SISTEM KENDALI PEMAKAIAN ENERGI LISTRIK BERBASIS LOGIKA FUZZY PADA BANGUNAN GEDUNG

Tesis S-2

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

Diajukan oleh
Atiek Nuraini Krisnaningsih
MTE20602000012

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2023

HALAMAN PENGESAHAN

SISTEM KENDALI PEMAKAIAN ENERGI LISTRIK BERBASIS LOGIKA FUZZY PADA BANGUNAN GEDUNG

Yang dipersiapkan dan disusun oleh
Atiek Nuraini Krisnaningsih
MTE20602000012

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada tanggal, 10 November 2023

Telah disetujui oleh :

Pembimbing Utama

Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T.
NIDN : 0618066301

Ketua Penguji,

Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, M.T.
NIDN : 0628086501

Pembimbing Pendamping

Arief Marwanto, ST., M.Eng., Ph.D., IPM.
NIDN : 0628097501

Penguji 1,

Prof. Dr. Hj. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si
NIDN : 0620026501

Penguji 2,

Dr. Eka Nuryanto Budisusila, S.T., M.T.
NIDN : 0619107301

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magiter Teknik

Tanggal 10 November 2023
Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

Prof. Dr. Hj. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si.
NIDN : 0620026501

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Atiek Nuraini Krisnaningsih

NIM : MTE.20602000012

Program Studi : Magister Teknik Elektro

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis yang diajukan kepada Program Studi Magister Teknik Eletro dengan judul:

"Sistem Kendali Pemakaian Energi Listrik Berbasis Logika Fuzzy Pada Bangunan Gedung"

Adalah hasil karya sendiri, judul tersebut belum pernah diajukan untuk memperolah gelar strata II pada Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) ataupun pada universitas lain serta belum pernah ditulis maupun diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis diacu dan dirujukdalam daftar pustaka. Tesis ini milik saya, segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tesis ini adalah tanggung jawab saya.

Semarang, 10 November 2023

Yang menyatakan,

Atick Nuraini Krisnaningsih

MTE. 20602000012

ABSTRAK

Penggunaan energi harus memanfaatkan energi secara hemat dan efisien, termasuk penggunaan energi listrik pada bangunan gedung. Permasalahan penggunaan energi listrik setiap ruangan pada bangunan Gedung dilakukan dengan pola yang tidak baik, lampu dan AC sering lupa dimatikan saat ruangan tidak digunakan. Dampaknya adalah meningkatnya konsumsi energi listrik yang mengakibatkan tagihan pembayaran listrik pada setiap bulan mengalami peningkatan. Salah satu alternatif solusi adalah diperlukan sistem monitoring penggunaan energi listrik untuk menekan biaya pembayaran pemakaian listrik. Penelitian ini memfokuskan pembuatan *prototype* sistem monitoring energi listrik berbasis *fuzzy* pada bangunan gedung. Tujuannya adalah penghematan energi listrik melalui sistem kendali pemakaian *Air Conditioner* (AC) dan lampu penerangan. Parameter yang ditentukan adalah: jumlah orang dalam ruangan, tingkat kecerahan lampu, suhu dan kelembaban ruangan. Logika fuzzy digunakan untuk mengambil keputusan yang diproses oleh ESP32. Seperti penelitiannya M Rizky, S Sahita dengan model *fuzzy logic* control [1]. Hasil menunjukkan bahwa logika fuzzy mampu digunakan pada sistem monitoring energi listrik pada bangunan gedung. Hal ini dibuktikan bahwa sistem pengontrol pendingin udara berbasis fuzzy menggunakan sensor IR dan DHT11 mampu mengontrol suhu AC sesuai dengan aturan yang diinginkan pada logika fuzzy, pengujian sistem dengan simulasi matlab dan pengujian *prototype* hasilnya sama, sehingga *prototype* berfungsi dengan baik. Alat ini dapat menjadi alternatif menghemat energi dengan dibuktikannya pada penelitian ini bahwa pemakaian beban listrik dapat secara otomatis *off* dan *on* jika terdapat orang atau tidak.

Keywords: **monitoring energi listrik, logika fuzzy, ruangan gedung**

ABSTRACT

Energy usage, especially the use of electrical energy in buildings, must be inexpensive and efficient. The problem of using electrical energy in each room in a building is usually done in a bad manner, the lights and AC are often forgotten to be turned off when the room is not in use. The effect is an increase in the amount of electrical energy consumed, which raises monthly electricity costs. To lower the cost of paying for electricity usage, one alternative method is to require a monitoring system for electrical energy usage. The goal of this study is to create a building-based prototype for a fuzzy-based electrical energy monitoring system. Through a control system for the usage of lighting and air conditioners, electrical energy is to be saved. The following factors are determined: the number of people in the space, the brightness of the lighting, the space's temperature, and its humidity. The ESP32 uses fuzzy logic to make decisions that are processed by it. similar to M. Rizky and S. Sahita's research using the fuzzy logic control paradigm [1]. The findings demonstrate that fuzzy logic can be applied in creating electrical energy monitoring systems. This demonstrates the capability of the fuzzy-based air conditioning control system using IR and DHT11 sensors to regulate AC temperature by predetermined fuzzy logic rules. The prototype works well because the results of the prototype test and the system's simulation in Matlab are identical. By demonstrating in this study that the use of electric loads may automatically turn on and off depending on whether there are people present or not, this tool can be used as an option to save energy.

Keywords: ***monitoring, electrical energy, fuzzy logic, building space***

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah dengan mengucap puji syukur kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat, nikmat serta karuniaNya penulis telah dapat menyelesaikan tesis yang berjudul "**SISTEM KENDALI PEMAKAIAN ENERGI LISTRIK BERBASIS LOGIKA FUZZY PADA BANGUNAN GEDUNG".** Tesis ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa bimbingan, bantuan dan dukungan dari banyak pihak yang diberikan kepada penulis. Oleh karena itu penulis berterimakasih dan memberikan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Hj.Novi Marlyana, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Industri Universitas Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Prof. Dr. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Prof. DR. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing selama proses pembuatan tesis berlangsung.
4. Bapak Arief Marwanto, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing selama proses pembuatan tesis berlangsung.
5. Bapak dan Ibu dosen Magister Teknik Elektro Universitas Sultan Agung Semarang yang telah membimbing dan membekali ilmu kepada penulis.
6. Teman-teman Magister Teknik Elektro Angkatan 2020 yang selalu memberikan motivasi dan semangat selama penulis menyelesaikan tesis ini.
7. Kedua orang tuaku Bapak Hazadji dan Ibu Suratiningsih yang selalu mendoakan.
8. Suamiku, anak-anakku dan keluarga besar yang senantiasa sabar dan tanpa kenal lelah memberikan motivasi dan semngat selama penulis mulai menempuh studi sampai selesainya studi ini.
9. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu pembuatan dan penyelesaian tesis ini.

Semoga bantuan yang sudah diberikan akan mendapatkan limpahan berkah dan rahmat dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kata sempurna, maka saran dan kritik yang memotivasi dan membangun agar dapat

menyempurnakan segala kekurangan dan menjadi lebih baik lagi untuk perbaikan dimasa datang. Penulis berharap agar tesis ini dapat berguna untuk para pembaca dan pihak-pihak lain yang berkepentingan. Amin.

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAAN i
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS ii
ABSTRAK iii
ABSTRACT iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR TABEL xii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 2
1.3. Tujuan Penelitian 2
1.4. Batasan Masalah 3
1.5. Keaslian Penelitian 3
1.6. Manfaat Penelitian 5
1.7. Sistematika Penulisan 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI 6
2.1. Tinjauan Pustaka 6
2.2. Dasar Teori 9
2.2.1. Sistem Monitoring Energi Listrik 9
2.2.2. Manajemen Energi 10
2.2.3. Walk Trough Survey 12
2.2.4. Tegangan Efektif 12
2.2.5. Daya Listrik 14
2.2.6. Pulse With Modulation (PWM) 19
2.2.7. Triac, Diac, Photocell dan Optocoupler 20
2.2.8. Perhitungan Daya untuk Air Conditioner (AC) 25
2.2.9. Logika Fuzzy 26
2.2.10. Perhitungan Energi Listrik 28

2.2.11. Audit Energi 33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....35
3.1. Model Penelitian 35
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....36
3.3 Desain Hardware.....47
3.4. Desain Software 50
3.5. Alur Penelitian 51
3.6. Parameter Input dan Logika fuzzy 52
3.7. Logika Fuzzy.....52
3.7.1 Fuzzifikasi 53
3.7.2 Implementasi Pengendalian Lampu dengan Logika Fuzzy 55
3.2.3 Inferensi.....55
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 56
4.1. Deskripsi Lokasi Penelitian.....56
4.2. Realisasi Prototype.....57
4.3. Pengujian IR Obstacle.....57
4.4. Pengujian Sensor AC Light Dimmer 60
4.5. Pengujian Sensor Suhu dan Kelembaban (DHT11).....64
4.6. Fuzzy Inferense System 66
BAB V PENUTUP.....74
5.1. Kesimpulan 74
5.2. Saran.....74
Daftar Pustaka 75
Lampiran 80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Gelombang Harga V_m, V_{RMS} dan V_{PP} 14
Gambar 2. 2. Ilustrasi Harga Sesaat Gelombang Sinusoidal 14
Gambar 2. 3. Segitiga Daya 16
Gambar 2. 4. Arah Arus Segitiga Daya Beban Induktif 17
Gambar 2. 5. Rangkaian Beban Induktif.....17
Gambar 2. 6. Hubungan Fasa antara Arus dan Tegangan pada Beban Induktif 17
Gambar 2. 7. Diagram Phasor V dan I Rangkaian Induktor 18
Gambar 2. 8. Segitiga Daya Beban Kapasitif 18
Gambar 2. 9. Rangkaian Beban Kapasitif.....18
Gambar 2. 10. Hubungan Fasa antara Arus dan Tegangan pada Beban Kapasitif 19
Gambar 2. 11. Diagram Phasor V dan I Rangkaian Kapasitor 19
Gambar 2. 12. Gelombang Kotak (Pulsa) PWM.....20
Gambar 2. 13. Triac 20
Gambar 2. 14. Karakteristik Triac.....21
Gambar 2. 15. Diac 22
Gambar 2. 16. Karakteristik Diac 22
Gambar 2. 17. Bentuk dan Simbol Photodioda.....23
Gambar 2. 18. Optocoupler.....25
Gambar 2. 19. Struktur Dasar Suatu Sistem Inferensi Fuzzy 27
Gambar 2. 20. Kurva Segitiga.....28
Gambar 2. 21. Prinsip Proses Fuzzyfikasi 28
Gambar 2. 22. Bentuk Matrik Basis Kaidah dengan Dua Variabel Input.....29
Gambar 2. 23. Model fuzzy sugeno orde 1(satu).....31
Gambar 2. 24. Proses Defuzzifikasi.....32
Gambar 3. 1. Model Penelitian 35
Gambar 3. 2. ESP 32.....36
Gambar 3. 3. Rangkaian IR.....37
Gambar 3. 4. DHT11.....38
Gambar 3. 5. Relay.....39

