinyal pulsa yang dihasilkan oleh sensor infra merah ini harus dikuatkan. Pada prakteknya sinyal infra merah yang diterima intensitasnya sangat kecil sehingga perlu dikuatkan. Selain itu agar tidak terganggu oleh sinyal cahaya lain maka sinyal listrik yang dihasilkan oleh sensor infra merah harus difilter pada frekuensi sinyal carrier yaitu pada 30KHz sampai

40KHz. Selanjutnya baik photodioda maupun phototransistor disebut sebagai photodetector.

2.2.9 Infrared Transmitter

Infrared *transmitter* merupakan suatu model pengirim data melalui gelombang infra merah dengan frekuensi carrier sebesar 38 kHz. Modul ini dapat difungsikan sebagai output dalam aplikasi transmisi data nirkabel seperti robotic, sistem pengamanan, dan sebagainya. Pemancar yang digunakan pada sistem ini terdiri atas sebuah *Light Emitting Diode* (LED). LED adalah suatu bahan semi konduktor yang memancarkan cahaya monokromatik yang tidak koheren ketika diberi tegangan maju. LED infra merah jenis diode yang memancarkan cahaya infra merah, aplikasi sederhana penggunaan LED infra merah ini adalah pada remote TV. LED infra merah pada dasarnya adalah diode PN silikon biasa yang dikemas dalam kotak transparan.



Gambar 2. 8 Infrared Transmitter

Sinar infra merah dihasilkan dari pertemuan Arsenida Galium pada LED infra merah merupakan salah satu komponen elektronika yang akan mengantar arus jika dialiri bias maju. LED infra merah terbuat dari bahan Arsenida Galium atau Fosfida Galium (Gas atau Gap), dan ditempatkan di dalam suatu wadah yang tembus pandang. Untuk membedakan antara katoda dan anodanya dapat dilihat dari bentuk elektrodanya yang besar adalah katoda. Material yang digunakan

dalam konstruksi LED akan menentukan jenis cahaya yang diradiasikan. Apakah cahaya tampak atau cahaya tidak tampak. Sebagai contoh material GaAIs menghasilkan cahaya infra merah (cahaya tidak tampak), sedangkan GaAsP menghasilkan cahaya tampak merah. Pada sistem ada dua jenis LED yang digunakan yaitu sebagai indicator dan juga sebagai komponen pengirim cahaya infra merah. (Yusniati, 2018).

2.2.10 Wireless Mesh Network

Wireless Mesh Network (WMN) adalah jaringan nirkabel dengan topologi mesh. Ketika tugas dari setiap node dalam jaringan adalah untuk menjaga node lainnya. Baik mengirim data atau menerima data melalui base station, yang berarti bahwa setiap node bekerja sama untuk menyelesaikan tugasnya, meskipun satu node tidak dapat bekerja, node lain yang tidak aktif dapat mengambil alih proses komunikasi dengan mengatur dan mengatur dirinya sendiri. Karakteristik cakupan WMN tidak dibatasi oleh koneksi ke base station, karena node yang tidak tercakup oleh base station ditutupi oleh node yang terhubung langsung ke base station, yang disebut gateway. Jaringan mesh nirkabel terintegrasi dengan Internet, jaringan seluler, jaringan IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16 dan jaringan sensor nirkabel(Dzul Rahman, 2023).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan Penelitian

3.1.1 Alat Penelitian

Alat yang dirancang untuk digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

a. *Hardware*

1. Avometer
2. Amperemeter
3. Tang kombinasi
4. Gurinda
5. Kabel jamper
6. Obeng
7. Solder

b. *Software*

1. Arduino IDE
2. Thingspeak

3.1.2 Bahan

1. ESP32
2. Arduino Uno
3. Bord PCB
4. Sensor DHT11
5. PZEM004T
6. Infrared *Receiver*
7. Infrared *Transmitter*
8. Router Wifi

9. Box Project
10. Air Conditioner
11. DHT11
12. Baterai

3.1.3 Data Penelitian Yang Dibutuhkan

1. Data AC Panasonic Cu-Yn5wkj C

Tabel 3. 1 Data AC Panasonic Cu-Yn5wkj C

FITUR	NILAI
Fasa	1
Tegangan	220 V
Frekuensi	50 Hz
Masukan Maksimum	500/2.4 A
Kapasitas	1.47 KW
Pendinginan	5.000 Btu/h
Arus	1.8 A
Daya Masukan	389 W
Refrigeran	R32
Tekanan Tinggi	4.15 MPa
Tekanan Rendah	2.55 MPa

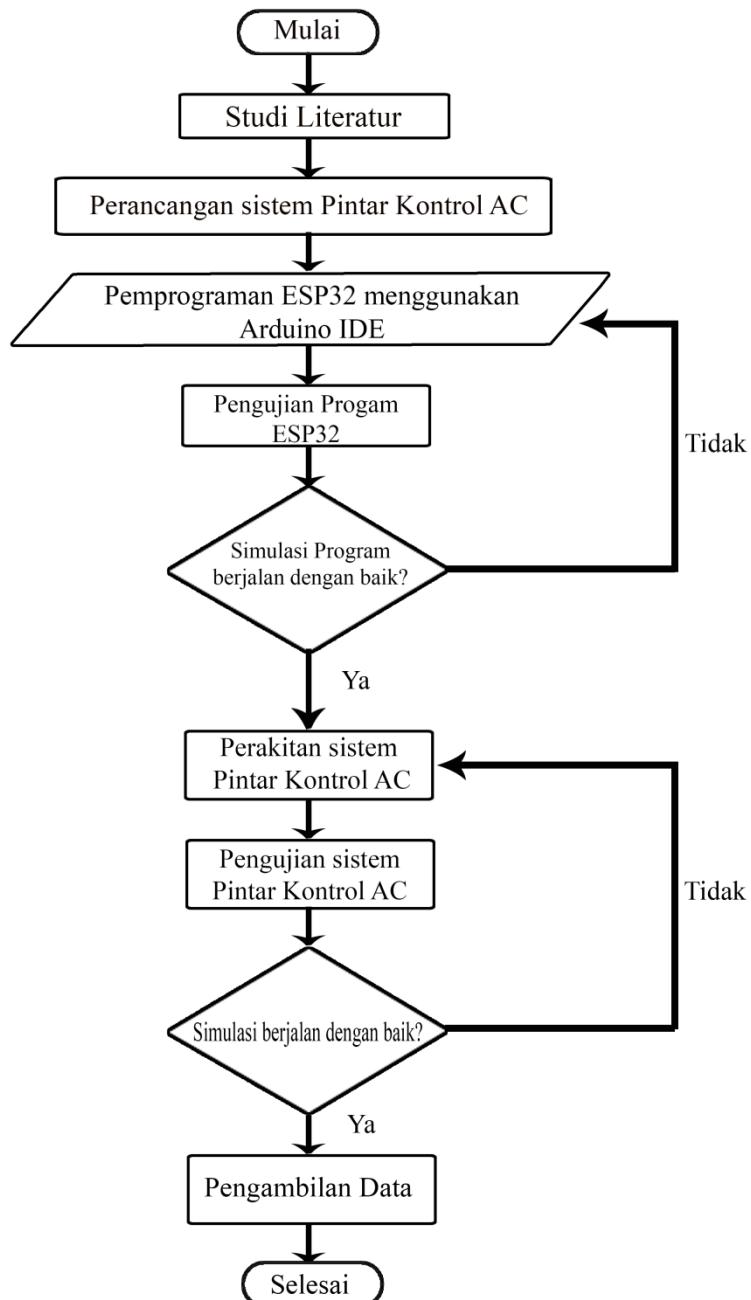
2. Data Ukuran Ruangan

Tabel 3. 2 Ukuran Ruangan

Dimensi	Nilai(cm)	Nilai(m)
Panjang	438	4.38
Lebar	235	2.35
Tinggi	250	2.50

3.2 Tahapan Penelitian

Adapun diagram alir (flowchart) rencana penelitian yang akan dilakukan adalah:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

1. Mulai

Mulai, merupakan langkah awal dari penelitian dan pembuatan alat

2. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pencarian referensi yang sesuai dengan penelitian terkait khususnya yang membahas mengenai pengaplikasian logika *fuzzy*. Pengumpulan referensi sangat penting dilakukan dalam rangka melengkapi atau mendukung penelitian

3. Perancangan sistem Pintar kontrol AC

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem pintar kontrol AC antara lain perangkat AC *controller*, perangkat monitoring energi listrik dan perangkat perekam kode remote.

4. Pembuatan program di Arduino IDE

Proses pembuatan dan penginputan program pada ESP32 dilakukan pemrograman untuk mengirim dan menerima data suhu melalui HTTP, mengolah data dengan logika *fuzzy* Mamdani, mengontrol AC melalui IR transmitter, mengirim data suhu ke ThingSpeak dan program komunikasi LCD I2C untuk menampilkan informasi pada LCD.

Perangkat monitoring energi listrik juga dilakukan pemrograman untuk menerima data dari PZEM004T dan mengirimkannya ke Thingspeak melalui metode HTTP untuk dilakukan monitoring konsumsi energi secara online.

Pada perangkat perekam kode remote AC dilakukan pemrograman pada Arduino Uno untuk menerima data remote melalui IR *receiver* kemudian di tampilkan pada serial monitor Arduno IDE.

5. Pengujian Program ESP32

Proses simulasi dari program yang di-inputkan ke ESP32.

6. Perakitan Sistem Pintar kontrol AC

Pada proses ini, alat dirakit berdasarkan desain yang telah dirancang.

7. Pengujian Sistem Pintar kontrol AC

Pada tahap ini dilakukan pengujian perangkat perekam kode remote, pengujian logika *fuzzy* Mamdani dan pengujian perangkat monitoring energi listrik dalam dua kondisi tanpa menggunakan logika *fuzzy* dan dengan logika *fuzzy*. Dalam kondisi pertama, AC dikontrol secara manual dengan suhu tetap, sedangkan dalam kondisi kedua, AC dikendalikan berdasarkan hasil keputusan *fuzzy*. Data suhu ruangan, suhu set AC, dan konsumsi energi listrik dibandingkan untuk melihat efektivitas sistem dalam mengoptimalkan penggunaan energi.

8. Pengambilan Data

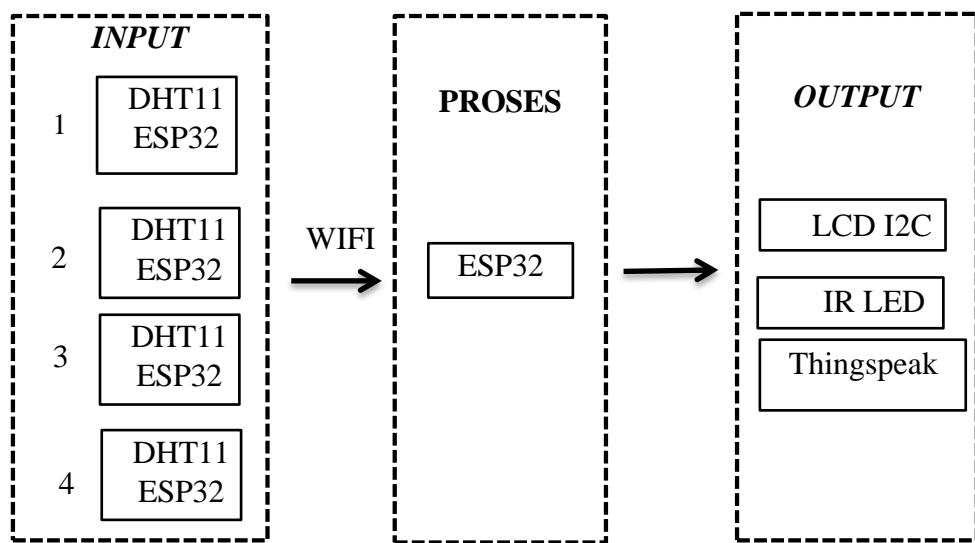
Langkah ini dilakukan bila semua langkah-langkah diatas telah memenuhi syarat. Pengambilan data meliputi data penggunaan konsumsi energi listrik.

9. Selesai

Selesai, penelitian dianggap selesai apabila semua proses yang telah dilakukan diatas telah terlaksana dan dapat dipertanggung jawabkan.

3.2.1 Perancangan sistem

a. Diagram Blok Sistem Perangkat AC Controller

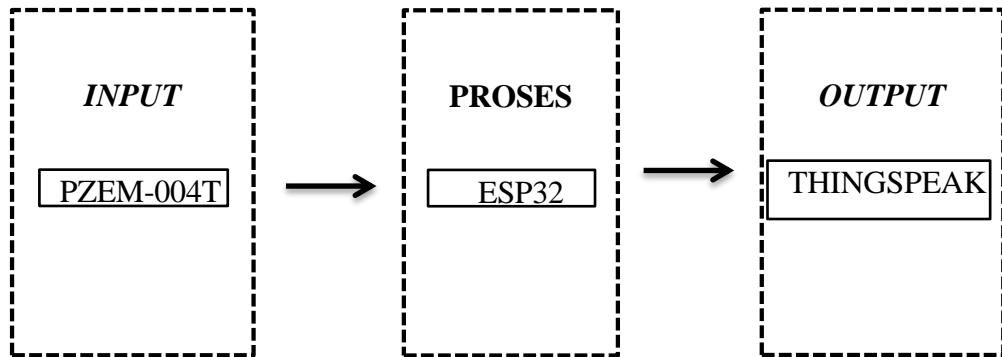


Gambar 3. 2 Diagram blok perangkat AC controller.

Berdasarkan gambar 3. 2 diagram blok perangkat AC *Controller* di atas dirancang memiliki 4 input yaitu : 4 sensor DHT11 yang masing masing terhubung ke ESP32 digunakan untuk membaca suhu dan kelembapan. Kemudian data suhu dan kelembapan yang diterima dikirim melalui metode HTTP menggunakan jaringan wifi ke ESP32 perangkat AC *controller*. Data suhu dan kelembapan yang diterima dari keempat sensor DHT11 di ESP32 AC *controller* kemudian diproses dan diambil nilai rata-ratanya. Hasil nilai rata-ratanya kemudian dijadikan input logika fuzzy mamdani. Kemudian output logika fuzzy Mamdani digunakan untuk mengirim sinyal IR melalui IR LED untuk mengontrol AC. LCD I2C digunakan untuk menampilkan teks “control otomatis AC” pada baris pertama, baris kedua “suhu rata-rata”, baris ketiga digunakan

untuk menampilkan “kelembapan rata-rata” dan baris keempat digunakan untuk menampilkan “suhu set AC”. Data suhu rata rata, kelembapan rata-rata dan suhu set *fuzzy* dikirim ke thingspeak untuk dimonitoring datanya secara online.