Gambar 3. 6. Sensor AC light dimmer.....39
Gambar 3. 7. Rangkaian AC Light Dimmer. 40
Gambar 3. 8. Skematik Dimmer 40
Gambar 3. 9. Rangkaian Dimmer Lampu AC.....41
Gambar 3. 10. Rangkaian Zero Crossing Detektor.....41
Gambar 3. 11. Simbol PWM.....42
Gambar 3. 12. Rangkaian Dimmer Arduino dengan Beban Lampu 42
Gambar 3. 13. Modul Dimmer lampu.....42
Gambar 3. 14. Rangkaian Dimmer AC Sederhana 43
Gambar 3. 15. Sinyal PWM Tidak Terpengaruh Frekuensi dan Titik Nol.....43
Gambar 3. 16. Simbol dan Bentuk Optocoupler.....44
Gambar 3. 17. Konstruksi Optocoupler 44
Gambar 3. 18. Optocoupler untuk Mengontrol Rangkaian AC Menggunakan Tegangan DC 45
Gambar 3. 19. Webcam.....46
Gambar 3. 20. OLED 46
Gambar 3. 21. Diagram Blok 47
Gambar 3. 22. Wiring Rangkaian ESP32.....48
Gambar 3. 23. Bagian Prototype Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis Fuzzy 49
Gambar 3. 24. Diagram Sistem Kerja Prototype Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis Fuzzy 50
Gambar 3. 25. Diagram Alur Penelitian.....51
Gambar 4. 1. Denah Ruang Penelitian.....56
Gambar 4. 2. Pengujian Tegangan IR Obstacle.....57
Gambar 4. 3. Pengujian IR Obstacle.....58
Gambar 4. 4. Cara Kerja IR Obstacle 58
Gambar 4. 5. Skema Rangkaian IR Obstacle.....59
Gambar 4. 6. Skema Sensor AC Light Dimmer.....60
Gambar 4. 7. Maksimal Daya dan RMS On State 61
Gambar 4. 8. Pengujian AC Light dimmer saat off dengan platform Thingspeak 61

Gambar 4. 9. Pengujian Kecerahan Lampu Jumlah Siswa kurang dari 15 orang..62
Gambar 4. 10. Pengujian Kecerahan Lampu Jumlah Siswa Lebih dari 15 orang..63
Gambar 4. 11. Konfigurasi Pin DHT11 64
Gambar 4. 12. Proses DHT11 Membaca Suhu 64
Gambar 4. 13. Status Jika Didalam Ruangan Terdapat Siswa.....65
Gambar 4. 14. Hasil Ukur Suhu pada Ruangan 65
Gambar 4. 15. Hasil Ukur Kelembaban pada Ruangan 65
Gambar 4. 16. Diagram Fuzzifikasi dengan Matlab 66
Gambar 4. 17. Himpunan Keanggotaan Suhu Dalam Ruangan.....67
Gambar 4. 18. Himpunan Keanggotaan Suhu Luar Ruangan.....68
Gambar 4. 19. Himpunan Keanggotaan Banyak Orang.....69
Gambar 4. 20. Himpunan Keanggotaan Keluaran Suhu AC 70
Gambar 4. 21. Rules Editor by Matlab 71
Gambar 4. 22. Rules Viewer Fuzzy Input-Output 72

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Kebutuhan Penggunaan Daya Listrik di SMK Negeri 7 Semarang.....12
Tabel 2. 2. Struktur Dasar Basis Kaidah Logika Tersamar.....21
Tabel 2. 3. Perbedaan Fuzzy Mamdani dan Sugeno 24
Tabel 3. 1. Spesifikasi Sensor AC Light Dimmer.....31
Tabel 3. 2. Wiring Diagram ESP32 36
Tabel 3. 3. Fuzzy Parameter dan Nilai Input - Output 39
Tabel 3. 4. Klasifikasi suhu di dalam ruangan 40
Tabel 3. 5. Klasifikasi suhu di luar ruangan.....40
Tabel 3. 6. Klasifikasi jumlah orang di dalam ruangan 41
Tabel 3. 7. Fungsi keanggotaan output fuzzy 41
Tabel 3. 8. Rule 41
Tabel 3. 9. Fungsi keanggotaan output fuzzy pada pengendalian lampu.....42
Tabel 4. 1. Pengujian Infrared Obstacle.....47
Tabel 4. 2. Pengujian Nilai Kecerahan Lampu 49
Tabel 4. 3. Pengujian Nilai Kecerahan Lampu 50
Tabel 4. 4. Pengujian Sensor Suhu dan Kelembaban Ruangan 53

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan energi listrik dengan baik merupakan solusi untuk menghemat pengeluaran biaya tagihan listrik. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi, salah satu pasal pada Peraturan Pemerintah tersebut adalah mengenai peningkatan efisiensi sumber daya energi dalam negeri. Disebutkan pula pada Peraturan Pemerintah tersebut bahwa pengguna energi harus memanfaatkan energi secara hemat dan efisien, termasuk pengguanaan energi listrik pada bangunan sekolah [1].

Gedung Sekolah Menengah Kejuruan Negeri (SMKN) 7 Semarang memiliki ruangan yaitu: ruang belajar, ruang guru, laboratorium (bengkel), kantin, ruang sidang, aula, ruang wakil kepala sekolah, ruanga kepala sekolah, ruanga bendahara, ruang TU dan gudang. Ruangan yang banyak ini dilengkapi dengan peralatan listrik yaitu lampu untuk penerangan dan *air conditioning* (AC) untuk kenyamanan suhu ruangan. Penghematan penggunaan energi merupakan tindakan bijaksana untuk menekan biaya produksi atau operasi yang menggunakan energi listrik, sehingga dengan penggunaan energi yang efektif dan efisien diharapkan dapat menaikkan produktivitas dan daya saing produk atau penghematan biaya jasa yang dikeluarkan. SMKN 7 Semarang berdiri diatas lahan seluas 31.100 m^2 dan luas bangunan 12.153 m^2. Kapasitas daya listrik terpasang di gedung praktik SMKN 7 Semarang adalah sebesar 147 kVA dan digolongkan sebagai tarif S2. Penggunaan energi listrik di gedung praktik SMKN 7 Semarang sebagian besar untuk mensuplai peralatan praktik, komputer, peralatan penerangan dan pendingin di dalam ruang yang beroperasi mencapai 10 jam. Pemakaian energi listrik di gedung praktik SMKN 7 Semarang relatif besar dan menunjukkan adanya peningkatan dari tahun ke tahun.

Permasalahannya adalah tahun 2017 tagihan listrik Rp. 349.455.600, tahun 2018 sebesar Rp. 365.256.900 memperlihatkan terjadi peningkatan sebesar 4,3%. Tahun 2019 tagihan listrik Rp. 369.344.700 terjadi peningkatan sebesar 1,1%. Hal

ini disebabkan oleh penggunaan energi listrik setiap ruangan kadang dilakukan dengan pola yang tidak baik, lampu dan AC sering lupa dimatikan saat ruangan tersebut kosong. Dampaknya adalah meningkatnya konsumsi energi listrik yang mengakibatkan tagihan pembayaran listrik pada setiap bulan mengalami peningkatan.

Salah satu alternatif solusi adalah diperlukan sistem monitoring penggunaan energi listrik untuk menekan biaya pembayaran pemakaian listrik. Penelitian ini memfokuskan pembuatan *prototype* sistem monitoring energi listrik berbasis fuzzy. Tujuan penelitian ini adalah membuat *prototype* sistem penghematan energi listrik melalui sistem kendali pemakaian *Air Conditioner* (AC) dan lampu penerangan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian tersebut di atas, peneliti merumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengidentifikasi beban listrik pada setiap ruangan di gedung SMKN 7 Semarang
2. Bagaimana menurunkan tagihan listrik dalam pemakaian energi listrik di SMKN 7 Semarang?
3. Bagaimana membuat *Prototype* Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis Fuzzy di SMKN 7 Semarang?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah :

1. Dihasilkannya *Prototype* Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis Fuzzy di SMKN 7 Semarang
2. Dihasilkannya sistem kendali pemakaian energi listrik yang efektif dan efisien sehingga menurunkan tagihan listrik.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah dalam membuat *Prototype* Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis Logika Fuzzy di gedung Teknik Instalasi Tenaga Listrik SMKN 7 Semarang. Perangkat yang digunakan adalah sensor kelembaban DHT11, sensor pendeteksi gerakan IR Obstacle dan mikrokontroler ESP32(+Wifi). Parameter yang digunakan adalah banyak orang dan suhu. Metode logika fuzzy yang dipakai adalah metode mamdani. Mengefektifkan nyala AC dan lampu.

1.5. Keaslian Penelitian

Beberapa penelitian terdahulu tentang Sistem Kendali Pemakaian Energi Listrik Berbasis Logika Fuzzy Pada Bangunan Gedung telah dilakukan antara lain:

a. Rancang Bangun Aplikasi Monitoring Konsumsi Eenergi Listrik 1 Fasa Pelanggan PLN Pasca Bayar Berbasis Web Server [2], tentang hasil analisa penggunaan AMoEL (Aplikasi Monitoring Energi Listrik), diantaranya : nilai kalibrasi yang diperoleh pada pengukuran sensor SCT 013-000 sebesar 99.94%, sensor ZMPT101B sebesar 101.0%, dan sensor cosphi sebesar 99.75% terhadap alat ukur terkalibrasi, nilai pencapaian keberhasilan pengiriman data hari ke-1 sebesar 91.89%, hari ke-2 sebesar 84.97%, hari ke-3 sebesar 87.67%, dan hari ke-4 sebesar 91.49%, pengiriman data tidak mencapai 100% dikerenakan delay pada layanan internet, perbandingan persentase energi listrik yang terukur pada AMoEL terhadap kWh meter yaitu: hari ke-1 sebesar 87.13%, hari ke-2 sebesar 77.81%, hari ke-3 sebesar 77.46%, dan hari ke-4 sebesar 85.52%, konektifitas layanan internet sangat mempengaruhi kemampuan AMoEL untuk menerima data yang dikirim oleh alat. Apabila terjadi gangguan internet maka data tidak terkirim dan tersimpan pada website.
b. Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT (*Internet of Things*) [3] mengenai semua pekerjaan dan kebutuhan manusia sangat tergantung dengan adanya energi listrik terutama pada kebutuhan rumah tangga. Kelalaian manusia dalam pemakaian energi listrik akan menyebabkan keborosan yang berdampak pada

kenaikan biaya pemakaian energi listrik. Alat ini harus dapat memonitoring pemakaian energi listrik serta dapat membatasi arus beban, dan penggunaan energi listrik saat tidak berada dirumah. Alat ini berupa sensor arus, sensor tegangan, arduino UNO, NodeMCU dan relay. Sensor ZMPT101B berfungsi *read* nilai tegangan, sensor ACS712 berfungsi *read* nilai arus, fungsi relay untuk membatasi nilai I dengan cara sensor arus *read* nilai arus pada beban, kemudian peneliti *adjust* pada program dengan membatasi arus masuk sebesar 2A dan jika melebihi batas arus alat monitoring akan mati, arduino *UNO* berfungsi mengolah pembacaan data dari sensor tegangan dan arus, dan NodeMCU sebagai modul WIFI berfungsi mengirimkan data ke server untuk dapat dilihat dengan jaringan internet. Hasil pengujian dan pengukuran selama 2 jam pada beban kipas angin, setrika, motor AC 1 phase, televisi, dispenser, solder, lampu pijar, cas laptop HP dan kulkas menggunakan ACS712 dan ZMPT101B mengasilkan error berturut-turut sebesar 0,28% dan sebesar 0,3%.

c. Sistem Pengendali Lampu Dan Pendingin Ruangan Otomatis Berdasarkan Jumlah Orang Berbasis Mikrokontroler [4] dengan hasil adalah banyaknya penggunaan peralatan listrik dalam suatu ruangan menyebabkan tingginya konsumsi daya listrik yang dibutuhkan. Sensor yang digunakan adalah DHT11 untuk menghitung suhu ruangan, LDR untuk mengukur intensitas cahaya didalam kelas, dan sensor infrared untuk menghitung objek atau orang yang ada didalam ruangan. Dengan otomatisasi ini lampu akan menyala saat kondisi ruangan gelap dan pendingin akan menyala saat kondisi suhu ruangan terasa panas ketika ada orang yang sedang berada didalam ruangan. Lampu dan pendingin akan dimatikan secara otomatis jika sudah tidak ada lagi orang didalam ruangan tersebut sehingga penggunaan peralatan listrik tersebut akan secara otomatis dikendalikan oleh mikrokontroler dan informasi status ruangan dapat dilihat melalui *smartphone*.

Penelitian-penelitian tersebut berhasil membuat aplikasi monitoring energi listrik. Peneliti memfokuskan pada sistem kendali konsumsi energi listrik berbasis logika fuzzy.

1.6. Manfaat Penelitian

a. Dihasilkannya sistem monitoring untuk mengontrol penggunaan energi listrik suatu ruangan.
b. Diharapkan mengoptimalisasi efisiensi energy dengan logika fuzzy.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini dilakukan dengan melalui langkah-langkah berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, keaslian penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan dari penelitian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perancangan dan pembuatan alat dalam penyusunan penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Membahas tentang model penelitian, parameter penelitian, perancangan alat yang dibutuhkan untuk proses perancangan *Prototype* Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis Logika Fuzzy.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Membahas hasil dan pembahasan yang sudah dilakukan dengan menerapkan metode perancangan yang telah dibuat.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran yang dilakukan setelah alat atau sistem yang telah dibuat.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

a) Rancang Bangun Sistem Monitoring Penggunaan Daya Listrik Di Rumah Tangga [5]. Hasil menyatakan bahwa dari penelitian tersebut didapatkan alat monitoring daya listrik berbasis *smartphone* ini dapat mengukur berapa daya yang terpakai dan dapat di pantau melalui aplikasi android. Alat monitoring daya listrik berbasis *smartphone* ini dapat memudahkan pengguna dalam memonitoring daya listrik dengan menggunakan aplikasi pada *smartphone*.

b) Sistem Monitoring Besaran Listrik dan Energi Penerangan Jalan Umum Secara *Realtime* Berbasis Web [6]. Hasil menjelaskan tujuan untuk membuat aplikasi sistem monitoring yang dapat dijadikan alat untuk memonitoring sebuah sistem PJU secara *realtime*. Bahwa desain dari sistem monitoring PJU akan sangat memudahkan dalam mengontrol PJU jarak jauh dan memudahkan dalam pemantauan kerusakannya, dengan perancangan *hardware* mikrokontroler arduino maka kondisi perangkat dari PJU bisa dikirimkan melalui web sehingga akan memudahkan dalam memonitoring sistem tersebut, pada pengujian sensor tegangan DC diatas memiliki selisih rata-rata 3%. Berdasarkan hasil pengujian sistem monitoring yang dihasilkan tertinggi antara pukul 07.00 hingga pukul 17.00 (10 Jam). Daya yang dihasilkan sel surya memiliki nilai tertinggi 6.35 Volt dan nilai terendah 3.18 Volt. Pengujian menu sistem aplikasi web memiliki rata-rata waktu respon yang masih baik sekitar 1.545 detik.

c) Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT (*Internet of Things*)" [7]. Hasil menjelaskan bahwa sistem monitoring penggunaan energi listrik berdasarkan biaya pemakaian perangkat-perangkat elektronik, sehingga dari biaya tersebut akan mempengaruhi pengguna untuk menghemat pemakaian energi listrik agar tidak terjadi pemborosan yang menyebabkan pembengkaan pada biaya. Kesimpulan dari penelitian ini adalah alat monitoring daya listrik bekerja sesuai dengan yang diinginkan, terdapat *error* pada pembacaan nilai tegangan dan arus secara berturut-turut sebesar 0,3% dan 0,28%, alat monitoring daya listrik ini

mampu membatasi arus sesuai yang diinginkan, batas maksimum alat monitoring daya listrik sebesar 5 A, alat monitoring daya listrik memiliki waktu tunda selama 12 detik pada pengiriman ke server.

d) Rancang Bangun Kendali Otomatis Lampu dan Pendingin Ruangan Pada Ruang Perkuliahan Berbasis Mikrokontroler Arduino Nano [8]. Hasil menjelaskan penelitian ini bertujuan dapat mengurangi konsumsi daya listrik yang berlebih. Semua penggunaan sensor terhubung langsung dengan arduino nano sebagai pusat pengendali sistem otomatis. Adapun Kesimpulan dari penelitian ini yaitu penghematan pengeluaran listrik pada satu kelas dengan menggunakan sistem kendali otomatis lampu dan pendingin ruangan pada ruang perkuliahan berbasis mikrokontroler arduino nano sebesar Rp.239.214,- selama 1 bulan setiap kelasnya, sensor PIR dapat bekerja mendeteksi keberadaan orang di dalam ruangan dan sensor LDR dapat mendeteksi intensitas cahaya sehingga dapat mengontrol lampu dan pendingin ruangan secara otomatis sesuai dengan keadaan didalam ruangan, waktu pada *timer* dapat bekerja secara tepat sesuai dengan waktu pada *stopwatch*, sehingga dapat digunakan sebagai *timer* waktu lama perkuliahan, tombol dapat bekerja untuk fungsi *input* lama perkuliahan sebagai t*imer* dan untuk saklar manual *on/off* pada lampu dan pendingin ruangan.

e) Manajemen Konsumsi Energi Listrik Dengan Menggunakan Sensor PIR dan LM35 [9]. Hasil menyatakan pemakaian energi listrik yang tidak bijaksana bisa mengakibatkan pemborosan energi dan pengeluaran biaya yang besar. Untuk menghemat dalam pembayaran energi listrik yang di gunakan maka semuanya harus di kendalikan dengan baik. Dengan latar belakang permasalahan tersebut dibuatlah sebuah rangkaian kontrol automatis untuk menghemat energi listrik pada gedung bertingkat menggunakan mikrokontroler Arduino UNO R3 , sensor PIR dan sensor LM35 dengan menggunakan program bahasa C untuk mengolah data pengontrolan. Tehnik penghematan dilakukan dengan cara mengontrol semua peralatan listrik yang akan hanya berfungsi jika ada keberadaan orang di tempat tersebut dengan menggunakan sensor PIR dan sensor LM35 untuk mengontrol temperatur ruangan. Dengan menggunakan sistem ini penghematan

energi listrik minimal 10 % akan tercapai bahkan bisa mencapai 50 % dibanding sistem operasi manual secara umum pada gedung bertingkat.