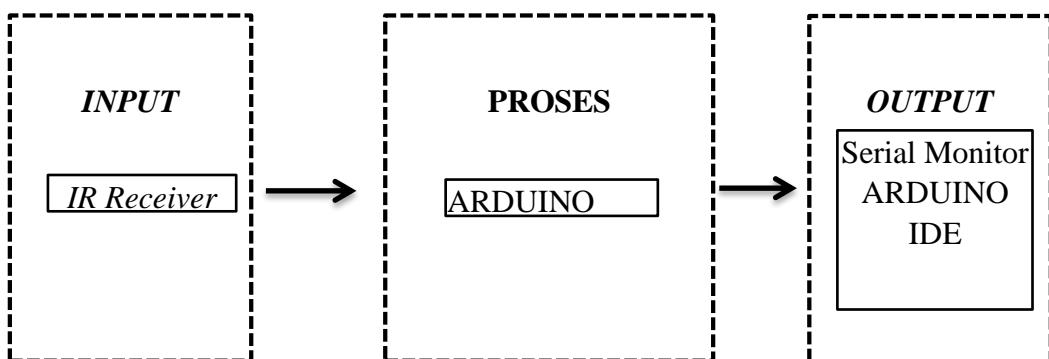
b. Diagram Blok Sistem Perangkat Monitoring Energi Listrik



Gambar 3. 3 Perangkat monitoring energi listrik

Berdasarkan gambar 3. 3 perangkat monitoring energi listrik dirancang dengan menggunakan 1 input PZEM004T kemudian data yang diterima di proses diESP32 kemudian data yang sudah diproses kemudian dikirim ke thingspeak untuk memonitoring energi listrik diantara Tegangan(V), Arus(A), Daya(W) dan energi(kWh).

c. Diagram Blok Sistem Perangkat Perekam Kode Remote

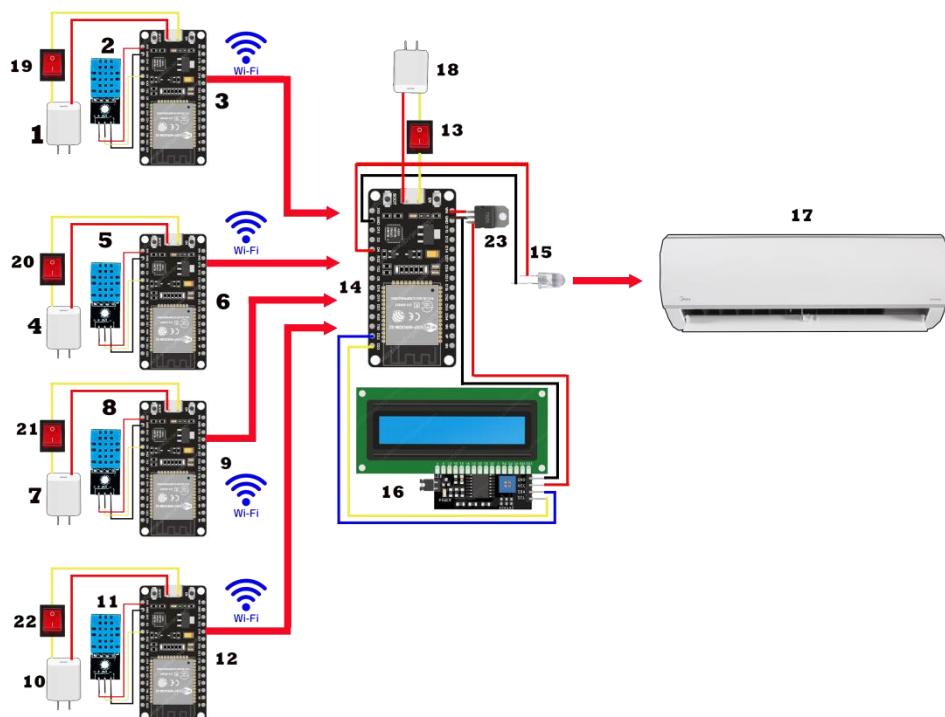


Gambar 3. 4 Perangkat perekam kode remote

Berdasarkan gambar 3. 4 perangkat perekam kode remote memiliki 1 input yaitu IR *receiver* yang berfungsi menerima sinyal kode remote AC. Sinyal dari remote AC kemudian diterima oleh Arduino Uno untuk diproses. Setelah diproses kode remote kemudian di tampilkan diserial monitor Arduino IDE berupa angka *hexadecimal* dan panjang bitnya.

3.2.2 Perancangan sistem

a. Skema rancang perangkat AC *controller*

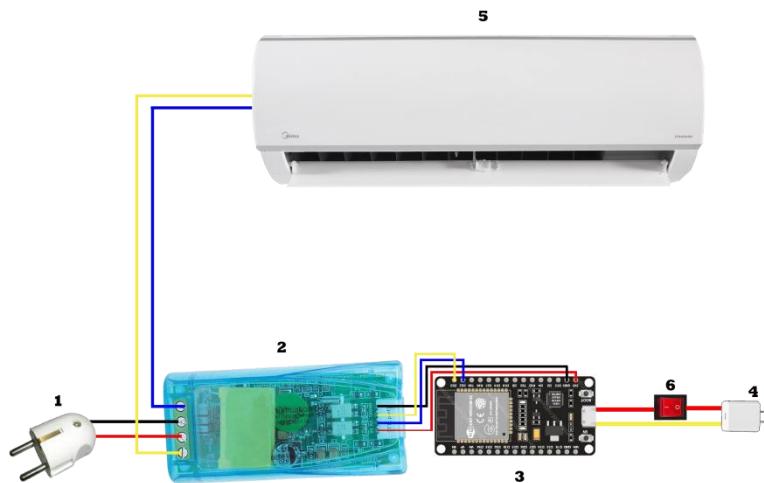


Gambar 3. 5 Skema rancang alat perangkat AC *controller*

Keterangan :

1. Adaptor pengirim suhu dan kelembapan 1
2. DHT11 pengirim suhu dan kelembapan 1
3. ESP32 pengirim suhu dan kelembapan 1

4. Adaptor pengirim suhu dan kelembapan 2
5. DHT11 pengirim suhu dan kelembapan 2
6. ESP32 pengirim suhu dan kelembapan 2
7. Adaptor pengirim suhu dan kelembapan 3
8. DHT11 pengirim suhu dan kelembapan 3
9. Adaptor pengirim suhu dan kelembapan 4
10. DHT11 pengirim suhu dan kelembapan 4
11. ESP32 pengirim suhu dan kelembapan 4
12. Adaptor penerima suhu dan kelembapan
13. *Switch*
14. ESP32 penerima suhu dan kelembapan
15. IR Transmitter
16. LCD I2C
17. Air Conditioner
18. Adaptor ESP32 penerima suhu dan kelembapan
19. *Switch*
20. *Switch*
21. *Switch*
22. *Switch*

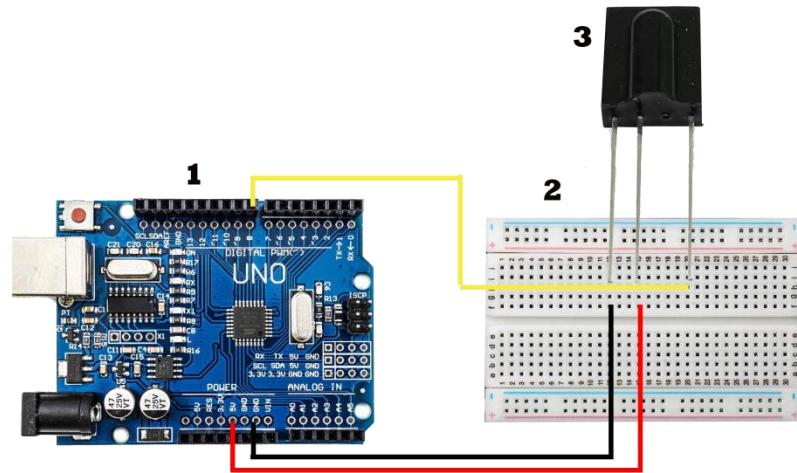
b. Skema rancang perangkat monitoring energi listrik

Gambar 3. 6 Skema rancang perangkat monitoring energi listrik

Keterangan :

1. Steker
2. PZEM004T
3. ESP32
4. Adaptor
5. Air Conditioner(AC)

c. Skema rancang perangkat perekam kode remote

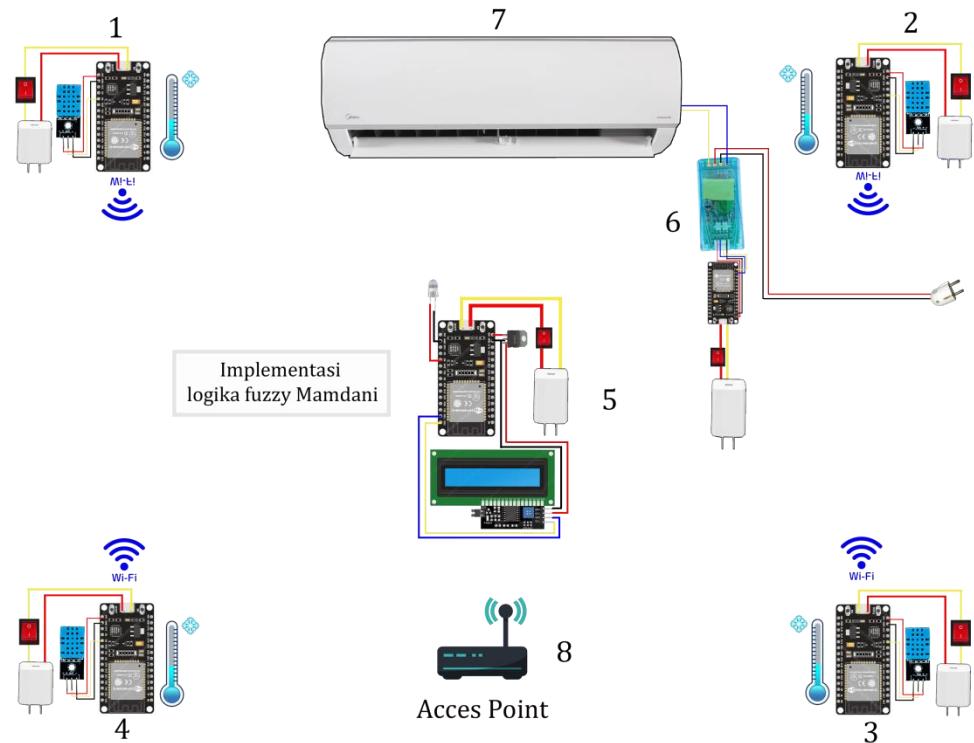


Gambar 3. 7 Skema rancang perekam kode remote

Keterangan :

1. Arduino uno
2. Breadbord
3. IR receiver

d. Skema perancangan alat dalam ruangan.



Gambar 3. 8 Skema perancangan alat dalam ruangan.

Keterangan :

1. ESP32 pengirim suhu dan kelembapan 1
2. ESP32 pengirim suhu dan kelembapan 2
3. ESP32 pengirim suhu dan kelembapan 3
4. ESP32 pengirim suhu dan kelembapan 4
5. Perangkat AC *controller*
6. Perangkat monitoring energi listrik
7. Air Conditioner(AC)
8. Router wifi

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4. 1 Hasil

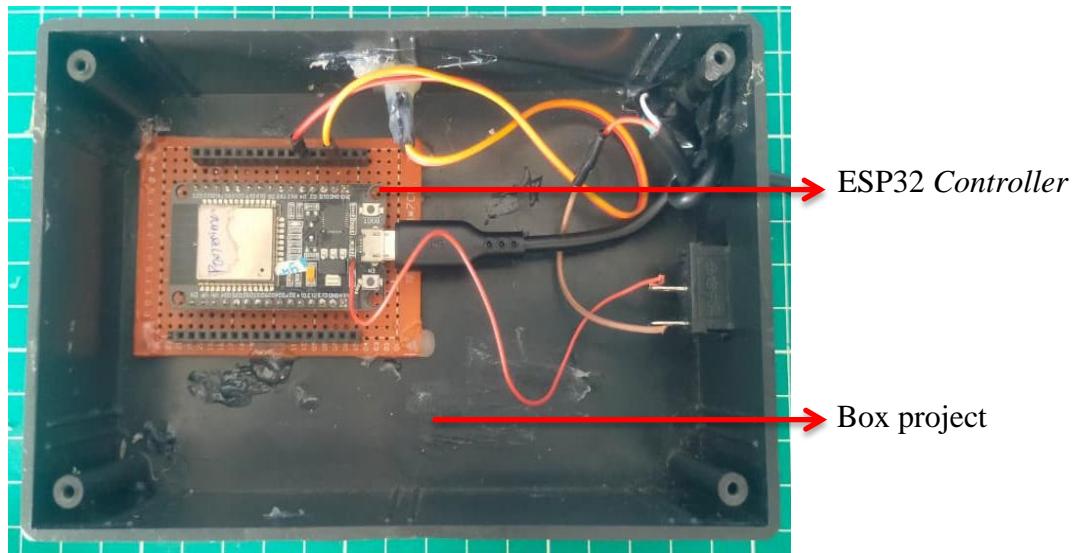
Dari hasil perancangan dan penelitian yang berjudul “Sistem Pintar Kontrol Air Conditioner (AC) Berbasis Fuzzy logic Dan Pengaruhnya Pada Konsumsi Energi Listrik” maka penulis dapat menyajikan dalam bentuk alat, software, data pengujian, maupun analisa data. Berikut hasil perancangan dan penelitian yang telah dilakukan.

4.1.1 Hasil Rancangan Alat

Rancang bangun sistem pintar kontrol Air Conditioner (AC) berbasis *fuzzy logic* dan pengaruhnya pada konsumsi energi listrik terdiri dari 3 perangkat yaitu perangkat AC *controller*, perangkat monitoring energi listrik dan perangkat perekam kode remote.

1. Perangkat AC Controller

Perangkat AC *controller* dirancang dengan menggunakan box project ukuran 10 cm x 15 cm. Pada bagian dalam Box project terdapat ESP32, Adaptor 5VDC serta IC Regulator. Pada bagian luar terdapat LCD I2C ukuran 20x4, sensor IR LED dan *Switch*. Berikut adalah gambar dari perangkat AC *controller*.



Gambar 4. 1 Tampak bagian dalam box project perangkat AC *controller*

Gambar 4. 1 menunjukkan tampak bagian dalam box project perangkat AC *controller* di mana terdapat adaptor 5VDC, ESP32, IC Regulator dan Box project.