f) Prototipe Pengukuran Pemaikan Energi Listrik Pada Kamar Kos Dalam Satu Hunian Berbasis Arduino Uno R3 Dan GSM Shield SIM900 [10]. Hasil menjelaskan untuk merancang dan menghasilkan sebuah *prototype* sistem pengukuran pemakaian energi listrik pada setiap kamar dalam satu hunian menggunakan jaringan GSM. Rancangan *prototype* ini menggunakan sensor tegangan dan sensor arus ACS721, mikrokontroler ATmega 328P pada Arduino Uno R3 dan menggunakan GSM Shield SIM900 sebagai alat komunikasi antara pemilik hunian untuk mengetahui konsumsi energi listrik dan biaya pemakaian energinya yang ditampilkan langsung pada layar LCD sistem pengukuran. Nilai pengukuran seperti tegangan dan arus diperoleh dari *sampel* gelombang masukan sensor tegangan dan sensor arus. Keakuratan dari *prototype* sistem pengukuran ini diperoleh dengan membandingkan hasil pengukurannya dengan alat ukur digital lainnya yang terpercaya dengan tingkat akurasi 2%. Hasil pengujian diperoleh perbedaan pengukuran tegangan sebesar 2.5% dan arus sebesar 1.0% dan 0.85% serta Cos Phinya sebesar 2.0% dan energi listik sebesar 3.9%. Dari hasil ini dapat disimpulkan, prototipe sistem pengukuran energi listrik ini terpercaya dapat mengukur energi listrik dengan tingkat akurasi yang tinggi.

g) Manajemen Energi di Industri: Optimasi Sisi Utiliti pada Industri Ban [11]. Hasilnya bahwa perbandingan nilai IKE Plant X terhadap nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) industri pada umumnya, maka digunakan sebuah *database* bangunan industri dari BPD *Building Performance Database* (BPD) yang dibuat oleh *Lawrence Berkeley National Lab, Berkeley* dan *US Department of Energy*. Cara lain yang dapat digunakan untuk mengetahui performa energi adalah menghitung *specific consumption* / konsumsi spesifik (KS) yaitu dengan membagi konsumsi energi listrik dan atau gas dalam setahun dengan hasil produksi selama setahun.

h) Evaluasi Penggunaan Listrik dengan Metode Konservasi Energi untuk Efisiensi Energi di Gedung FKIP UNTIRTA [12]. Hasil menjelaskan bahwa tingkat

intensitas konsumsi energi (IKE) di gedung FKIP Untirta dengan menggunakan metode *audit* energi demi tercapainya efisiensi energi. Data yang digunakan dalam pengumpulan data berupa data penggunaan listrik, data luas bangunan gedung dan observasi yang dilakukan oleh peneliti. Analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan rumus intensitas konsumsi energi. Hasil penelitian menunjukkan Nilai IKE gedung CB FKIP Untirta sebesar 254,5 kWh/m^2. Dengan diperoleh hasil tersebut, bisa diketahui bahwa nilai IKE di gedung CB FKIP Untirta masih tidak efisien. Ini didasarkan pada parameter ASEAN-USAID yang berkisar di 240 kWh/m^2. Berdasarkan konsumsi energi listrik di gedung CB FKIP Untirta didapatkan peluang penghematan energi atau solusi penghematan energi yaitu mengganti lampu TL dengan lampu Led atau dengan mengganti lampu TL yang lebih kecil wattnya dan dari segi beban tata udara atau AC yaitu mengganti refrigeran R32 dengan refrigeran campuran R32 dan R290 yang terbukti cukup hemat dalam hal penghematan dan efisiensi energi serta durasi penggunaan energi listrik.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Sistem Monitoring Energi Listrik

Monitoring adalah proses rutin pengumpulan data dan pengukuran atas objektif program. Memantau perubahan yang fokus pada proses dan keluaran. Monitoring akan memberikan informasi tentang status dan kecenderungan bahwa pengukuran dan evaluasi yang disediakan berulang kali dari waktu ke waktu, pemantauan umumnya dilakukan untuk tujuan tertentu, untuk memeriksa proses terhadap suatu objek atau untuk mengevaluasi kondisi atau kemajuan menuju tujuan hasil manajemen atas efek tindakan dari beberapa jenis tindakan untuk mempertahankan manajemen yang sedang berjalan. Secara umum monitoring bertujuan mendapatkan umpan balik dari kebutuhan program proses pembelajaran yang sedang berjalan, dengan mengetahui kebutuhan ini pelaksanaan program akan segera mempersiapkan kebutuhan dalam pembelajaran tersebut. Kebutuhan biasa berupa biaya, waktu, personel, dan alat. Pelaksanaan program akan mengetahui berapa biaya yang dibutuhkan, berapa lama waktu yang tersedia untuk kegiatan

tersebut. Dengan demikian akan diketahui pula berapa jumlah tenaga yang dibutuhkan, serta alat apa saja yang harus disediakan untuk melaksanakan program tersebut.

Sistem monitoring energi listrik dilakukan untuk mengetahui konsumsi energi listrik yang digunakan dengan melakukan pengukuran tegangan, arus dan dayanya sehingga dapat dilakukan tindakan menganalisis hasil dari konsumsi daya. Sistem monitoring energi listrik merupakan bagian dari sistem manejemen energi yang merupakan teknik memonitor, menganalisa dan mengontrol aliran energi yang ada dalam sebuah sistem sehingga dapat dilakukan tindakan efisiensi penggunaan energi yang maksimal dapat tercapai. Manajemen energi adalah aktifitas dalam menggunakan energi dengan bijaksana dan efektif untuk memaksimalkan keuntungan (*minimize costs*) dan meningkatkan kondisi yang kompetitif [5].

2.2.2. Manajemen Energi

Manajemen energi merupakan kegiatan terpadu untuk mengendalikan konsumsi energi agar tercapai pemanfaatan energi yang efektif dan efisien untuk menghasilkan keluaran yang maksimal melalui tindakan teknis secara terstruktur dan ekonomis untuk meminimalisasi pemanfaatan energi termasuk energi untuk proses produksi dan meminimalisasi konsumsi bahan baku dan pendukung. Terdapat 4 (empat) dimensi manajemen energi yang dapat meningkatkan kemampuan perusahaan manufaktur untuk memproduksi produk yang berkualitas dengan efisiensi energi, yaitu: komitmen manajemen, *energy awareness*, *energy knowledge*, dan audit energi. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 14 Tahun 2012 Tentang Manajemen Energi [13]. Peraturan ini menetapkan industri yang menggunakan energi lebih dari 6000 setara ton minyak per tahun wajib untuk menerapkan sistem manajemen energi. Peraturan ini dilatar belakangi oleh munculnya ISO 50001: *Energy Management*, yang merupakan *standard* yang digunakan untuk mengelola kinerja energi baik untuk efisiensi maupun konsumsi energi dengan pendekatan *siklus plan, do, check, action* untuk perbaikan berkelanjutan [14].

Manajemen energi adalah kegiatan terpadu untuk mengendalikan konsumsi energi agar tercapai pemanfaatan energi yang efektif dan efisien untuk menghasilkan keluaran yang maksimal. Hal ini dilaksanakan melalui tindakan teknis secara terstruktur dan ekonomis untuk meminimalisasi pemanfaatan energi termasuk energi untuk proses produksi dan meminimalisasi bahan baku dan bahan pendukungnya [15].

Kata "manajemen" dalam frasa manajemen energi memiliki definisi sebagaimana pengertian manajemen pada umumnya, yaitu keseluruhan aktivitas yang melibatkan perumusan tujuan, perencanaan, implementasi dan pengontrolan terhadap pencapaian tujuan aktivitas tersebut. Sedangkan "energi" memiliki definisi ilmiah sebagai "kemampuan untuk melakukan kerja atau gerakan". Energi inilah yang memungkinkan aktivitas apapun dapat berlangsung. Dalam keseharian, energi yang paling dikenal adalah listrik dan bahan bakar. Semua aktivitas industri dan perusahaan apapun pasti membutuhkan energi listrik dan bahan bakar ini. Besarnya energi yang digunakan dan biaya yang harus dikeluarkan dalam pengoperasian peralatan perusahaan inilah yang menjadi perhatian dalam manajemen energi. Energi, biasanya dinyatakan dalam satuan Joule (J), atau Kilowatt (kW), atau Kilowatt-jam (kWh). Manajemen energi didefinisikan sebagai sebuah fungsi teknis dan manajemen untuk mendata, memeriksa secara teliti, menganalisis, memonitor, mengganti dan mengontrol aliran energi dalam sistem energi sedemikian hingga energi dapat digunakan dengan efisiensi yang maksimum. Maksud kata "maksimum" dalam definisi tersebut adalah bahwa efisiensi tersebut dapat memenuhi syarat-syarat dari sisi pertimbangan teknis dan ekonomis. Secara teknis penggunaan energi tersebut layak dan berefisiensi tinggi, dan pengoperasian energi tersebut secara ekonomis masih memungkinkan perusahaan untuk mempertahankan daya saing produk yang dihasilkan. Ada peralatan tertentu, misalkan kompresor penggerak sistem refrigerasi (mesin pendingin) & AC, dengan kenaikan efisiensi teknis sebesar 10% saja (dari efisiensi kompresor 80% ke 90%) menyebabkan kenaikan biaya investasi sampai 3 kali lipat. Dalam keadaan demikian pemilihan kompresor dengan efisiensi 80% lebih dapat diterima, meskipun untuk selanjutnya biaya pemeliharaannya sedikit lebih mahal daripada bila memilih yang efisiensinya

90%. Jadi, efisiensi energi terkait dengan energi input (yang dibutuhkan) dan nilai tambah (output) yang dihasilkan [16].

2.2.3. *Walk Through Survey*

Walk through survey adalah survei untuk mendapatkan informasi yang relatif sederhana tapi cukup lengkap dalam waktu yang relatif singkat sehingga diperlukan upaya pengumpulan data untuk kepentingan penilaian secara umum dan analisa sederhana [2]. Tujuan dari *Walk Through Survey* pada penelitian ini adalah untuk mengenali dan mengidentifikasi beban AC merupakan penyebab pemakaian energi listrik terbesar di SMK Negeri 7 Semarang. Informasi yang dikumpulkan menjadi dasar yang kuat untuk evaluasi kuantitatif pemakaian energi listrik di SMK Negeri 7 Semarang dan desain tindakan pengendaliannya. Kapasitas daya listrik terpasang di SMK Negeri 7 Semarang adalah sebesar 147 kVA.