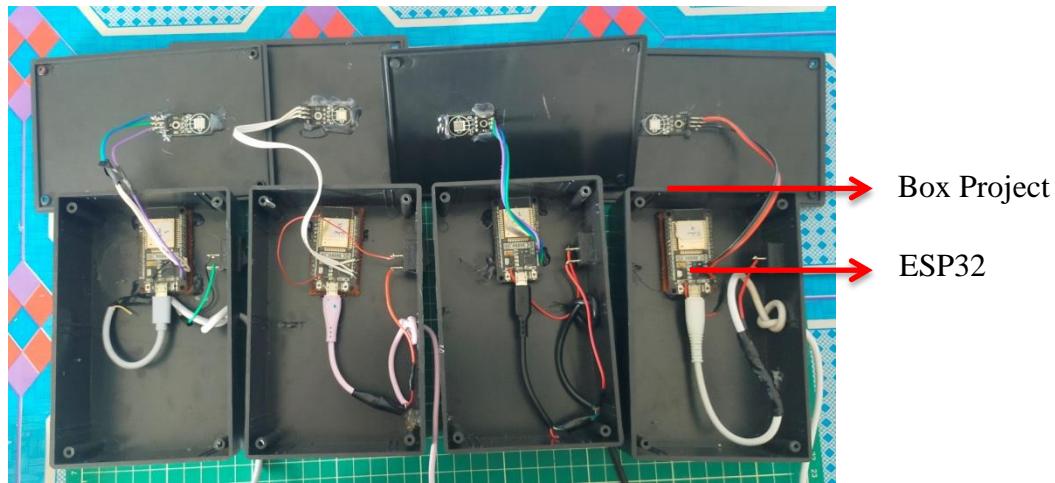
Gambar 4. 2 Bagian luar perangkat AC *controller*

Gambar 4. 2 menunjukkan bagian luar perangkat AC *controller* dimana terdapat IR *Transmitter*, *Switch* dan LCD 12C.

Berikut penjelasan dari komponen yang terpasang pada sistem tersebut:

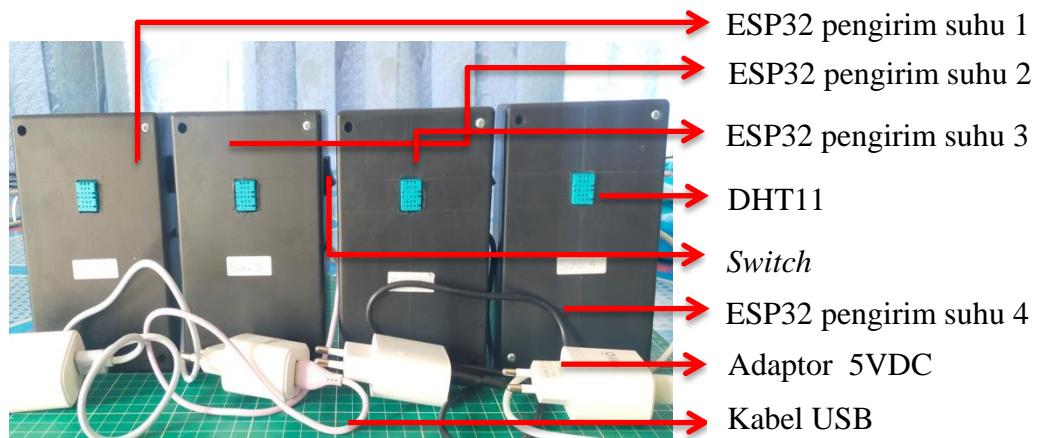
- a. ESP32 adalah mikrokontroler yang digunakan sebagai otak dari sistem ini fungsinya adalah menerima data suhu dan kelembapan dari keempat ESP32 pengirim data suhu dan kelembapan, menerapkan logika *fuzzy* mamdani, mengendalikan perangkat IR LED, LCD, menghubungkan sistem ke jaringan Wi-Fi untuk komunikasi dengan perangkat lain dan mengirimkan data ke ThingSpeak.
- b. LCD I2C berfungsi menampilkan tulisan control otomatis AC data suhu rata-rata, data kelembapan rata-rata dan suhu set *fuzzy*. Layar LCD ini fungsi utamanya memberikan tampilan visual kepada pengguna mengenai status sistem.
- c. IR Transmitter digunakan untuk mengirimkan sinyal IR yang sesuai ke perangkat AC untuk mengontrol suhu.
- d. Box project sebagai wadah untuk melindungi komponen-komponen dari kerusakan.
- e. Adaptor berfungsi menyediakan daya 5VDC untuk ESP32.
- f. Switch berfungsi menyalakan dan mematikan ESP32.
- g. Kabel USB berfungsi mengunggah program (*sketch*) dari komputer ke ESP2.

ESP32 pengirim data suhu dan kelembapan terdiri : ESP32 pengirim suhu dan kelembapan 1, ESP32 pengirim suhu dan kelembapan 2, ESP32 pengirim suhu dan kelembapan 3 dan ESP32 pengirim suhu dan kelembapan 4. Masing masing dirancang dengan menggunakan box project berukuran 6 cm x 12 cm. Pada bagian dalam box project terdapat ESP32 dan adaptor.



Gambar 4. 3 Tampak bagian dalam Box Project ESP32 pengirim suhu dan kelembapan

Gambar 4. 3 menunjukkan tampak bagian dalam Box Project ESP32 pengirim suhu dan kelembapan ESP32 dan baterai serta box project.



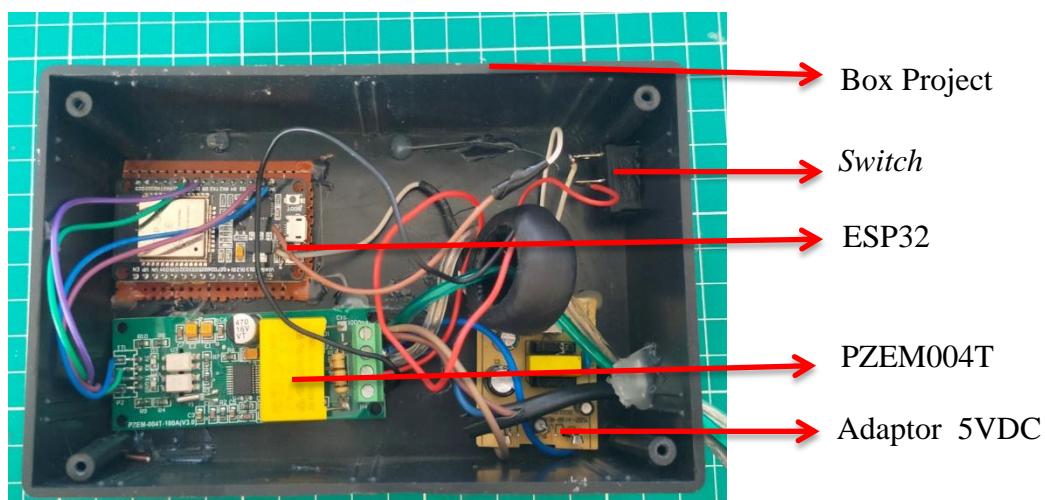
Gambar 4. 4 Tampak bagian luar box project ESP32 pengirim suhu

Gambar 4. 4 menunjukkan bagian luar Box Project ESP32 pengirim suhu dan kelembapan. Berikut penjelasan dari komponen yang terpasang pada sistem tersebut:

- a. ESP32 berfungsi membaca data dari sensor DHT11, dan mengirimkan data suhu dan kelembapan ke ESP32 AC controller serta menghubungkan sistem ke jaringan Wi-Fi untuk komunikasi ESP32 perangkat AC controller.
- b. Sensor DHT berfungsi mengukur suhu ruangan.
- c. Adaptor berfungsi menyediakan daya 5VDC untuk ESP32.
- d. *Switch* berfungsi menyalakan dan mematikan ESP32.
- e. Kabel USB berfungsi mengunggah program (*sketch*) dari komputer ke ESP2.

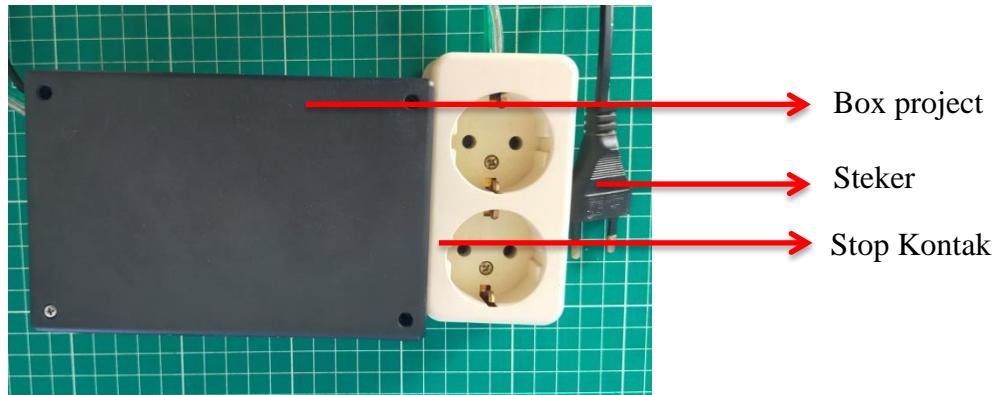
2. Perangkat monitoring energi listrik.

Perangkat monitoring energi listrik dirancang dengan menggunakan box project dengan ukuran 10 cm x 15 cm. Pada bagian dalam box project terdapat sensor PZEM004T dan ESP32. Dan pada bagian luar terdapat kabel USB, steker, stop kontak dan adaptor 5VDC. Berikut adalah gambar 4. 5 perangkat monitoring energi listrik.



Gambar 4. 5 Tampak bagian dalam box project perangkat monitoring energi listrik

Gambar 4. 5 menunjukkan tampak bagian dalam box project perangkat monitoring energi listrik dimana terdapat box project, PZEM004T, baterai dan ESP32.



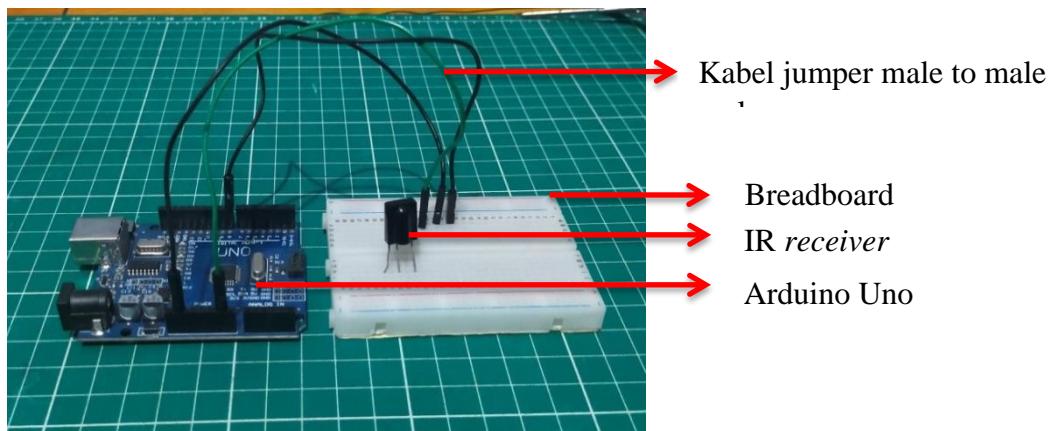
Gambar 4. 6 Tampak bagian luar box project perangkat monitoring energi listrik

Gambar 4. 6 menunjukkan tampak bagian luar box project perangkat monitoring energi listrik dimana terdapat box project, stop kontak, steker dan *Switch*. Berikut penjelasan dari komponen yang terpasang pada sistem tersebut:

- a. ESP32 berfungsi membaca data dari PZEM-004T, mengolahnya, dan menghubungkan sistem ke jaringan Wi-Fi untuk komunikasi dengan Thingspeak.
- b. PZEM-004T berfungsi sebagai sensor, yang mengukur tegangan, arus, daya, dan energi listrik dalam sistem.
- c. Box project sebagai wadah untuk melindungi komponen-komponen dari kerusakan.
- d. Steker sebagai input tegangan 220VAC pada PZEM004T.
- e. Stop kontak sebagai output keluaran ke beban.
- f. Adaptor berfungsi menyediakan daya 5VDC untuk ESP32.
- g. *Switch* berfungsi menyalakan dan mematikan ESP32.

3. Perangkat perekam kode remote

Perangkat perekam kode remote di rancang dengan menggunakan Arduino Uno, IR *receiver*, breadboard dan kabel jumper male to male. Berikut adalah gambar 4. 7 perangkat perekam kode remote.



Gambar 4. 7 Perangkat perekam kode remote

Gambar 4. 7 menunjukan perangkat perekam kode remote di mana terdapat kabel jumper male to male, breadboard, IR *receiver* dan Arduino Uno. Berikut penjelasan dari komponen yang terpasang pada sistem tersebut:

- a. Arduino Uno berfungsi menerima sinyal dari IR *receiver*, mengolah data yang diterima, dan menampilkan hasilnya ke serial Monitor.
- b. IR *receiver* menerima sinyal inframerah (IR) dari remote control. Sensor ini kemudian mengubah sinyal tersebut menjadi data digital yang bisa dibaca oleh Arduino IDE.
- c. Kabel jumper *male-to-male* digunakan untuk menghubungkan komponen elektronik di breadboard dengan Arduino.
- d. Breadboard berfungsi tempat menyusun dan menyambungkan komponen.

4.1.2 Pengujian

Pada rancang bangun sistem pintar control Air Conditioner (AC) berbasis *fuzzy logic* dan pengaruhnya pada konsumsi energi listrik diperlukan suatu pengujian untuk melihat bagaimana sistem ini dapat bekerja sesuai dengan rancangan. Pengujian yang dilakukan terdiri dari beberapa tahap, yaitu: pengujian perangkat perekam kode remote, pengujian perangkat AC *controller*, pengujian logika *fuzzy Mamdani*, pengujian konsumsi energi listrik,

4.1.2.1 Pengujian Perangkat perekam kode remote

Untuk pengujian perangkat perekam kode remote pengujian dilakukan untuk mendapat sinyal kode remote yang di inginkan. Pertama-tama menyiapkan komponen yang diperlukan, yaitu sebuah breadboard Arduino Uno,IR *receiver*, remote AC serta beberapa kabel jumper. sambung IR *receiver* ke Arduino Uno dengan menyambungkan pin VCC ke 5V, GND ke GND, dan Out ke pin 8 pada Arduino Uno. Setelah itu, buka Arduino IDE, pastikan library IRremote sudah terinstal, lalu unggah kode yang telah diberikan ke breadboard Arduino. Setelah kode berhasil diunggah, buka Serial Monitor dengan baud rate 9600, kemudian arahkan remote ke IR *receiver* dan tekan tombol pada remote,serial Monitor akan menampilkan kode IR dalam format hexadecimal beserta panjang bitnya. Berikut ini adalah data pada tabel 4. 1 hasil pengujian perangkat perekam kode remote.

Tabel 4. 1 Hasil pengujian perangkat perekam kode remote

No	Suhu (°C)	Kode Remot (Hexadesimal)
1	16	860815E
2	17	860825F

3	18	8608350
4	19	8608451
5	20	8608552
6	21	8608653
7	22	8608754
8	23	8608855
9	24	8608956
10	25	8608A57
11	26	8608B58
12	27	8608C59
13	28	8608D5A
14	29	8608E5B
15	30	8608F5C

Berdasarkan tabel 4. 1 hasil pengujian perekam kode remote telah di dapatkan kode remote suhu mulai dari 16°C sampai 30°C. Kode remote suhu ini kemudian akan di masukkan kedalam logika *fuzzy Mamdani* untuk mengontrol AC melalui IR *Transmitter*.

4.1.2.2 Pengujian logika *fuzzy Mamdani*

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem logika *fuzzy Mamdani* yang telah dirancang dan diimplementasikan. Pada perangkat AC *controller* dapat bekerja secara optimal dalam mengatur suhu Air Conditioner (AC) berdasarkan nilai suhu dan kelembapan rata-rata ruangan. Sistem ini menggunakan empat buah sensor DHT11 yang masing-masing terhubung ke satu unit ESP32 sebagai pengirim data suhu dan kelembapan. Setiap data dari sensor

dikirimkan melalui jaringan WiFi ke satu ESP32 AC *controller* melalui metode HTTP.

Perangkat AC *controller* kemudian menghitung nilai rata-rata suhu dan kelembapan dari ke empat sensor. Nilai rata-rata tersebut digunakan sebagai input pada sistem logika *fuzzy* Mamdani yang telah dirancang. Berikut adalah logika *fuzzy* yang di implementasikan pada alat :

Variabel Input suhu °C

Tidak Nyaman(Dingin)	: < 20,50 °C
Nyaman	: 23,15 °C
Tidak Nyaman(Panas)	: > 27,10 °C
Range	: 0-45

Variabel input kelembapan (%):

Rendah	: < 55%
Normal	: 57,5%
Tinggi	: > 60%
Range	: 0-100

Variabel output suhu set AC :

Tidak Nyaman(Dingin)	: <21 C
Nyaman	: 24 C
Tidak Nyaman(Panas)	: >27 C
Range	: 16-30

Berikut adalah *rules* yang di implementasikan pada alat :

1. Jika suhu dingin dan kelembapan rendah, maka suhu AC nyaman

2. Jika suhu dingin dan kelembapan normal, maka suhu AC dingin.
3. Jika suhu dingin dan kelembapan tinggi, maka suhu AC dingin.
4. Jika suhu nyaman dan kelembapan rendah, maka suhu AC nyaman.
5. Jika suhu nyaman dan kelembapan normal, maka suhu AC nyaman.
6. Jika suhu nyaman dan kelembapan tinggi, maka suhu AC dingin.
7. Jika suhu panas dan kelembapan rendah, maka suhu AC panas.
8. Jika suhu panas dan kelembapan normal, maka suhu AC nyaman
9. Jika suhu panas dan kelembapan tinggi, maka suhu AC dingin.

Hasil dari sistem *fuzzy* ditampilkan pada layar serial monitor Arduino IDE serta digunakan untuk mengontrol suhu AC melalui sinyal inframerah (IR transmitter) yang dikirimkan oleh ESP32 AC controller. Berikut adalah gambar 4. 9 hasil pengujian logika *fuzzy* Mamdani.

```

Output Serial Monitor X
Message (Enter to send message to 'DOIT ESP32 DEVKIT V1' on 'COM3')
New Line 115200 baud

==== Data dari Pengirim ====
Pengirim 1 - Suhu: 28.90 °C, Kelembapan: 80.00
Pengirim 2 - Suhu: 30.80 °C, Kelembapan: 71.00
Pengirim 3 - Suhu: 30.20 °C, Kelembapan: 73.00
Pengirim 4 - Suhu: 30.20 °C, Kelembapan: 83.00
==== Data Lengkap diterima ====
Suhu rata-rata: 30.02
Kelembapan rata-rata: 76.75
ThingSpeak Response: 200
Output suhu fuzzy: 19.31
Mengirim kode IR: 8608451
The function sendLG(data, nhits) is deprecated and may not work as expected! Use sendLGRaw(data, NumberOfRepeats) or better sendLG(Address, Command, NumberOfRepeats). Go to Settings to activate Windows.
Ln 15, Col 43 DOIT ESP32 DEVKIT V1 on COM3 4/2 4/2
Activate Windows
Windows 10, Version 20H2, Build 19042.1052 24°C 4/2 10/06/2025 4/2
C:\Building sketch
Type here to search 24°C 4/2 10/06/2025 4/2

```

Gambar 4. 8 Hasil pengujian logika *fuzzy* Mamdani

Gambar 4. 8 menunjukkan hasil pengujian logika *fuzzy* Mamdani didapatkan suhu rata-rata sebesar 30,02°C dan kelembapan rata-rata 76,75% menghasilkan nilai *fuzzy* sebesar 19,31, sehingga suhu AC yang diset berdasarkan logika *fuzzy* adalah 19°C.

4.1.2.3 Pengujian konsumsi energi listrik

Pengujian dilakukan untuk membandingkan konsumsi energi listrik AC dalam dua kondisi tanpa menggunakan logika *fuzzy* dan menggunakan logika *fuzzy*. Pengujian dilakukan selama tiga hari berturut-turut untuk masing-masing kondisi, guna memperoleh data yang lebih representatif dan akurat.

Setiap pengujian dilakukan pada rentang waktu pukul 08.00 WITA hingga pukul 16.00 WITA atau selama 8 jam per hari. Total durasi pengujian untuk masing-masing kondisi adalah 24 jam ($3 \text{ hari} \times 8 \text{ jam}$). Pada pengujian tanpa logika *fuzzy*, AC diatur secara manual pada suhu tetap yaitu 19°C tanpa adanya penyesuaian otomatis terhadap kondisi suhu dan kelembapan ruangan.

Pada pengujian dengan logika *fuzzy*, AC dikontrol secara otomatis oleh ESP32 AC *controller* menggunakan sistem logika *fuzzy* Mamdani berdasarkan suhu dan kelembapan rata-rata dari empat ESP32 pengirim suhu dan kelembapan.

Sensor PZEM-004T digunakan untuk memantau tegangan, arus, daya, dan energi listrik yang dikonsumsi oleh AC selama pengujian berlangsung. Seluruh data energi dikirim secara real-time ke platform ThingSpeak untuk dianalisis lebih lanjut. Berikut adalah tabel tabel 4. 2 pengujian konsumsi energi listrik antara penggunaan tanpa logika *fuzzy* dan dengan logika *fuzzy*.

Tabel 4. 2 Pengujian konsumsi energi listrik antara penggunaan tanpa logika *fuzzy* dan dengan logika *fuzzy*

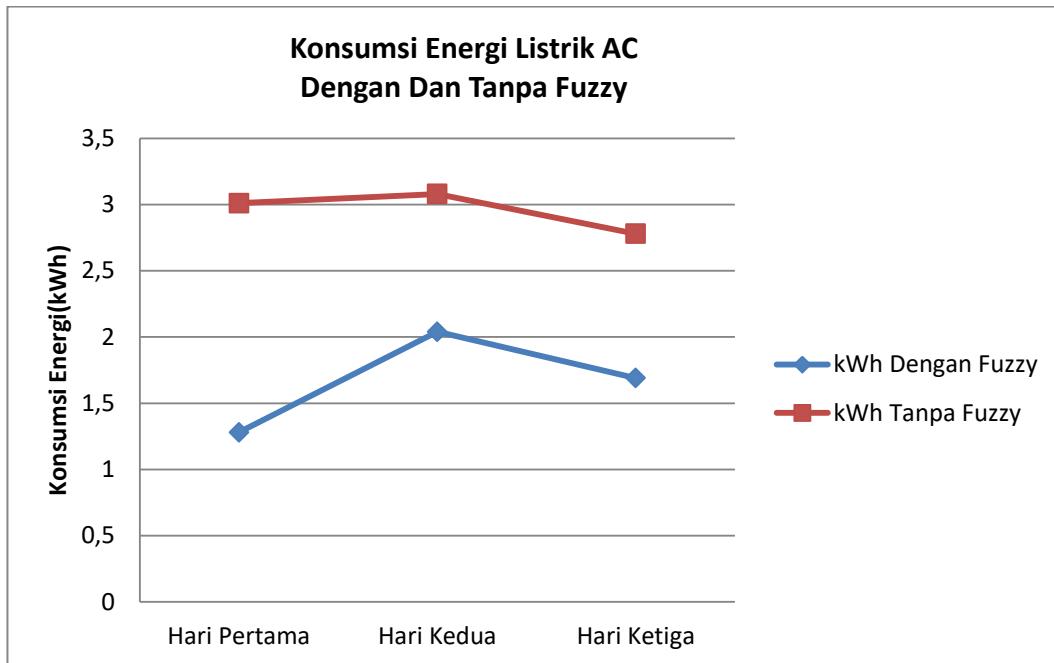
Hari/tanggal	Waktu Pengujian	Kondisi	Suhu Rata-rata Ruangan ($^{\circ}\text{C}$)	Konsumsi Energi (kWh)	Total (kWh)
Selasa, 3 Juni 2025	08.00 – 16.00	Dengan <i>Fuzzy</i>	30,99	1,28	5,01
Rabu,	08.00 –	Dengan	32,78	2,04	

4 Juni 2025	16.00	<i>Fuzzy</i>			
Selasa, 10 Juni 2025	08.00 – 16.00	Dengan <i>Fuzzy</i>	36,67	1,69	
Kamis, 12 Juni 2025	08.00 – 16.00	Tanpa <i>Fuzzy</i>	35,07	3,01	
Jumat, 13 Juni 2025	08.00 – 16.00	Tanpa <i>Fuzzy</i>	36.03	3,08	
Senin, 14 Juni 2025	08.00 – 16.00	Tanpa <i>Fuzzy</i>	35,04	2,78	8,87

Berdasarkan tabel 4. 2 Pengujian dilakukan selama enam hari dengan dua kondisi yang berbeda, yaitu menggunakan sistem logika *fuzzy* dan tanpa menggunakan sistem *fuzzy*, pada rentang waktu pukul 08.00 hingga 16.00. Pada tanggal 3, 4, dan 10 Juni 2025, sistem pengaturan suhu AC menggunakan logika *fuzzy* hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu rata-rata ruangan masing-masing adalah $30,99^{\circ}\text{C}$, $32,78^{\circ}\text{C}$, dan $36,67^{\circ}\text{C}$, dengan konsumsi energi sebesar 1,28 kWh, 2,04 kWh, dan 1,69 kWh dengan total konsumsi energi sebesar 5,01 kWh.

Sementara itu, pada tanggal 12, 13 juli dan 14 Juni 2025, pengujian dilakukan tanpa menggunakan sistem *fuzzy*. Suhu rata-rata ruangan tercatat sebesar $35,07^{\circ}\text{C}$, $36,03^{\circ}\text{C}$, dan $35,04^{\circ}\text{C}$, dengan konsumsi energi yaitu 3,01 kWh, 3,08 kWh, dan 2,78 kWh dengan total konsumsi energi 8,87 kWh.

Berikut ini adalah grafik 4. 9 pengujian konsumsi energi listrik antara penggunaan tanpa logika *fuzzy* dan dengan logika *fuzzy*.



Gambar 4. 9 pengujian konsumsi energi listrik antara penggunaan tanpa logika fuzzy dan dengan logika fuzzy.

4.1.2.4 Pengujian sensor DHT11 dan alat ukur digital HTC-2 untuk suhu

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor DHT11 dengan cara membandingkan hasil pengukurannya terhadap alat ukur digital HTC-2 yang digunakan sebagai acuan. Data pengukuran diambil setiap 5 menit dengan parameter suhu ($^{\circ}\text{C}$). Selanjutnya dihitung selisih nilai dan persentase error.



Gambar 4. 10 sensor DHT11 dan alat ukur digital HTC-2 untuk suhu

Berikut adalah tabel 4. 3 hasil pengujian sensor DHT11 dan alat ukur digital HTC-2.

Tabel 4. 3 hasil pengujian sensor DHT11 dan alat ukur digital HTC-2 untuk suhu

No	Waktu	Suhu DHT11 (°C)	Suhu HTC-2 (°C)	Selisih (°C)	Error (%)
1	09:53	30,2	30,7	0,5	1,63
2	09:58	30,8	31,0	0,2	0,64
3	10:03	31,3	31,4	0,1	0,32
4	10:08	31,8	32,0	0,2	0,63
5	10:13	32,3	32,4	0,1	0,31
Rata-rata Error					0,71

Berikut adalah rumus untuk mencari nilai error :

$$Error = \left| \frac{HTC2 - DHT11}{HTC2} \right| \times 100\% \quad (4. 1)$$

$$HTC-2 = 30,7$$

$$DHT11 = 30,2$$

$$\begin{aligned} Error &= \left| \frac{30,7 - 30,2}{30,2} \right| \times 100\% \\ &= 1,63\% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4. 3 diperoleh nilai error pengukuran suhu sensor DHT11 terhadap alat ukur digital HTC-2 berkisar antara 0,31% hingga 1,63%. Nilai error terbesar terjadi pada pengujian pertama dengan selisih 0,5 °C, yaitu sebesar 1,63%, sedangkan nilai error terkecil terjadi pada pengujian kelima dengan selisih 0,1 °C, yaitu sebesar 0,31%.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata error dari lima kali pengujian adalah 0,71%. Nilai ini relatif kecil dan masih berada dalam batas toleransi pengukuran sensor suhu kelas DHT11. Dengan demikian, dapat

disimpulkan bahwa sensor DHT11 memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dan layak digunakan untuk mengukur suhu ruangan dalam penelitian ini.

4.1.2.5 Pengujian sensor DHT11 dan alat ukur digital HTC-2 untuk kelembapan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor DHT11 dengan cara membandingkan hasil pengukurannya terhadap alat ukur digital HTC-2 yang digunakan sebagai acuan. Data pengukuran diambil setiap 5 menit dengan parameter kelembapan (%RH). Selanjutnya dihitung selisih nilai dan persentase error. Berikut adalah gambar 4. 11 pengujian sensor DHT11 dan alat ukur digital HTC-2 untuk kelembapan.