Kebutuhan AC seluruh gedung SMK N 7 Semarang dengan jumlah ruangan sebanyak 51 terpasang 163 buah AC yang terdiri dari 60 buah AC 2 pk dan 103 buah AC 1 pk, selain AC juga terpasang kipas angin sebanyak 192 buah sedangkan jumlah titik lampu ada 985 titik lampu. Tabel 2.1. memperlihatkan kebutuhan penggunaan daya listrik dengan beban AC, kipas angin dan lampu di SMK Negeri 7 Semarang, dengan daya AC 1 pk adalah 840 watt, daya AC 2 pk adalah 1920 watt, daya kipas angin adalah 120 watt dan daya lampu adalah 40 watt. Potensi pemakaian energi listrik terbesar pada beban AC yaitu 137,23%.

Tabel 2.1. Kebutuhan Penggunaan Daya Listrik di SMK Negeri 7 Semarang

No	Jenis beban	Jumlah (buah)	Daya listrik (Watt)	Prosentase Daya
1	AC 1 pk	103	86.520 watt	58,86 %
2	AC 2 pk	60	115.200 watt	78, 37 %
3	Kipas angin	192	23.040 watt	15,67 %
4	Lampu	656	26.240 watt	17,86 %

2.2.4. Tegangan Efektif

Dalam rangkaian arus bolak-balik, baik tegangan maupun kuat arus berubah-ubah secara periodik. Oleh sebab itu untuk penggunaan yang praktis diperlukan besaran listrik bolak-balik yang tetap, yaitu harga efektif (rms=*root*

mean square) [3]. Harga efektif arus bolak-balik ialah harga arus bolak-balik yang dapat menghasilkan panas yang sama dalam penghantar yang sama dan dalam waktu yang seperti arus searah. Daya rata-rata yang dikirim oleh sumber AC adalah suku pertama pada persamaan dimana suku kedua adalah nol karena nilai rata-rata dari gelombang kosinus adalah nol. Sehingga daya rata-rata yang dikirim oleh sumber AC adalah sama dengan sumber DC pada persamaan (2.1) s.d (2.3)

$$P_{AC} = P_{DC} \quad \text{..... (2.1)}$$

$$\frac{I_m{}^2 R}{2} = I_{DC}{}^2 R \quad \text{..... (2.2)}$$

$$I_{DC} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad \text{..... (2.3)}$$

Hubungan antara nilai maksimum dan nilai efektif (rms) pada persamaan (2.4) s.d (2.7) yaitu :

$$I_{RMS} = \frac{I}{\sqrt{2}} I_m = 0{,}707\, I_m \quad \text{..... (2.4)}$$

$$V_{RMS} = \frac{I}{\sqrt{2}} V_m = 0{,}707\, V_m \quad \text{..... (2.5)}$$

$$I_m = \sqrt{2}\, I_{RMS} = 1{,}4141\, I_{RMS} \quad \text{..... (2.6)}$$

$$V_m = \sqrt{2}\, V_{RMS} = 1{,}4141\, V_{RMS} \quad \text{..... (2.7)}$$

Dengan : P_{AC} = daya AC (watt)

P_{DC} = daya DC (watt)

I_m = arus maksimum (A)

I_{DC} = arus DC (A)

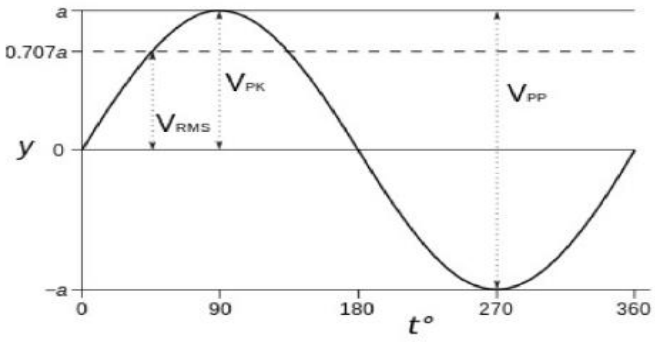
I_{RMS} = arus efektif (A)

V_m = tegangan maksimum (volt)

V_{RMS} = tegangan efektif (volt)

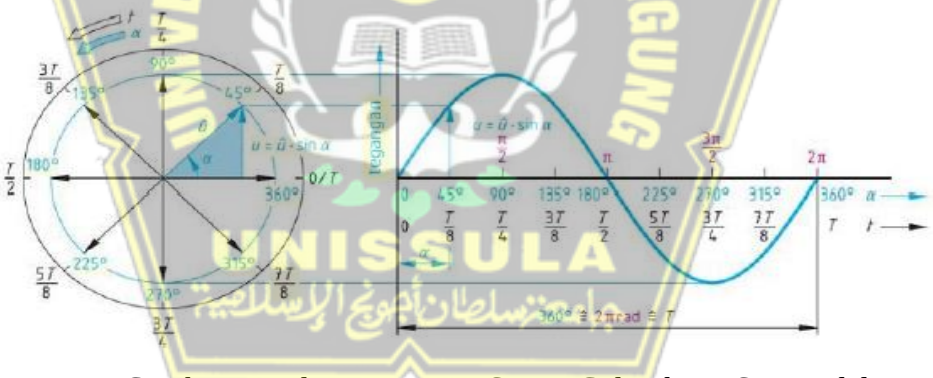
Tegangan AC berubah-ubah polaritasnya dan arus AC berubah-ubah arah arusnya. Dalam DC, dimana nilai tegangan dan arusnya adalah konstan. Cara untuk menyatakan nilai AC, atau magnitudo (disebut juga dengan amplitudo) dari suatu besaran AC adalah dengan mengukur tinggi puncak bentuk gelombangnya. Nilai ini dikenal dengan peak atau crest dari gelombang AC. Besar nilai AC adalah dengan mengukur tinggi total antara dua puncak yang polaritasnya berlawanan, dikenal dengan nama nilai *peak-to-peak* (p-p) dari gelombang AC [3].

Gambar 2.1 menjelaskan gelombang tegangan maksimum (V_m), tegangan efektif (V_{RMS}) dan tegangan *peak to peak* (V_{pp}).



Gambar 2.1. Gelombang Harga V_m, V_{RMS} dan V_{pp}

Gambar 2.2 menjelaskan ilustrasi harga sesaat gelombang sinusoidal berbeda tergantung sudut gelombang. Harga sesaat akan mencapai puncak (sama dengan harga maksimum saat mencapai sudut 90° atau π/2 radian dan akan sama dengan harga minimum saat sudut 3π/2 radian.



Gambar 2.2. Ilustrasi Harga Sesaat Gelombang Sinusoidal

2.2.5. Daya Listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai besarnya energi listrik yang dikonsumsi atau dihasilkan setiap waktu oleh peralatan listrik. Satuan SI daya listrik adalah watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (joule/detik). Berdasarkan jenisnya daya listrik dapat dikategorikan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu daya listrik AC dan DC. Sebagian besar sistem kelistrikan dan beban

yang dilayani adalah daya listrik AC. Daya listrik AC dapat dibagi menjadi tiga macam yaitu: daya aktif, daya semu dan daya reaktif [10].

Daya rata-rata atau daya nyata (P) adalah daya yang dipakai oleh komponen pasif resistor yang merupakan daya yang terpakai atau terserap. Suplai dari PLN ke rumah-rumah, maka daya yang tercatat pada alat KWH meter adalah daya rata-rata atau sering disebut juga sebagai daya nyata yang akan dibayarkan oleh pelanggan [17]. Secara sistematis, daya rata-rata atau daya nyata merupakan perkalian antara tegangan efektif, arus efektif, dan koefisien faktor dayanya, seperti yang ditunjukkan pada persamaam (2.8).

$$P = V_{eff}\, I_{eff}\, cos\emptyset \quad \text{..... (2.8)}$$

dengan: P = daya rata-rata atau daya nyata (watt)

V_{eff} = tegangan efektif (volt)

I_{eff} = arus efektif (ampere)

$cos\emptyset$ = koefisien faktor daya

Daya Reaktif (Q), daya ini adalah daya yang muncul diakibatkan oleh komponen pasif di luar resistor yang merupakan daya rugi-rugi atau daya yang tidak diinginkan. Daya ini seminimal mungkin dihindari, atau paling tidak diperkecil, walaupun tidak akan hilang sama sekali, dengan cara memperkecil faktor dayanya [17]. Secara sistematis, daya reaktif merupakan perkalian antara tegangan efektif, arus efektif, dan nilai $sin\emptyset$, seperti yang ditunjukkan pada persamaaan (2.9).

$$P = V_{eff} \,.\, I_{eff} \,.\, sin\emptyset \quad \text{..... (2.9)}$$

Daya Tampak (S) Daya yang sebenarnya yang di suplai oleh PLN, yang merupakan resultan daya antara daya rata-rata dan daya reaktif [17]. Satuannya adalah Volt Ampere (VA). Secara sistematis, daya tampak merupakan perkalian antara tegangan dan arus efektifnya, seperti yang ditunjukkan pada persamaaan (2.10).

$$S = V_{eff} \,.\, I_{eff} \quad \text{..... (2.10)}$$

Daya Kompleks merupakan gabungan antara daya rata-rata dan daya reaktifnya, ditunjukkan pada persamaaan (2.11).

$$P = P + jQ = V_{eff} . I_{eff} . Cos\emptyset + jV_{eff} . I_{eff} . sin\emptyset \text{ ……..……(2.11)}$$

dengan Q = daya reaktif (VAR)

S = daya tampak (VA)

Faktor Daya atau power faktor (pf) merupakan perbandingan daya rata-rata terhadap daya tampak, ditunjukkan pada persamaaan (2.12).