Gambar 4. 11 Pengujian Sensor DHT11 dan Alat Ukur Digital HTC-2 untuk Kelembapan

Tabel 4. 4 hasil pengujian sensor DHT11 dan alat ukur digital HTC-2 untuk kelembapan.

No	Waktu	Kelembapan DHT11 (%)	Kelembapan HTC-2 (%)	Selisih (%)	Error (%)
1	09:53	75	76	1	1,32
2	09:58	74	75	1	1,33
3	10:03	72	75	3	4,00
4	10:08	71	74	3	4,05
5	10:13	71	72	1	1,39

Rata-rata Error	2,42
------------------------	-------------

Berikut adalah rumus untuk mencari nilai error :

$$\text{Error} = \left| \frac{\text{HTC2} - \text{DHT11}}{\text{HTC2}} \right| \times 100\% \quad (4.2)$$

HTC-2= 76

DHT11=75

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \left| \frac{76 - 75}{76} \right| \times 100\% \\ &= 1,32\% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4. 4 diperoleh nilai error pengukuran kelembapan sensor DHT11 terhadap alat ukur digital HTC-2 berkisar antara 1,32% hingga 4,05%. Nilai error terbesar terjadi pada pengujian keempat dengan selisih 3%, yaitu sebesar 4,05%, sedangkan nilai error terkecil terjadi pada pengujian pertama dengan selisih 1%, yaitu sebesar 1,32%.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata error dari lima kali pengujian adalah 2,42%. Nilai ini relatif masih dapat diterima untuk pengukuran kelembapan dengan sensor kelas DHT11. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sensor DHT11 cukup layak digunakan sebagai sensor kelembapan udara pada penelitian ini, meskipun akurasinya sedikit lebih rendah dibandingkan pengukuran suhu.

4.1.2.6 Pengujian PZEM004T dan alat ukur digitar kWh meter D96-2049

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor PZEM-004T dengan cara membandingkan hasil pengukurannya terhadap alat ukur digital D96-2049 yang digunakan sebagai acuan. Data pengukuran dilakukan secara sesaat

untuk parameter tegangan (V), arus (A), dan daya (W), serta dilakukan selama 1 jam (pukul 12:54 – 13:54) untuk parameter energi (kWh). Selanjutnya dihitung selisih nilai dan persentase error. Berikut adalah gambar 4. 12 pengujian PZEM004T dan alat ukur digitar kWh meter D96-2049



Gambar 4. 12 Pengujian PZEM004T dan alat ukur digitar kWh meter D96-2049

Tabel 4. 5 hasil pengujian PZEM-004T dan alat ukur digital D96-2049.

No	Parameter	PZEM-004T	D96-2049	Selisih (Δ)	Error (%)	Lama Waktu
1	Tegangan (V)	207	206	1	0,49	Sesaat
2	Arus (A)	1,60	1,59	0,01	0,63	Sesaat
3	Daya (W)	321	329	8	2,43	Sesaat
4	Energi (kWh)	0,35	0,34	0,01	2,94	12:54 – 13:54

Berikut adalah rumus untuk mencari nilai error :

$$Error = \left| \frac{D96 - PZEM004T}{D96} \right| \times 100\% \quad (4. 3)$$

$$D96 = 0,34$$

$$DHT11 = 0,35$$

$$Error = \left| \frac{0,34 - 0,35}{0,34} \right| \times 100\%$$

$$= 2,94\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4. 5 diperoleh nilai error pengukuran energi (kWh) antara PZEM-004T dan alat ukur digital D96-2049 sebesar 2,94% dengan selisih 0,01 kWh. Nilai error ini merupakan yang terbesar dibandingkan parameter lainnya, namun masih berada di bawah 5% sehingga dapat diterima untuk pengukuran energi listrik. Dengan demikian, PZEM-004T cukup layak digunakan untuk memantau konsumsi energi listrik (kWh) pada penelitian ini.

4.2 Pembahasan

Sistem pintar kontrol otomatis AC berbasis *fuzzy logic* dan pengaruh pada konsumsi energi listrik merupakan sistem yang dirancang untuk menggantikan kontrol manual AC dengan mekanisme yang lebih cerdas dan adaptif berdasarkan suhu dan kelembapan rata-rata ruangan. Dengan menggunakan sensor suhu DHT11 sebanyak 4 buah, sistem dapat mendeteksi perubahan suhu ruangan secara real-time, kemudian memproses data tersebut dengan algoritma *fuzzy Mamdani* untuk menentukan suhu AC yang optimal. Adapun pembahasan dari pengujian yang telah dilakukan antara lain prinsip kerja, perhitungan konsumsi energi listrik, perhitungan logika *fuzzy* mamdani, pengaruh perubahan suhu dan kelembapan terhadap suhu set AC, pembahasan mengenai perangkat keras, serta pembahasan tentang perangkat lunak.

4.2.1 Prinsip kerja sistem pintar kontrol AC berbasis *fuzzy logic* dan pengaruhnya pada konsumsi energi listrik

Sistem pintar kontrol AC berbasis *fuzzy logic* dan pengaruhnya pada konsumsi energi listrik terdiri dari empat buah mikrokontroler ESP32 yang masing-masing terhubung dengan sensor DHT11. Sensor-sensor ini ditempatkan di empat sudut ruangan untuk mengukur suhu dan kelembapan secara merata. Data suhu dan kelembapan yang dikumpulkan oleh setiap ESP32 pengirim kemudian dikirimkan melalui jaringan WiFi ke perangkat AC *controller*.

Perangkat AC *controller* berfungsi untuk menghitung rata-rata suhu dan kelembapan dari seluruh sensor. Nilai rata-rata ini kemudian dijadikan sebagai input ke dalam sistem logika *fuzzy* Mamdani yang telah dirancang. Berdasarkan aturan *fuzzy* yang telah ditentukan, sistem akan menghasilkan keputusan berupa nilai suhu yang seharusnya diatur pada AC untuk menjaga kenyamanan termal dalam ruangan.

Setelah proses inferensi *fuzzy* selesai, perangkat AC controller akan mengirimkan sinyal inframerah (IR) melalui IR transmitter untuk mengontrol suhu AC sesuai hasil keluaran *fuzzy*. Selain itu, sistem dilengkapi dengan LCD I2C yang berfungsi untuk menampilkan informasi berupa suhu rata-rata ruangan, kelembapan rata-rata, dan suhu AC hasil pengolahan *fuzzy*.

Sebagai tambahan, sistem ini juga dilengkapi dengan perangkat monitoring energi listrik menggunakan sensor PZEM-004T yang terhubung ke ESP32. Sensor ini mengukur tegangan, arus, daya, dan energi listrik yang digunakan oleh AC, lalu mengirimkan data tersebut secara real-time ke platform ThingSpeak menggunakan koneksi WiFi, sehingga pengguna dapat melakukan monitoring konsumsi energi secara langsung dan historis.

4.2.2 Perhitungan konsumsi energi listrik.

Untuk mengetahui besarnya penghematan energi yang dicapai dengan penerapan logika *fuzzy*, dilakukan perhitungan perbandingan konsumsi energi listrik antara dua kondisi pengujian, yaitu menggunakan logika *fuzzy* dan tanpa logika *fuzzy*. Perhitungan penghematan energi dilakukan menggunakan rumus persentase penghematan sebagai berikut:

$$\text{Penghematan Energi} = \left(\frac{E \text{ tanpa fuzzy} - E \text{ dengan Fuzzy}}{E \text{ tanpa Fuzzy}} \right) 100\% \quad (4.4)$$

$E \text{ tanpa fuzzy}$: total konsumsi energi listrik tanpa menggunakan logika *fuzzy*

$E \text{ dengan fuzzy}$: total konsumsi energi listrik dengan menggunakan logika *fuzzy*

Langkah langkah perhitungan :

Menghitung total konsumsi energi listrik selama tiga hari untuk masing-masing kondisi:

Dengan logika *fuzzy*:

$$1,28 + 2,04 + 1,69 = 5,01 \text{ kWh}$$

Tanpa logika *fuzzy*:

$$3,01 + 3,08 + 2,78 = 8,87 \text{ kWh}$$

Menghitung selisih konsumsi energi:

$$8,87 - 5,01 = 3,86 \text{ kWh}$$

Menghitung persentase penghematan energi:

$$\text{PEnergi} = \left(\frac{E \text{ tanpa fuzzy} - E \text{ dengan Fuzzy}}{E \text{ tanpa Fuzzy}} \right) 100\%$$

$$\text{PEnergi} = \left(\frac{8,87 - 5,01}{8,87} \right) 100\%$$

$$\text{PEnergi} = 43,82 \%$$

Dengan menggunakan rumus di atas di dapatkan hasil perhitungan konsumsi energi listrik seperti dalam tabel 4. 6 berikut.

Tabel 4. 6 Perhitungan konsumsi energi listrik

No	Hari/Tanggal	Kondisi	Konsumsi Energi (kWh)	Total kWh	Selisih kWh	P Energi (%)		
1	Selasa, 3 Juni 2025	Dengan Fuzzy	1,28	5,01	3,86	43,82		
2	Rabu, 4 Juni 2025	Dengan Fuzzy	2,04					
3	Selasa, 10 Juni 2025	Dengan Fuzzy	1,69					
4	Kamis, 12 Juni 2025	Tanpa Fuzzy	3,01	8,87				
5	Jumat, 13 Juni 2025	Tanpa Fuzzy	3,08					
6	Senin, 14 Juli 2025	Tanpa Fuzzy	1,69					

Berdasarkan tabel 4. 6 Perhitungan konsumsi energi listrik dapat di lihat penerapan logika *fuzzy* mampu mengurangi konsumsi energi listrik pada AC sebesar 3,86 kWh selama tiga hari pengujian. Penghematan ini setara dengan 43,82% jika dibandingkan dengan kondisi tanpa logika *fuzzy*. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan logika *fuzzy* efektif dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik pada sistem pendingin ruangan (AC).

4.2.3 Perhitungan Galat Logika Mamdani

Berikut adalah perhitungan output logika *fuzzy* Mamdani pada sistem pintar kontrol Air Conditioner (AC) berbasis *fuzzy logic* dan pengaruhnya pada konsumsi energi listrik dengan menggunakan rumus perhitungan logika *fuzzy* Mamdani di bawah ini :

Input suhu (°C)

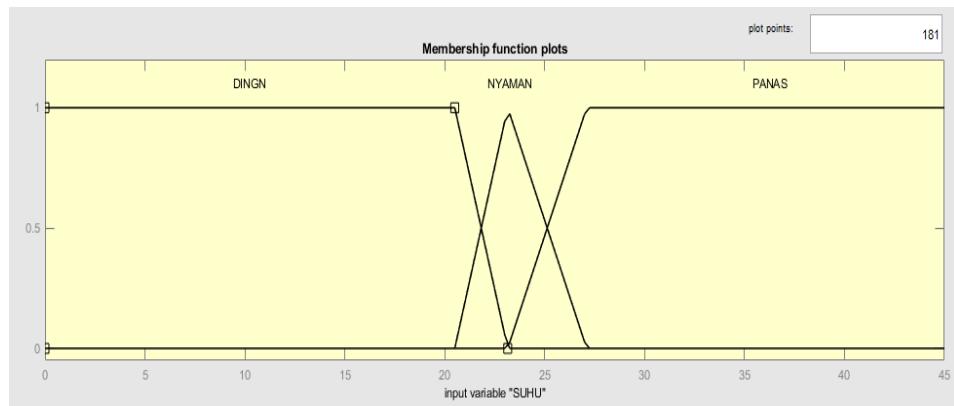
Tidak Nyaman(Dingin) : $< 20,50 \text{ } ^\circ\text{C}$

Nyaman : $23,15 \text{ } ^\circ\text{C}$

Tidak Nyaman(Panas) : $> 27,10 \text{ } ^\circ\text{C}$

Range : $0 - 45 \text{ } ^\circ\text{C}$

Berikut adalah grafik input suhu :



Gambar 4. 13 Grafik input suhu

$$\mu_{Dingin}(x) = \begin{cases} \frac{c-x}{c-b}; & 0; x \geq 23,15 \\ 1; x \leq 20,5 \end{cases} \quad (4. 5)$$

$$\mu_{Nyaman}(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}; & 0, x \leq 20,5 \text{ or } \geq 27,10 \\ \frac{c-x}{c-b}; & 20,5 \leq x \leq 23,15 \\ & 23,15 \leq x \leq 27,10 \end{cases} \quad (4. 6)$$

$$\mu_{Panas}(x) = \begin{cases} \frac{x-c}{b-c}; & 0; x \leq 23,15 \\ 1; x \geq 27,10 \end{cases} \quad (4. 7)$$

Input kelembapan :

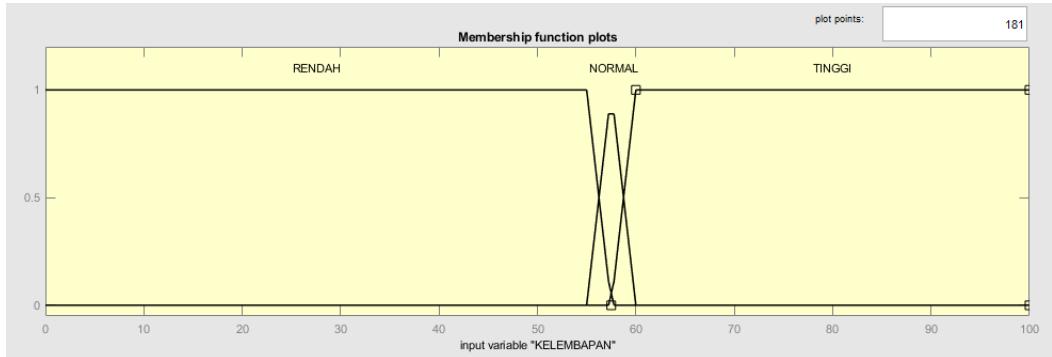
Rendah : $\leq 55 \text{ %}$

Normal : $57,5 \text{ %}$

Tinggi : ≥ 60

Range : $0-100$

Berikut adalah grafik input kelembapan :



Gambar 4. 14 Grafik input kelembapan

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} \frac{c-x}{c-b}; & 0; x \geq 57,5 \\ 1; x \leq 55 \end{cases} \quad (4.8)$$

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}; & 0, x \leq 55 \text{ or } \geq 60 \\ \frac{c-x}{c-b}; & 55 \leq x \leq 57,5 \\ & 57,5 \leq x \leq 60 \end{cases} \quad (4.9)$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} \frac{x-c}{b-c}; & 0; x \leq 57,5 \\ 1; x \geq 60 \end{cases} \quad (4.10)$$