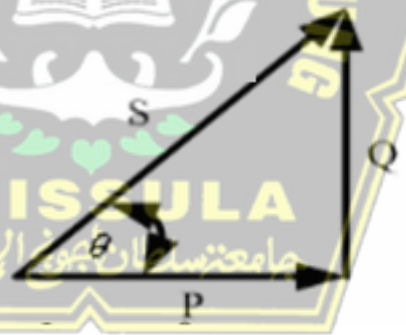
Besarnya faktor daya (pf) :

$$pf = \frac{P}{S} = \frac{V_{eff} . I_{eff} . Cos\emptyset}{V_{eff} . I_{eff}} = cos\emptyset \text{……..(2.12)}$$

dengan pf = faktor daya atau *power factor*

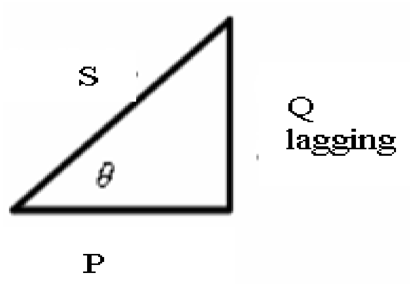
S = daya tampak (watt)

Segitiga Daya adalah hubungan antara daya rata-rata, daya reaktif, dan daya tampak dapat dinyatakan dengan merepresentasikan daya-daya tersebut sebagai vector. Daya rata-rata atau daya nyata direpresentasikan sebagai vektor vertikal. Vektor daya tampak adalah *hipotenusa* (sisi miring) dari segitiga siku- siku yang terbentuk dengan menghubungkan vektor-vektor daya nyata dan reaktif [17]. Representasi ini sering disebut sebagai segitiga daya yang ditunjukkan dengan persamaan (2.8) sampai dengan (2.10) pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Segitiga Daya.

I *lagging* terhadap V dimana nilai arus tertinggal sebesar fasa ɵ dibandingkan dengan nilai tegangan, yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Beban induktif adalah beban yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti besi, contoh: motor-motor listrik, induktor dan transformator. Beban ini mempunyai faktor daya antara 0 – 1 "*lagging*". Beban ini menyerap daya aktif (W) dan daya reaktif (VAR). Tegangan mendahului arus sebesar ɵ°.



Gambar 2.4. Arah Arus Segitiga Daya Beban Induktif.

Persamaan beban induktif ditunjukkan pada persamaan (2.13).

$X_L = 2\pi fL$ ……………………………………………………………(2.13)

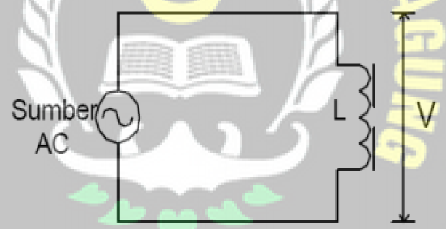
dengan X_L = reaktansi induktif (ohm)

π = 3,14 = 22/7

f = frekuensi (Hz)

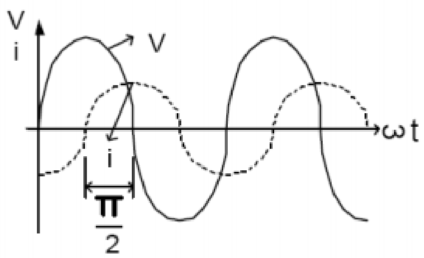
L = induktor (Henry (H))

Rangkaian beban induktif ditunjukkan pada Gambar. 2.5.



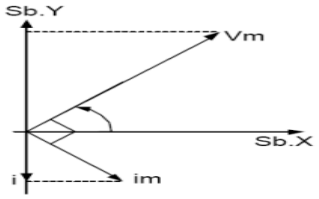
Gambar 2.5. Rangkaian Beban Induktif

Diagram hubungan antara tegangan (V) dan arus (I) untuk rangkaian induktor L dalam sebuah sistem koordinat yang sama ditunjukkan pada Gambar 2.6.



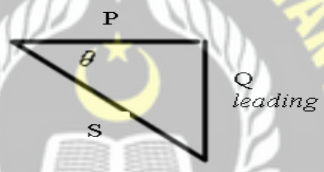
Gambar 2.6. Hubungan Fasa Antara Arus Dan Tegangan Pada Beban Induktif

Gambar 2.6. tampak bahwa V dan I berbeda fase sebesar π/2 yaitu 90°. Dalam diagram *phasor*, hubungan V dan I untuk rangkaian induktor dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar. 2.7. Diagram Phasor V dan I Rangkaian Induktor

Untuk beban kapasitif adalah beban yang mengandung suatu rangkaian kapasitor. Beban ini mempunyai faktor daya antara 0–1 "*leading*". Beban ini menyerap daya aktif (W) dan mengeluarkan daya reaktif (VAR) arus mendahului tegangan sebesar ɵ°. I *leading* terhadap V dimana nilai arus mendahului sebesar fasa ɵ dibandingkan dengan nilai tegangan., ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Segitiga Daya Beban Kapasitif.

Persamaan beban kapasitif ditunjukkan pada persamaan (2.14.).

$$Xc = \frac{1}{2\pi fC} \quad \text{.....(2.14.)}$$

dengan Xc = reaktansi kapasitif (ohm)

π = 3,14 = 22/7

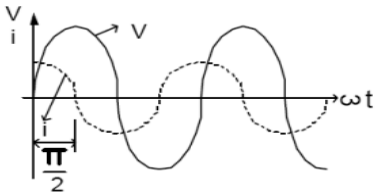
f = frekuensi (Hz)

C = kapasitor (Farad (F))

Rangkaian beban kapasitif ditunjukkan pada Gambar 2.9.

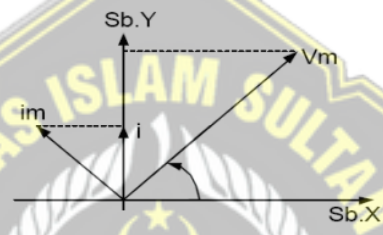
Gambar 2.9. Rangkaian Beban Kapasitif

Grafik tegangan (V) dan arus (I) untuk rangkaian kapasitor digambarkan dalam sebuah sistem koordinat yang sama, maka akan diperoleh kurva tegangan dan arus seperti tampak pada Gambar 2.10. bahwa V dan I berbeda fase π/2, yaitu arus I mendahului V sebesar π/2 atau 90°.



Gambar 2.10. Hubungan Fasa Antara Arus dan Tegangan Pada Beban Kapasitif

Diagram phasor untuk rangkaian kapasitor C diperlihatkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Diagram Phasor V dan I Rangkaian Kapasitor

Ditunjukkan persamaan (2.15) sampai (2.18).

$P = V_{eff} . I_{eff} . cos\emptyset = \ I_{eff}{}^2 R = \frac{V_{eff\,R}{}^2}{R}$ …… ….(2.15)

$Q = V_{eff} . I_{eff} . sin\emptyset = \ I_{eff} X^2 X = \frac{V_{eff\,x}{}^2}{x}$ ……...…… ... (2.16)

$S = V_{eff} . I_{eff} \ = \ I_{eff} z^2 Z = \frac{V_{eff\,z}{}^2}{Z}$ ……...…… (2.17)

$pf \ = cos\emptyset = \frac{R}{Z} = \frac{P}{S}$ ……..…..…… (2.18)

dengan R = hambatan (ohm)

X = reaktansi (ohm)

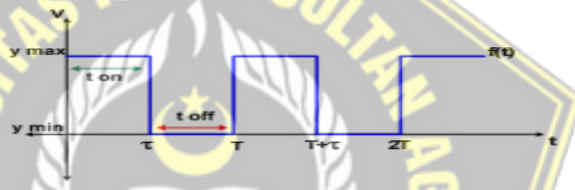
Z = impedansi (ohm)

2.2.6. *Pulse Width Modulation* (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu perioda, untuk mendapatkan

tegangan rata-rata yang berbeda. Beberapa contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, audio effect dan penguatan. Aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya berupa pengendalian kecepatan motor DC, pengendalian motor servo, pengaturan nyala terang LED [4].

Modulasi lebar pulsa (PWM) dicapai/diperoleh dengan bantuan sebuah gelombang kotak yaitu siklus kerja (duty cycle). Gelombang dapat diubah-ubah untuk mendapatkan sebuah tegangan keluaran yang bervariasi yang merupakan nilai rata-rata dari gelombang tersebut. PWM pada dasarnya adalah menyalakan (ON) dan mematikan (OFF) motor DC dengan cepat, mengatur berapa lama waktu ON dan OFF [5]. Gambar 2.12 merupakan waktu on (T_{on}) adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi tinggi (*high* atau 1) dan, waktu off (T_{off}) adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi rendah (low atau 0).

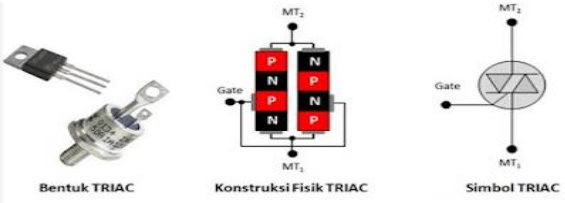


Gambar 2.12. Gelombang Kotak (Pulsa) PWM

2.2.7. Triac, Diac, Photocell dan Optocoupler

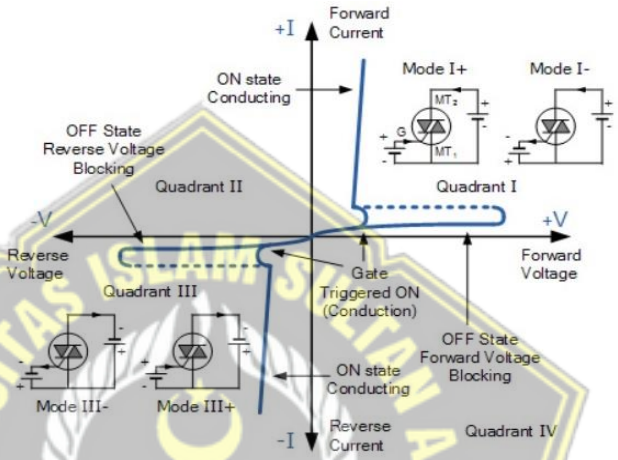
a. Triac

Triac adalah perangkat semikonduktor berterminal tiga berfungsi sebagai pengendali arus listrik. Triac memiliki kemampuan dapat mengalirkan arus listrik kedua arah ketika dihidupkan [6]. Terminal gate triac hanya memerlukan arus relatif rendah untuk dapat mengendalikan aliran arus listrik AC yang tinggi dari dua arah terminalnya, triac sering juga disebut dengan *bidirectional triode thyristor*. Bentuk triac, konstruksi fisik dan simbol diperlihatkan gambar 2.13.



Gambar 2.13. Triac

Gambar 2.14. memperlihatkan karakteristik triac, pada kuadran I di mana tegangan positif +V dan arus positif +I (sumbu x dan y), triac biasanya ditrigger menjadi konduksi (ON) oleh arus gerbang yang bernilai positif, sebagai mode I+. Tetapi itu juga bisa ditrigger oleh arus gerbang negatif, dengan mode I–. Pada kuadran III, mentrigger gate dengan arus gerbang negatif (–IG), mode III– bersama dengan mode III+. Mode I– dan III+, memerlukan arus gerbang yang lebih besar untuk menyebabkan pentrigeran mode pemicuan triac yaitu mode I + dan III–.



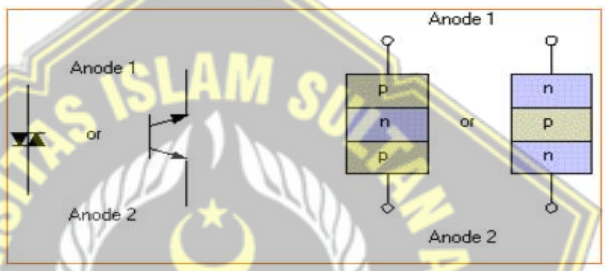
Gambar 2.14. Karakteristik Triac

Prinsip kerja triac adalah triac akan terhubung (on) ketika berada di quadran 1 yaitu saat arus positif kecil melewati terminal gate ke MT1 dan polaritas MT2 lebih tinggi dari MT1, saat triac terhubung dan rangkaian gate tidak memegang kendali, maka triac tetap tersambung selama polaritas MT2 tetap lebih tinggi dari MT1 dan arus yang mengalir lebih besar dari arus genggamnya. Triac juga akan tersambung saat arus negatif melewati terminal gate ke MT1 dan polaritas MT1 lebih tinggi dari MT2, dan triac akan tetap terhubung walaupun rangkaian gate tidak memegang kendali selama polaritas MT1 lebih tinggi dari MT2 dan arus yang mengalir lebih besar dari arus genggamnya, selain dengan cara memberi pemicuan melalui terminal gate, triac juga dapat dibuat tersambung (on), dengan cara memberikan tegangan yang tinggi sehingga melampaui tegangan *breakover*-nya terhadap terminal MT1 dan MT2, cara ini tidak diijinkan karena dapat menyebabkan triac akan rusak. Pada saat triac tersambung (on) maka tegangan

jatuh maju antara terminal MT1 dan MT2 sangat kecil yaitu berkisar antara 0.5 volt sampai dengan 2 volt [6].

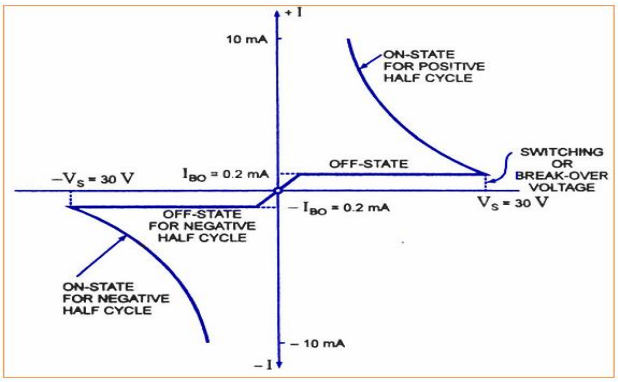
b. Diac

Diac adalah komponen aktif elektronika memiliki dua terminal dapat menghantar arus listrik dari kedua arah jika tegangan melampui batas *breakover*-nya. Diac merupakan anggota dari keluarga thyristor, namun berbeda dengan thyristor pada umumnya yang hanya menghantarkan arus listrik dari satu arah, diac memiliki fungsi dapat menghantarkan arus listrik dari kedua arahnya atau biasanya disebut *bidirectional thyristor*. Diac biasanya digunakan sebagai pembantu untuk memicu triac dalam rangkaian AC *switch* [7]. Gambar 2.15 memperlihatkan konstruksi diac.



Gambar 2.15. Diac

Karakteristik diac diperlihatkan pada gambar 2.16 diac dibangun seperti transistor tetapi tidak memiliki koneksi dasar yang memungkinkannya untuk dihubungkan ke sirkuit dalam polaritas baik. Dioda yang melakukan setelah tegangan *Break-Over*, VBO terlampaui. Ketika perangkat melampaui tegangan *break-over* ini, ia memasuki wilayah resistensi dinamis negatif. Menghasilkan penurunan tegangan dioda dengan meningkatnya tegangan [6].



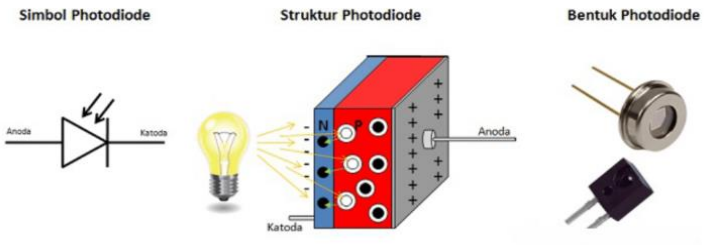
Gambar 2.16. Karakteristik Diac

Dengan demikian ada peningkatan tajam dalam tingkat arus yang dilakukan oleh perangkat. Karakteristik diac IV diatas kurva yang diac blok aliran arus di kedua arah sampai tegangan yang diterapkan lebih besar dari VBR, di mana titik kerusakan perangkat terjadi dan diac melakukan banyak hal dengan cara yang sama dengan zener dioda melewati pulsa tegangan tiba-tiba. Titik VBR ini disebut tegangan tembus atau tegangan breakover diac [6].

Prinsip kerja diac hampir sama dengan dua dioda yang dipasang paralel berlawanan seperti gambar 2.15 apalagi tegangan yang memilki polaritas diberikan ke diac, dioda yang disebelah kiri akan menghantarkan arus listrik jika tegangan positif yang diberikan melebihi tegangan *breakover* diac. Sebaliknya, apabila diac diberikan tegangan positif yang melebihi tengangan *breakover* diac dari arah yang berlawanan,maka dioda sebelah kanan akan menghantarkan arus listrik. Setelah diac dijadikan kekondisi on dengan menggunakan tegangan positif ataupun negatif, diac akan terus menghantarkan arus listrik sampai tegangannya dikurangi hingga 0 (nol) atau hubungan pemberian listrik diputuskan [6].

c. Photodioda

Photodiode adalah komponen elektronika yang dapat mengubah cahaya menjadi arus listrik. Dioda foto merupakan komponen aktif yang terbuat dari bahan semikonduktor dan tergolong dalam keluarga dioda. *Photodiode* atau dioda foto memiliki dua kaki terminal yaitu kaki terminal katoda dan kaki terminal anoda, dioda foto memiliki lensa dan filteroptik yang terpasang dipermukaannya sebagai pendeteksi cahaya. Cahaya yang dapat dideteksi oleh dioda foto yaitu cahaya matahari, cahaya tampak, sinar inframerah, sinar ultra-violet hingga sinar X [8]. Gambar 2.17 adalah bentuk dan simbol *photodioda.*



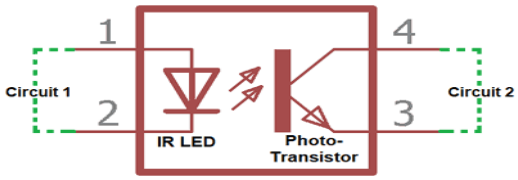
Gambar 2.17. Bentuk dan Simbol Photodioda

Prinsip kerja *photodioda* adalah *photodioda* terdiri dari satu lapisan tipis semikonduktor tipe-N yang memiliki kebanyakan elektron dan satu lapisan tebal semikonduktor tipe-P yang memiliki kebanyakan hole. Lapisan semikonduktor tipe-N adalah katoda sedangkan lapisan semikonduktor tipe-P adalah anoda. Saat *photodioda* terkena cahaya, foton yang merupakan partikel terkecil cahaya akan menembus lapisan semikonduktor tipe-N dan memasuki lapisan semikonduktor tipe-P.

Foton-foton tersebut kemudian akan bertabrakan dengan elektron-elektron yang terikat sehingga elektron tersebut terpisah dari intinya dan menyebabkan terjadinya hole. Elektron terpisah akibat tabrakan dan berada dekat persimpangan PN (PN *junction*) akan menyeberangi persimpangan tersebut ke wilayah semikonduktor tipe-N, menghasilkan elektron akan bertambah disisi semikonduktor N sedangkan sisi semikonduktor P akan kelebihan *hole*. Pemisahan muatan positif dan negatif ini menyebabkan perbedaan potensial pada persimpangan PN. Ketika dihubungkan sebuah beban ataupun kabel ke katoda (sisi semikonduktor N) dan anoda (sisi semikonduktor P), elektron akan mengalir melalui beban atau kabel tersebut dari katoda ke anoda disebut sebagai aliran arus listrik [9].

d. Optocoupler

Optocoupler berfungsi sebagai penghubung pada rangkaian yang berdasarkan cahaya, tipe lampu yang digunakan adalah lampu LED *infrared*, dan sensor pendeteksinya *photo resistor / photo transistor*. Penggunaan *optocoupler* pada rangkaian adalah agar tidak terjadi arus balik yang dapat merusak komponen yang tidak kuat dengan tegangan tinggi dari arus balik [10]. *Optocoupler* ditunjukkan pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18. *Optocoupler*

Sebagai contoh *relay module* menggunakan *optocoupler* agar tegangan balik dari *coil relay* tidak sampai ke *microcontroller* yang hanya mampu menerima 5V, sedangkan tegangan balik dari *coil relay* bisa melebihi 5V, dengan *optocoupler* tegangan lebih dari *coil relay* tidak akan sampai ke *microcontroller* karena optocoupler akan mengirimkan sinyalnya tidak berupa arus listrik yang terkirim lewat kabel, melainkan terkirim melalui cahaya lampu yang diterima oleh sensor pendeteksi lampu [10].