Output Set AC

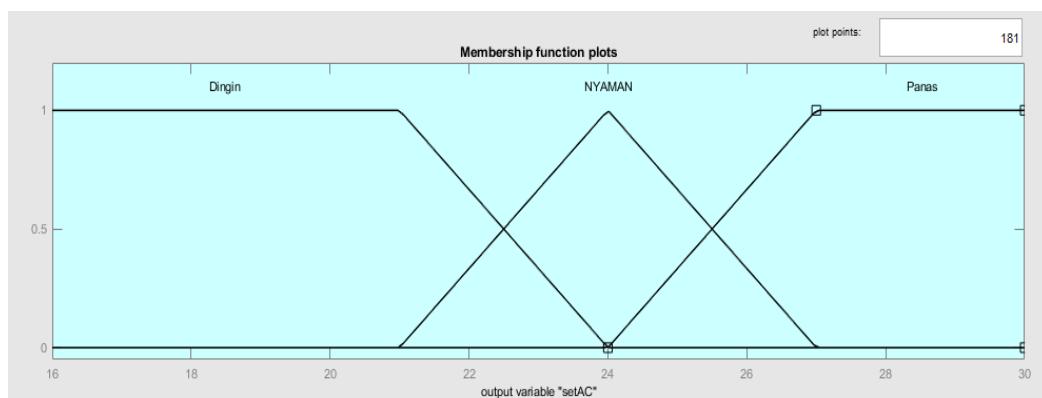
Dingin : $< 21^{\circ}\text{C}$

Nyaman : 24°C

Panas : $> 27^{\circ}\text{C}$

Range : $16 - 30^{\circ}\text{C}$

Berikut adalah grafik output set AC ;



Gambar 4. 15 Grafik output set AC

$$\mu_{Dingin}(x) = \begin{cases} \frac{c-x}{c-b}; & 0; x \geq 24 \\ 1; x \leq 21 & \end{cases} \quad (4.11)$$

$$\mu_{Nyaman}(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}; & 0, x \leq 21 \text{ or } \geq 24 \\ \frac{c-x}{c-b}; & 21 \leq x \leq 24 \\ & 24 \leq x \leq 27 \end{cases} \quad (4.12)$$

$$\mu_{Panas}(x) = \begin{cases} \frac{x-c}{b-c}; & 0; x \leq 24 \\ 1; x \geq 27 & \end{cases} \quad (4.13)$$

Rules logika fuzzy Mamdani yang di terapkan :

1. Jika suhu dingin dan kelembapan rendah, maka suhu AC nyaman
2. Jika suhu dingin dan kelembapan normal, maka suhu AC dingin.
3. Jika suhu dingin dan kelembapan tinggi, maka suhu AC dingin.
4. Jika suhu nyaman dan kelembapan rendah, maka suhu AC nyaman.
5. Jika suhu nyaman dan kelembapan normal, maka suhu AC nyaman.
6. Jika suhu nyaman dan kelembapan tinggi, maka suhu AC dingin.
7. Jika suhu panas dan kelembapan rendah, maka suhu AC panas.
8. Jika suhu panas dan kelembapan normal, maka suhu AC nyaman.
9. Jika suhu panas dan kelembapan tinggi, maka suhu AC dingin.

Perhitungan untuk :

Suhu rata rata : 30,02 °C

Kelembapan rata-rata : 76,75 %

Suhu set Fuzzy : 19 °C

Di hitung dengan menggunakan rumus perhitungan logika fuzzy Mamdani

Fuzzifikasi :

Derajat keanggotaan untuk suhu 30 °C

$$\mu_{\text{Dingin}}(x) = 0$$

$$\mu_{\text{Nyaman}}(x) = 0$$

$$\mu_{\text{Panas}}(x) = 1$$

Derajat keanggotaan untuk kelembapan 76,75 %

$$\mu_{\text{Rendah}}(x) = 0$$

$$\mu_{\text{Normal}}(x) = 0$$

$$\mu_{\text{Tinggi}}(x) = 1$$

Inferensi :

Berikut adalah tabel hasil inferensi logika fuzzy Mamdani

Tabel 4. 7 Tabel hasil inferensi logika fuzzy Mamdani

Rule	Kondisi (If)	Konsekuensi (Then)	α -predikat ($\min(\mu_1, \mu_2)$)	Nilai α -predikat
R1	Suhu dingin dan Kelembapan rendah	Suhu AC nyaman	$\min(\mu_{\text{dingin}}(0), \mu_{\text{rendah}}(0))$	0
R2	Suhu dingin dan Kelembapan normal	Suhu AC dingin	$\min(\mu_{\text{dingin}}(0), \mu_{\text{normal}}(0))$	0
R3	Suhu dingin dan Kelembapan tinggi	Suhu AC dingin	$\min(\mu_{\text{dingin}}(0), \mu_{\text{tinggi}}(1))$	0
R4	Suhu nyaman dan Kelembapan rendah	Suhu AC nyaman	$\min(\mu_{\text{nyaman}}(0), \mu_{\text{rendah}}(0))$	0
R5	Suhu nyaman dan Kelembapan normal	Suhu AC nyaman	$\min(\mu_{\text{nyaman}}(0), \mu_{\text{normal}}(0))$	0
R6	Suhu nyaman dan Kelembapan tinggi	Suhu AC dingin	$\min(\mu_{\text{nyaman}}(0), \mu_{\text{tinggi}}(1))$	0
R7	Suhu panas dan Kelembapan rendah	Suhu AC panas	$\min(\mu_{\text{panas}}(1), \mu_{\text{rendah}}(0))$	0
R8	Suhu panas dan Kelembapan normal	Suhu AC nyaman	$\min(\mu_{\text{panas}}(1), \mu_{\text{normal}}(0))$	0
R9	Suhu panas dan Kelembapan tinggi	Suhu AC dingin	$\min(\mu_{\text{panas}}(1), \mu_{\text{tinggi}}(1))$	1

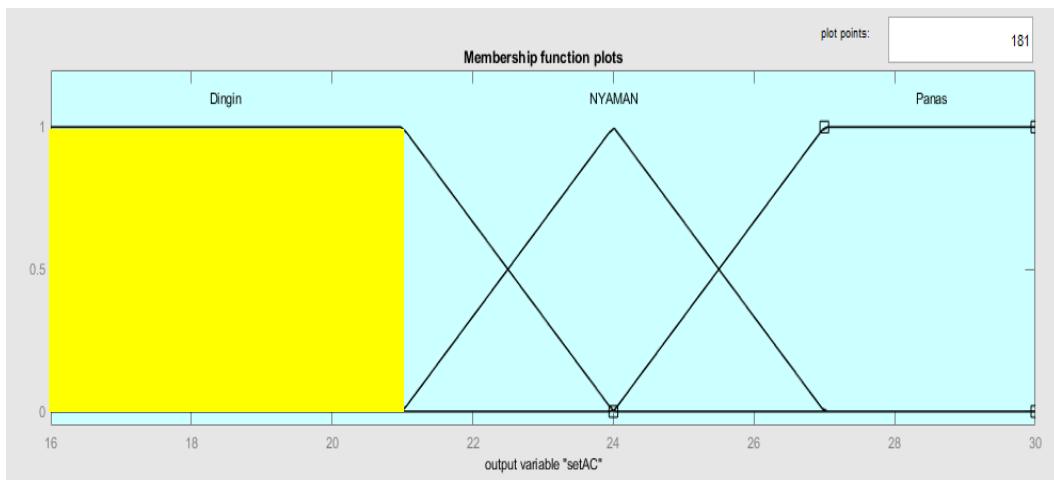
Setelah melakukan inferensi selanjutnya menggunakan fungsi Max.

Aturan yang aktif :

[R9] Jika suhu panas dan kelembapan tinggi, maka suhu AC dingin.

$$\begin{aligned}
 \alpha - \text{predikat } 9 &= \mu_{\text{panas}}(x) \cap \mu_{\text{tinggi}}(x) \\
 &= \min(\mu_{\text{panas}}(1); \mu_{\text{tinggi}}(0)) \\
 &= \min(1; 1) \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

Berikut adalah gambar grafik keanggotaannya :



Gambar 4. 16 Grafik keanggotaan output

Defuzifikasi

Dezuzzifikasi Mamdani menggunakan metode centroid

$$Z = \frac{\int \mu(z)z dz}{\int \mu(z)dz} \rightarrow Momen(M) \quad (4. 14)$$

$$M = \int_{16}^{21} 1z dz = 92,5$$

$$A = \int_{16}^{21} 1 dz = 5$$

$$Z = \frac{92,5}{5} = 18,5 \text{ (dibulatkan)}$$

$$Z = 19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Jika suhu bernilai $30,02 \text{ } ^\circ\text{C}$ dan kelembapan $76,75 \%$ maka suhu set AC $19 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Rumus untuk menghitung nilai error

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \left| \frac{\text{Hasil perhitungan fuzzy logic} - \text{Hasil pengukuran alat}}{\text{Hasil perhitungan fuzzy logic}} \right| 100\% \\ &= \left| \frac{19 - 19}{19} \right| 100\% \\ &= 0 \% \end{aligned} \tag{4. 15}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, nilai hasil perhitungan logika *fuzzy* di dapatkan nilai 19, sedangkan nilai hasil pengukuran juga sebesar 19. Dengan demikian, selisih antara keduanya adalah 0, sehingga persentase error yang diperoleh adalah 0%.

4.2.4 Pengaruh perubahan suhu dan kelembapan terhadap suhu set AC

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan data perubahan suhu dan kelembapan terhadap suhu set AC dengan menggunakan logika *fuzzy*.

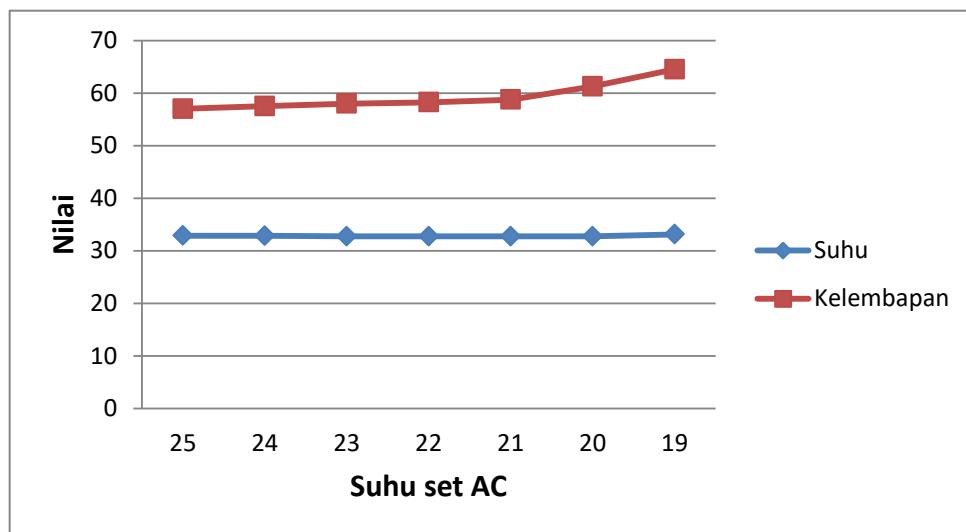
Berikut tabel 4. 8 perubahan suhu dan kelembapan terhadap suhu set AC

Tabel 4. 8 perubahan suhu dan kelembapan terhadap suhu set AC

No	Suhu Rata-rata	Kelembapan Rata-rata	Suhu set AC
1	32,88	57	25
2	32,85	57,5	24
3	32,75	58	23
4	32,75	58,25	22
5	32,75	58,75	21

6	32,75	61,25	20
7	33,13	64,5	19

Berdasarkan tabel 4. 8 terlihat bahwa ketika suhu rata-rata ruangan sebesar 32,88 °C dengan kelembapan rata-rata 57,00%, sistem *fuzzy* mengatur suhu set AC pada 25 °C. Saat kelembapan meningkat menjadi 57,50% dengan suhu rata-rata relatif sama yaitu 32,85 °C, suhu set AC diturunkan menjadi 24 °C. Kondisi ini terus berlanjut, di mana pada suhu rata-rata 32,75 °C dengan kelembapan 58,00%, suhu set AC diturunkan menjadi 23 °C, lalu pada kelembapan 58,25% diatur menjadi 22 °C, dan pada kelembapan 58,75% diturunkan lagi menjadi 21 °C. Selanjutnya, ketika kelembapan meningkat lebih tinggi yaitu 61,25% pada suhu rata-rata 32,75 °C, sistem mengatur suhu set AC lebih rendah lagi menjadi 20 °C. Pada kondisi terakhir, dengan suhu rata-rata 33,13 °C dan kelembapan 64,50%, suhu set AC diturunkan hingga 19 °C. Berikut adalah gambar 4. 17 grafik perubahan suhu dan kelembapan terhadap suhu set AC.



Gambar 4. 17 grafik perubahan suhu dan kelembapan terhadap suhu set AC

Berdasarkan grafik 4. 17 grafik perubahan suhu dan kelembapan terhadap suhu set AC dapat dilihat bahwa pada suhu rata-rata ruangan sekitar 32,7–33,1°C dengan kelembapan yang bervariasi, sistem *fuzzy* memberikan keputusan berbeda terhadap suhu set AC. Misalnya, ketika suhu rata-rata 32,88°C dengan kelembapan 57,00%, suhu set AC ditetapkan pada 25°C. Namun, saat kelembapan sedikit meningkat menjadi 57,50% dengan suhu yang hampir sama, suhu set AC diturunkan menjadi 24°C. Pola ini terus berlanjut, di mana setiap kenaikan kelembapan akan diikuti dengan penurunan suhu set AC secara bertahap hingga pada kondisi kelembapan 64,50% dengan suhu rata-rata 33,13 °C, suhu set AC diatur lebih rendah menjadi 19 °C. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun suhu rata-rata ruangan relatif stabil, faktor kelembapan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil keputusan *fuzzy*. Semakin tinggi kelembapan, sistem *fuzzy* secara otomatis menurunkan suhu set AC untuk mempercepat pendinginan dan menjaga kenyamanan termal ruangan.

4.2.5 Pembahasan perangkat keras (*hardware*)

Perangkat keras merupakan komponen penting dalam “sistem pintar kontrol air conditioner(AC) berbasis *fuzzy logic* dan pengaruhnya pada konsumsi energi listrik”. Dalam sistem ini, seluruh proses pengambilan data, pemrosesan logika *fuzzy*, pengiriman sinyal inframerah, serta pemantauan konsumsi energi listrik dilakukan melalui integrasi berbagai perangkat keras. Berikut ini merupakan uraian fungsi dan peran masing-masing komponen hardware yang digunakan:

1. ESP32

ESP32 berperan sebagai mikrokontroler utama dalam sistem. Sebanyak enam buah ESP32 digunakan dalam penelitian ini, yang terdiri dari empat buah ESP32 pengirim suhu, satu buah ESP32 AC controller dan satu buah ESP32 perangkat monitoring energi listrik.

ESP32 pengirim suhu masing-masing terhubung dengan sensor DHT11 untuk membaca data suhu dan kelembapan ruangan. Data tersebut kemudian dikirim ke perangkat AC *controller* melalui protokol HTTP dengan koneksi WiFi.

ESP32 perangkat AC *controller* menerima seluruh data suhu dan kelembapan dari keempat ESP32 pengirim suhu dan kelembapan, menghitung nilai suhu rata-rata dan kelembapan rata rata, lalu memproses data tersebut menggunakan metode logika *fuzzy* Mamdani. Hasil keputusan logika *fuzzy* digunakan untuk mengontrol suhu AC dengan mengirimkan sinyal inframerah.

2. Sensor DHT11

Sensor DHT11 digunakan sebagai sensor suhu dan kelembapan pada masing-masing ESP32 pengirim. Setiap sensor dipasang di sudut berbeda pada ruangan untuk memperoleh data suhu yang merata. Data dari masing-masing sensor dikirim ke ESP32 penerima untuk dianalisis lebih lanjut.

3. IR Transmitter (LED Inframerah)

LED inframerah berfungsi sebagai pemancar sinyal IR untuk mengontrol AC. Komponen ini terhubung ke ESP32 perangkat AC controller dan digunakan untuk mengirim kode sinyal suhu AC sesuai hasil logika *fuzzy* Mamdani. Kode IR yang dikirim mengikuti format yang sama dengan remote kontrol asli AC (dalam hal ini AC merek LG).

4. PZEM-004T

PZEM-004T merupakan sensor yang digunakan untuk memantau parameter kelistrikan AC, seperti Tegangan (Volt), Arus (Ampere), Daya (Watt), dan energi (kWh). Sensor ini terhubung ke ESP32 perangkat monitoring energi listrik melalui komunikasi serial. Seluruh data konsumsi energi dikirim secara real-time ke platform ThingSpeak untuk keperluan monitoring dan analisis efisiensi sistem.

5. LCD 20x4 dengan Modul I2C

LCD 20x4 digunakan untuk menampilkan informasi control otomatis AC pada baris pertama,pada baris kedua suhu rata-rata ruangan, rata-rata, pada baris ketiga nilai rata rata kelembapan serta suhu setting AC yang dikirim melalui IR *transmitter*. Penggunaan LCD ini bertujuan untuk memberikan tampilan real-time yang mudah dibaca oleh pengguna.

6. Catu Daya (*Power Supply*)

Catu daya digunakan untuk memberikan sumber energi listrik ke seluruh komponen sistem. ESP32, sensor DHT11, modul IR, LCD, dan PZEM semuanya memerlukan tegangan operasi yang stabil. Sistem ini dapat menggunakan adaptor 5V atau power bank sebagai sumber daya utama selama pengujian.

Seluruh perangkat keras pada sistem ini telah dirancang dan diintegrasikan sedemikian rupa agar dapat bekerja secara otomatis dan efisien. Fungsi masing-masing komponen saling mendukung dalam menciptakan sistem kontrol suhu ruangan dan kelembapan yang adaptif, hemat energi, dan mampu menyesuaikan kondisi suhu berdasarkan data lingkungan aktual.

4.2.6 Pembahasan Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak merupakan bagian penting dalam sistem ini, karena bertugas mengendalikan proses pembacaan data dari sensor, pengiriman data antar perangkat, pengambilan keputusan menggunakan logika *fuzzy* Mamdani, hingga mengontrol AC secara otomatis melalui sinyal inframerah. Selain itu, perangkat lunak juga mengirimkan data hasil pengukuran ke platform ThingSpeak untuk keperluan pemantauan konsumsi energi secara real-time.

1. ESP32 pengirim suhu dan kelembapan

Setiap pengirim suhu dan kelembapan bertugas untuk membaca data suhu dan kelembapan ruangan menggunakan sensor DHT11. Data ini kemudian dikirim secara berkala setiap 5 detik ke ESP32 perangkat AC *controller* melalui jaringan WiFi menggunakan metode HTTP GET. Masing-masing pengirim memiliki ID unik (1–4) agar data dapat dibedakan pada sisi penerima. Proses pengiriman dilakukan ke URL /update milik ESP32 perangkat AC *controller* dengan parameter id, suhu, dan kelembapan.

2. ESP32 AC *controller*

ESP32 AC *controller* memiliki tugas utama sebagai pengendali sistem. Setelah menerima data dari empat ESP32 pengirim suhu dan kelembapan, ESP32 AC *controller* menghitung suhu dan kelembapan rata-rata dari keempat titik sensor. Nilai rata-rata ini menjadi input bagi sistem logika *fuzzy* Mamdani yang telah dikonfigurasi dengan dua variabel input (suhu dan kelembapan) dan satu variabel output (suhu setting AC). Logika *fuzzy* terdiri atas tiga himpunan *fuzzy* untuk setiap variabel, yaitu:

Suhu: tidak nyaman(dingin), nyaman, dan tidak nyaman (panas),

Kelembapan: rendah, normal, dan tinggi,

Output suhu AC: Tidak nyaman(dingin), nyaman, dan tidak nyaman (panas)

Terdapat sembilan aturan *fuzzy* (*fuzzy rules*) yang menggabungkan berbagai kemungkinan kombinasi suhu dan kelembapan untuk menghasilkan keputusan suhu AC yang sesuai. Nilai output *fuzzy* yang telah didefuzzifikasi dibulatkan, kemudian dicocokkan dengan kode IR dari remote AC merek LG, dan dikirim menggunakan modul IR transmitter yang terhubung ke pin GPIO 4 pada ESP32.

ESP32 AC *controller* juga menampilkan hasil pembacaan suhu rata-rata, kelembapan rata-rata, dan suhu AC hasil *fuzzy* ke LCD 20x4 melalui komunikasi I2C, serta mengirim data tersebut ke ThingSpeak dengan *field* yang sesuai.

3. ESP32 monitoring konsumsi energi listrik.

ESP32 monitoring konsumsi energi listrik digunakan untuk memantau konsumsi daya listrik dari AC dengan bantuan sensor PZEM-004T. Sensor ini mampu membaca tegangan (V), arus (A), daya aktif (W), dan energi (kWh). Data ini kemudian dikirimkan setiap 20 detik ke platform ThingSpeak menggunakan koneksi WiFi.

Komunikasi antara ESP32 dan sensor PZEM-004T dilakukan melalui port Serial2, dengan alamat sensor diatur ke 0xF8. Validasi dilakukan terhadap setiap pembacaan sensor untuk memastikan nilai yang dikirimkan adalah valid .

Perangkat lunak pada sistem ini dirancang agar setiap perangkat ESP32 bekerja secara terintegrasi. Mulai dari pengukuran suhu dan kelembapan,

pemrosesan data dengan logika *fuzzy*, pengendalian AC otomatis via IR, hingga pemantauan konsumsi energi listrik, semuanya berjalan secara otomatis, efisien, dan real-time. Dengan dukungan ThingSpeak, sistem ini juga mendukung pemantauan jarak jauh dan pencatatan data untuk keperluan analisis.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem kontrol otomatis AC berbasis logika *Fuzzy*, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan metode logika *fuzzy Mamdani* yang mengontrol suhu AC secara otomatis berdasarkan input suhu dan kelembapan ruangan. Data suhu dan kelembapan dikirimkan dari empat sensor DHT11 yang terpasang di empat sudut ruangan dan diproses oleh ESP32 perangkat AC *controller* secara real-time. Output dari sistem *fuzzy* menghasilkan suhu setpoint yang dikirim ke AC melalui sinyal inframerah (IR).
2. Penerapan logika *fuzzy* pada kontrol AC menghasilkan total konsumsi energi listrik sebesar 5,01 kWh selama tiga hari pengujian, sedangkan pada kondisi tanpa logika *fuzzy* tercatat sebesar 8,87 kWh.
3. Sistem kontrol AC berbasis *fuzzy logic* mampu menurunkan konsumsi energi listrik sebesar 3,86 kWh, atau setara dengan 43,82%, dibandingkan dengan penggunaan AC tanpa logika *fuzzy*. Hal ini menunjukkan bahwa sistem kontrol berbasis *fuzzy logic* efektif dalam meningkatkan efisiensi energi listrik pada AC, serta berpotensi mengurangi biaya operasional dan mendukung upaya penghematan energi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perancangan dan penelitian yang telah penulis lakukan pada tugas akhir ini maka dapat diberikan saran untuk meningkatkan keberhasilan penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penelitian ini, di antaranya:

1. Penggunaan sensor yang lebih presisi seperti DHT22 atau SHT31 direkomendasikan untuk meningkatkan akurasi pengukuran suhu dan kelembapan.
2. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan kontrol kecepatan kipas AC, pemilihan mode hemat energi (eco mode), atau kontrol pintar multi-parameter untuk penghematan yang lebih optimal.
3. Dapat ditambahkan fitur dashboard web atau aplikasi Android agar pengguna dapat memantau dan mengendalikan sistem dari jarak jauh secara lebih nyaman.
4. Penambahan penyimpanan lokal menggunakan SD card atau database lokal dapat menjadi backup saat koneksi internet tidak tersedia, sehingga data tetap terekam dengan baik.
5. Sistem kontrol dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mengintegrasikan faktor eksternal, seperti suhu luar ruangan, intensitas cahaya matahari, atau kehadiran manusia (melalui sensor PIR), agar pengambilan keputusan lebih kontekstual dan adaptif.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdilah, B. A., Murti, M. A., & Fuadi, A. Z. (2022). *Rancang Bangun Pengontrolan AC (Air Conditioner) Untuk Penghematan Energi Dengan Kendali Fuzzy logic Sugeno Berbasis IoT (Internet of Things) Menggunakan LoRa*. Vol. 9 No. 5 (2022): Oktober 2022. <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.AC.id/index.php/engineering/article/view/18502>
- Anif, M., & Prasetyo, B. H. (2019). Kendali dan Monitoring Ruang Server dengan Sensor Suhu DHT-11, Gas MQ-2 serta Notifikasi SMS. Vol ., 1.
- Dzul Rahman. (2023, March 17). Mengenal Wireless Mesh Network. *SI Teknik Telekomunikasi* - Telkom University Jakarta. <https://bte-jkt.telkomuniversity.AC.id/mengenal-wireless-mesh-network/>
- Fikriyah, L., & Rohmanu, A. (2018). *SISTEM KONTROL PENDINGIN RUANGAN MENGGUNAKAN ARDUINO WEB SERVER DAN EMBEDDED FUZZY LOGIC DI PT. INOAC POLYTECHNO INDONESIA*. 3(1).
- Iksal, I., Saefudin, S., & Aswad, I. (2016). RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI SUHU RUANGAN MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC. *ETHOS (Jurnal Penelitian dan Pengabdian)*, 207. <https://doi.org/10.29313/ethos.v0i0.1790>
- Pramesti, N. M. G. A. (2018). Rancang Bangun Sistem Pengendali Air Conditioner Dengan Fuzzy logic. *Indonesian Journal of Engineering and Technology (INAJET)*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.26740/inajet.v1n1.p23-27>
- Pratama, R. A., Pratikto, P., & Arman, M. (2023). *Sistem Akuisisi Data Temperatur Showcase Berbasis IoT Menggunakan ESP32 dengan Sensor Termokopel dan Logging ke Google Spreadsheets*. 14(1), 252–257.
- Yulistiani, T. (2023). *ALAT PEMBATAS ARUS ADJUSTABLE LIMITER BERBASIS MIKROKONTROLER*.
- Yusniati, Y. (2018). Penggunaan Sensor Infrared Switching Pada Motor DC Satu Phasa. *JET (Journal of Electrical Technology)*, 3(2), 90–96.

Lampiran

A. Program Arduino IDE

1. Perangkat AC *controller*

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <WiFi.h>
#include <ESP32AsyncWebServer.h>
#include <Fuzzy.h>
#include <IRremote.hpp>
#include <HTTPClient.h>

// ===== Setting WiFi =====
#define WIFI_SSID "WOPPO A9 2020"
#define WIFI_PASSWORD "12345678"

// ===== Konfigurasi ThingSpeak =====
const String THINGSPEAK_API_KEY = "RVECPJGNIGP66KFZ";
const long THINGSPEAK_CHANNEL_ID = 2982223;

// ===== Deklarasi Server =====
AsyncWebServer server(80);

// ===== Variabel Data Suhu dan Kelembapan =====
// Menggunakan array bertipe float
float suhu[4] = {0, 0, 0, 0};
float kelembapan[4] = {0, 0, 0, 0};
bool dataDiterima[4] = {false, false, false, false};

float suhuRata2 = 0;
float kelembapanRata2 = 0;
bool rataSiap = false;
float outputAC = 0;

// ===== Deklarasi LCD I2C =====
// LCD I2C dengan alamat 0x27, ukuran 20x4
LiquidCrystal_I2C LCD(0x27, 20, 4);

// ===== Deklarasi Fuzzy =====
Fuzzy* fuzzy = new Fuzzy();

// ===== Deklarasi IR LG =====
```

```
#define IR_LED_PIN 4
#define ENABLE_LED_FEEDBACK true

FuzzySet* buatSegitiga(float a, float b, float c) {
    return new FuzzySet(a, b, b, c);
}

// Fungsi memilih kode IR LG berdasarkan suhu
unsigned long pilihKodeIR(int suhu) {
    switch (suhu) {
        case 16: return 0x860815E;
        case 17: return 0x860825F;
        case 18: return 0x8608350;
        case 19: return 0x8608451;
        case 20: return 0x8608552;
        case 21: return 0x8608653;
        case 22: return 0x8608754;
        case 23: return 0x8608855;
        case 24: return 0x8608956;
        case 25: return 0x8608A57;
        case 26: return 0x8608B58;
        case 27: return 0x8608C59;
        case 28: return 0x8608D5A;
        case 29: return 0x8608E5B;
        case 30: return 0x8608F5C;
        default: return 0; // Jika suhu tidak dikenali
    }
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    // ===== Koneksi WiFi =====
    WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(1000);
        Serial.println("Menghubungkan ke WiFi...");
    }
    Serial.println("Terhubung ke WiFi!");
    Serial.print("IP Address: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());

    // ===== Inisialisasi IR Transmitter =====
    IrSender.begin(IR_LED_PIN, ENABLE_LED_FEEDBACK);

    // ===== Setup LCD I2C =====
```

```

Wire.begin(21, 22);           // Set SDA ke pin 21 dan SCL ke pin 22
LCD.begin(20, 4);
LCD.backlight();
LCD.setCursor(0, 0);
LCD.print("Control Otomatis AC");
delay(2000);                // Tunda 2 detik
LCD.clear();                 // Membersihkan LCD

// ===== Setup Fuzzy logic =====
// INPUT: SUHU
FuzzyInput* suhuInput = new FuzzyInput(1);
FuzzySet* suhu_dingin = new FuzzySet(0, 0, 20.5, 23.15);
FuzzySet* suhu_nyaman = buatSegitiga(20.5, 23.15, 27.1);
FuzzySet* suhu_panas = new FuzzySet(23.15, 27.1, 45, 45);
suhuInput->addFuzzySet(suhu_dingin);
suhuInput->addFuzzySet(suhu_nyaman);
suhuInput->addFuzzySet(suhu_panas);
fuzzy->addFuzzyInput(suhuInput);

// INPUT: KELEMBAPAN
FuzzyInput* kelembapanInput = new FuzzyInput(2);
FuzzySet* kelembapan_rendah = new FuzzySet(0, 0, 55, 57.5);
FuzzySet* kelembapan_normal = buatSegitiga(55, 57.5, 60);
FuzzySet* kelembapan_tinggi = new FuzzySet(57.5, 60, 100, 100);
kelembapanInput->addFuzzySet(kelembapan_rendah);
kelembapanInput->addFuzzySet(kelembapan_normal);
kelembapanInput->addFuzzySet(kelembapan_tinggi);
fuzzy->addFuzzyInput(kelembapanInput);

// OUTPUT: SUHU AC
FuzzyOutput* AC = new FuzzyOutput(1);
FuzzySet* AC_dingin = new FuzzySet(16, 16, 21, 24);
FuzzySet* AC_nyaman = buatSegitiga(21, 24, 27);
FuzzySet* AC_panas = new FuzzySet(24, 27, 30, 30);
AC->addFuzzySet(AC_dingin);
AC->addFuzzySet(AC_nyaman);
AC->addFuzzySet(AC_panas);
fuzzy->addFuzzyOutput(AC);

// CONSEQUENTS
FuzzyRuleConsequent* then_dingin = new FuzzyRuleConsequent();
then_dingin->addOutput(AC_dingin);
FuzzyRuleConsequent* then_nyaman = new FuzzyRuleConsequent();
then_nyaman->addOutput(AC_nyaman);
FuzzyRuleConsequent* then_panas = new FuzzyRuleConsequent();
then_panas->addOutput(AC_panas);

```

```

// RULES
int r = 1;
FuzzyRuleAntecedent* r1 = new FuzzyRuleAntecedent();
r1->joinWithAND(suhu_dingin, kelembapan_rendah);
fuzzy->addFuzzyRule(new FuzzyRule(r++, r1, then_nyaman));

FuzzyRuleAntecedent* r2 = new FuzzyRuleAntecedent();
r2->joinWithAND(suhu_dingin, kelembapan_normal);
fuzzy->addFuzzyRule(new FuzzyRule(r++, r2, then_dingin));

FuzzyRuleAntecedent* r3 = new FuzzyRuleAntecedent();
r3->joinWithAND(suhu_dingin, kelembapan_tinggi);
fuzzy->addFuzzyRule(new FuzzyRule(r++, r3, then_dingin));

FuzzyRuleAntecedent* r4 = new FuzzyRuleAntecedent();
r4->joinWithAND(suhu_nyaman, kelembapan_rendah);
fuzzy->addFuzzyRule(new FuzzyRule(r++, r4, then_nyaman));

FuzzyRuleAntecedent* r5 = new FuzzyRuleAntecedent();
r5->joinWithAND(suhu_nyaman, kelembapan_normal);
fuzzy->addFuzzyRule(new FuzzyRule(r++, r5, then_nyaman));

FuzzyRuleAntecedent* r6 = new FuzzyRuleAntecedent();
r6->joinWithAND(suhu_nyaman, kelembapan_tinggi);
fuzzy->addFuzzyRule(new FuzzyRule(r++, r6, then_dingin));

FuzzyRuleAntecedent* r7 = new FuzzyRuleAntecedent();
r7->joinWithAND(suhu_panas, kelembapan_rendah);
fuzzy->addFuzzyRule(new FuzzyRule(r++, r7, then_panas));

FuzzyRuleAntecedent* r8 = new FuzzyRuleAntecedent();
r8->joinWithAND(suhu_panas, kelembapan_normal);
fuzzy->addFuzzyRule(new FuzzyRule(r++, r8, then_nyaman));

FuzzyRuleAntecedent* r9 = new FuzzyRuleAntecedent();
r9->joinWithAND(suhu_panas, kelembapan_tinggi);
fuzzy->addFuzzyRule(new FuzzyRule(r++, r9, then_dingin));

// ===== Setup Server untuk menerima update suhu =====
server.on("/update", HTTP_GET, [&] (AsyncWebServerRequest *request){
if (request->hasParam("id") && request->hasParam("suhu") && request->hasParam("kelembapan")) {
int id = request->getParam("id")->value().toInt();
float suhuTerima = request->getParam("suhu")->value().toFloat();
float kelembapanTerima = request->getParam("kelembapan")->value().toFloat();

```

```

if (id >= 1 && id <= 4) {
    suhu[id - 1] = suhuTerima;      // Menyimpan nilai suhu
    kelembapan[id - 1] = kelembapanTerima; // Menyimpan nilai kelembapan
    dataDiterima[id - 1] = true;     // Tandai data diterima
}
request->send(200, "text/plain", "Data diterima");

// Menampilkan data suhu dan kelembapan dari masing-masing pengirim
Serial.println("==== Data dari Pengirim ====");
for (int i = 0; i < 4; i++) {
    if (dataDiterima[i]) {
        // Jika data diterima, tampilkan
        Serial.print("Pengirim ");
        Serial.print(i + 1);
        Serial.print(" - Suhu: ");
        Serial.print(suhu[i]);
        Serial.print(" °C, Kelembapan: ");
        Serial.println(kelembapan[i]);
    }
}

bool semuaDataDiterima = true;
for (int i = 0; i < 4; i++) {
    if (!dataDiterima[i]) {
        semuaDataDiterima = false;
        break;
    }
}

if (semuaDataDiterima) {
    suhuRata2 = 0;
    kelembapanRata2 = 0;
    for (int i = 0; i < 4; i++) {
        suhuRata2 += suhu[i]; // Menghitung rata-rata suhu
        kelembapanRata2 += kelembapan[i]; // Menghitung rata-rata kelembapan
    }
    suhuRata2 /= 4;
    kelembapanRata2 /= 4;

    Serial.println("==== Data Lengkap diterima ====");
    Serial.print("Suhu rata-rata: ");
    Serial.println(suhuRata2);
    Serial.print("Kelembapan rata-rata: ");
    Serial.println(kelembapanRata2);
}

```

```

// Menampilkan suhu rata-rata, kelembapan rata-rata, dan suhu set AC di LCD
LCD.clear();
LCD.setCursor(0, 0);
LCD.print("Control Otomatis AC");

LCD.setCursor(0, 1);
LCD.print("Suhurata2:");
LCD.print(suhuRata2);
LCD.print("C");

LCD.setCursor(0, 2);
LCD.print("Kelembrata2:");
LCD.print(kelembapanRata2);
LCD.print("%");

LCD.setCursor(0, 3);      //
LCD.print("Suhu Set AC: ");
int suhuBulat = round(outputAC);
LCD.print(suhuBulat);

String url = "https://api.thingspeak.com/update?api_key=" +
THINGSPEAK_API_KEY +
"&field1=" + String(suhuRata2) +
"&field2=" + String(kelembapanRata2) +
"&field3=" + String(suhuBulat);
HTTPClient http;
http.begin(url);
int httpCode = http.GET();
Serial.print("ThingSpeak RESP32onse: ");
Serial.println(httpCode);
http.end();

rataSiap = true;

for (int i = 0; i < 4; i++) {
dataDiterima[i] = false;
}
}
}
}
});

server.begin();
}

void loop() {

```

```

if (rataSiap) {
    rataSiap = false; // Setelah dipakai, reset

    if (suhuRata2 < 10 || suhuRata2 > 45 || kelembapanRata2 < 10 || kelembapanRata2
        > 100) {
        Serial.println("Data rata-rata tidak valid. Skip...");
        return;
    }

    fuzzy->setInput(1, suhuRata2);
    fuzzy->setInput(2, kelembapanRata2);
    fuzzy->fuzzify();

    outputAC = fuzzy->defuzzify(1);

    if (outputAC == 0.00) {
        Serial.println("Output fuzzy kosong. Tidak kirim IR.");
        return;
    }

    // Menampilkan data di Serial Monitor
    Serial.print("Output suhu fuzzy: ");
    Serial.println(outputAC);

    int suhuBulat = round(outputAC);
    if (suhuBulat < 16) suhuBulat = 16;
    if (suhuBulat > 30) suhuBulat = 30;

    unsigned long kodeIR = pilihKodeIR(suhuBulat);

    if (kodeIR != 0) {
        Serial.print("Mengirim kode IR: ");
        Serial.println(kodeIR, HEX);
        IrSender.sendLG(kodeIR, 28);
    } else {
        Serial.println("Kode IR tidak valid.");
    }
}

```

2. Program Arduino ide ESP32 pengirim suhu dan kelembapan.

```
#include <WiFi.h>
#include <DHT.h>
#include <HTTPClient.h>

#define DHTPIN 4
#define DHTTYPE DHT11
#define WIFI_SSID "WOPPO A9 2020"
#define WIFI_PASSWORD "12345678"
#define SERVER_URL "http://192.168.75.181/update"

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

int senderID = 1;

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    dht.begin();

    WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(1000);
        Serial.println("Menghubungkan ke WiFi...");
    }
    Serial.println("Terhubung ke WiFi!");
}

void loop() {

    float suhu = dht.readTemperature();
    float kelembapan = dht.readHumidity();

    if (isnan(suhu) || isnan(kelembapan)) {
        Serial.println("Gagal membaca sensor DHT11!");
        return;
    }

    String url = String(SERVER_URL) + "?id=" + String(senderID) + "&suhu=" +
    String(suhu) + "&kelembapan=" + String(kelembapan);

    HTTPClient http;
    http.begin(url);
    int httpCode = http.GET();

    if (httpCode > 0) {
```

```

        Serial.println("Data terkirim!");
    } else {
        Serial.println("Gagal mengirim data!");
    }

    http.end();

    delay(5000);
}

```

3. ESP32 perangkat konsumsi energi listrik

```

#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <PZEM004Tv30.h>

// Tentukan pin RX dan TX untuk PZEM-004T
#define PZEM_RX_PIN 18
#define PZEM_TX_PIN 19

#define PZEM_ADDRESS 0xF8

PZEM004Tv30      pzem(Serial2,      PZEM_RX_PIN,      PZEM_TX_PIN,
PZEM_ADDRESS);

const int resetButtonPin = 13;
const char* ssid = "WOPPO A9 2020";
const char* password = "12345678";
String apiKey = "8NYUQV8BIEGOB63W";
String channelID = " 2980832";

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    Serial2.begin(9600);

    pinMode(resetButtonPin, INPUT_PULLUP);
    // Hubungkan ke WiFi
    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(1000);
        Serial.println("Connecting to WiFi...");
    }
    Serial.println("Connected to WiFi");
}

```

```

void loop() {
    float voltage = pzem.voltage();
    float current = pzem.current();
    float power = pzem.power();
    float energy = pzem.energy();

    if (digitalRead(resetButtonPin) == LOW) {
        Serial.println("reset energi...");
        pzem.resetEnergy();
        delay(1000);
    }
    if (!isnan(voltage) && !isnan(current) && !isnan(power) && !isnan(energy)) {
        Serial.print("Voltage: "); Serial.print(voltage); Serial.println(" V");
        Serial.print("Current: "); Serial.print(current); Serial.println(" A");
        Serial.print("Power: "); Serial.print(power); Serial.println(" W");
        Serial.print("Energy: "); Serial.print(energy); Serial.println(" kWh");

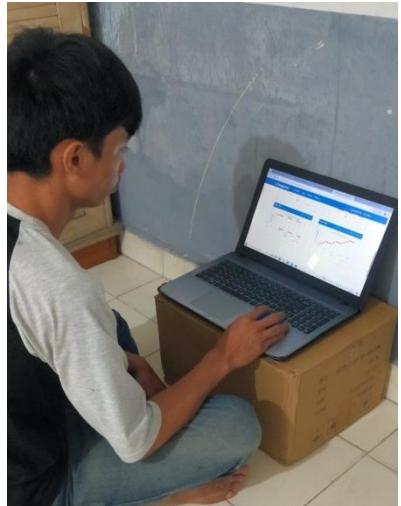
        if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
            HttpClient http;
            String url = "http://api.thingspeak.com/update?api_key=" + apiKey +
                "&field1=" + String(voltage) +
                "&field2=" + String(current) +
                "&field3=" + String(power) +
                "&field4=" + String(energy);
            http.begin(url);
            int httpRESP32onseCode = http.GET();
            if (httpRESP32onseCode > 0) {
                Serial.print("Data sent to ThingSpeak, rESP32onse code: ");
                Serial.println(httpRESP32onseCode);
            } else {
                Serial.print("Error sending data to ThingSpeak, ESP32onse code: ");
                Serial.println(httpRESP32onseCode);
            }
            http.end();
        }
    } else {
        Serial.println("Error reading from PZEM");
    }
    delay(20000);
}

```

B. Dokumentasi Pengerjaan perakitan



Proses perakitan alat





Proses pengujian alat

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1) IDENTITAS DIRI

- a) Nama : Tomas Palallo
- b) Stambuk : F 441 19 058
- c) Tempat Tanggal Lahir : Salubarana' 10 Agustus 1999
- d) Agama : Kristen
- e) Jurusan : Teknik Elektro
- f) Fakultas : Teknik



2) IDENTITAS KELUARGA

- a) Ayah : Paulus Pea'
- b) Ibu : Martina Kodo'

3) DATA PENDIDIKAN FORMAL

- a) SD : SDN 1999 Mappa'
- b) SMP : SMPN 2 Bonggakaradeng
- c) SMK : SMAN 7 Tana Toraja
- d) Perguruan Tinggi : Universitas Tadulako