2.2.8. Perhitungan Daya untuk Air Conditioner (AC)

Pada saat menentukan kebutuhan Paard Kracht/Daya Kuda/Horse Power atau yang dikenal sebagai PK pada *Air Conditioner* (AC) di suatu ruangan, terdapat tiga faktor yang perlu diperhatikan meliputi daya pendingin AC (BTU/hr – *British Thermal Unit per hour*), daya listrik yang dipakai (*Watt*), dan PK *compressor* AC. PK adalah satuan daya pada *compressor* AC bukan daya pendingin AC. Namun, saat ini satuan PK lebih dikenal dari pada BTU/hr [11]. Untuk menghitung dan menyesuaikan daya pendingin AC maka perlu mengkonversi satuan PK menjadi satuan BTU/hr menggunakan Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Konversi Satuan PK ke BTU/hr dan Daya

PK	BTU/*hour*	Daya (*Watt*)
1/2	± 5000	400
3/4	± 7000	600
1	± 9000	840
1½	± 12000	1170
2	± 18000	1920

Penentuan kapasitas AC sangat diperlukan untuk mengurangi konsumsi energi listrik pada gedung, meningkatkan fungsionalitas sistem kontrol dan kenyamanan termal dalam ruangan. Persamaan (2.19) digunakan untuk menentukan kapasitas AC dalam suatu ruangan [11].

$$BTU = (L \times W \times H \times F1 \times 37) + (F2 \times n_h) \quad (2.19)$$

Keterangan :

L = panjang ruangan (m)

W = lebar ruangan (m)

H = tinggi ruangan

F1 = faktor penggunaan ruangan

(untuk kamar tidur bernilai 5, kantor bernilai 6 dan supermarket bernilai 7)

F2 = faktor penghuni ruangan (anak-anak bernilai 300 BTU sedangkan orang dewasa bernilai 600 BTU)

n_h = jumlah manusia yang berada di dalam ruangan.

Setelah diperoleh nilai BTU dengan menggunakan persamaan (2.19), maka kapasitas AC yang diperlukan dalam satuan PK dapat ditentukan dengan menggunakan data pada tabel 2.2. Selanjutnya, untuk menentukan kebutuhan daya listrik AC dapat digunakan persamaan (2.20).

$$P_{AC\ ruangan} = NxP_{AC} \quad (2.20)$$

Keterangan :

P_{AC} = daya listrik pada AC nilainya dipengaruhi oleh kapasitas AC yang digunakan.

$P_{ACruangan}$ = total daya AC yang diperlukan dalam suatu ruangan (Watt). Untuk menentukan nilai P_{AC} digunakan tabel 2.2.

2.2.9. Logika Fuzzy

Logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output. Bahasa yang dipakai dalam logika fuzzy adalah bahasa yang biasanya dipakai oleh manusia (*variable linguistic*) sehingga akan lebih mudah untuk dipahami. Himpunan fuzzy merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel fuzzy. Himpunan fuzzy memiliki 2 (dua) atribut [18], yaitu:

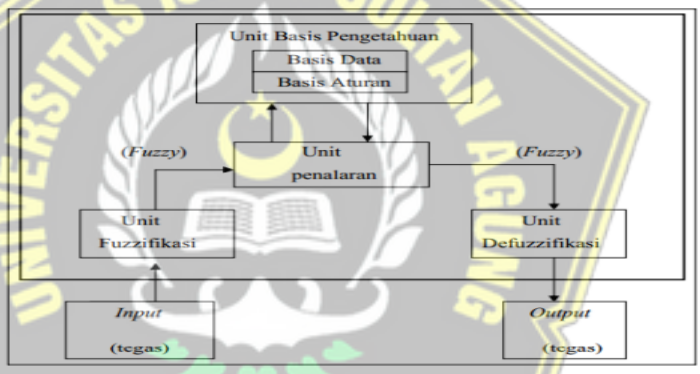
a) Linguistik, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami : muda, parobaya, tua.

b) Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukan ukuran dari suatu variabel seperti: 40, 25, 50, dan sebagainya.

Operasi yang didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasi dan memodifikasi himpunan fuzzy. Nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi 2 himpunan sering dikenal dengan nama fire strength atau α-predikat [18]. Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi persamaan (2.21).

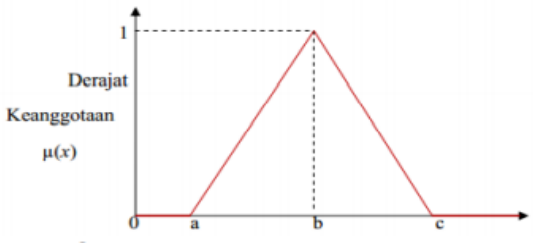
IF x is A THEN y is B……..…… (2.21)

Fungsi Min (Minimum) akan memotong output himpunan fuzzy. Sistem Inferensi Fuzzy yaitu sistem komputasi yang bekerja atas dasar prinsip penalaran fuzzy seperti pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19. Struktur Dasar Suatu Sistem Inferensi Fuzzy.

Hasil pengukuran yang telah difuzzykan itu kemudian diproses oleh unit penalaran, yang dengan menggunakan unit basis pengetahuan, menghasilkan himpunan-himpunan fuzzy sebagai keluarannya. Langkah terakhir unit defuzzifikasi yaitu menerjemahkan himpunan-himpunan keluaran itu kedalam nilai (nilai-nilai) yang tegas. Jika diberikan suatu himpunan fuzzy dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai crisp tertentu sebagai output [18]. Representasi kurva segitiga pada dasarnya adalah gabungan antara dua representasi linear (representasi linear naik dan representasi linear turun) seperti pada gambar 2.20.



Gambar 2.20. Kurva Segitiga.

Fungsi keanggotaan :

$\mu[X] = 0\ jika\ x \leq a$ ……..……..... (2.22)

$\mu[X] = \frac{x-a}{b-a}\ jika\ a \leq x \leq b$ ……..……..... (2.23)

$\mu[X] = \frac{c-x}{c-b}\ jika\ x \geq b$ ……..…..... (2.24)

2.2.10. Perhitungan Energi Listrik

Sumber energi seperti tegangan listrik akan menghasilkan daya listrik sedangkan beban yang terhubung dengannya akan menyerap daya listrik tersebut. Hubungan antara daya, tegangan, arus dan faktor daya dapat dituliskan dengan persamaan (2.8).

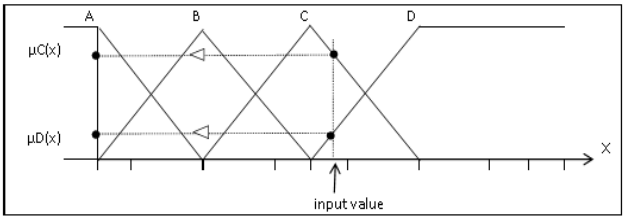
Harga listrik yang harus dibayar sesuai dengan pemakaian energi listrik dapat dituliskan dengan menggunakan persamaan (2.25).

Biaya = energi yang terpakai x TDL (tarif dasar listrik) ……. (2.25)

a. Fuzzyfikasi

Fuzzyfikasi merupakan proses memetakan nilai crisp (tegas) ke dalam himpunan fuzzy dan menentukan derajat keanggotaannya didalam himpunan fuzzy.

Prinsip proses fuzzifikasi diperlihatkan pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21. Prinsip Proses Fuzzyfikasi.

Gambar 2.21. menjelaskan bahwa melalui proses fuzzifikasi, satu nilai input tegas yang berada pada fungsi keanggotaan C dan D diubah menjadi nilai fuzzy yang memiliki dua derajat keanggotaan $\mu_C(X)$ dan $\mu_D(X)$. Ada beberapa metode untuk merepresentasikan hasil logika fuzzy yaitu metode Tsukamoto, Sugeno dan Mamdani. Pada metode Tsukamoto, setiap konsekuen direpresentasikan dengan himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan monoton. Output hasil inferensi masing-masing aturan adalah z, berupa himpunan biasa (*crisp*) yang ditetapkan berdasarkan predikatnya. Hasil akhir diperoleh dengan menggunakan rata-rata terbobotnya [19].

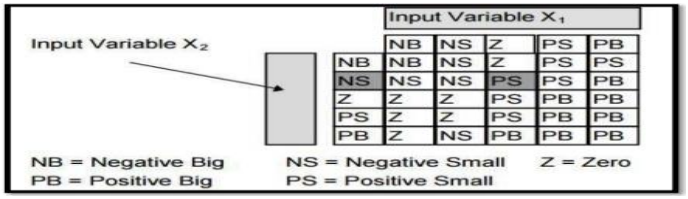
b. Basis Kaidah

Basis kaidah berisi pengetahuan empirik yang berkaitan dengan operasi dari proses yang akan dikendalikan. Basis kaidah terdiri dari sejumlah aturan fuzzy If–Then, yang dapat diterapkan dengan mudah oleh pernyataan kondisi pada logika fuzzy . Struktur dasar basis kaidah logika tersamar ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Struktur Dasar Basis Kaidah Logika Tersamar.

$Rule_1$: if condition P_1 then conclusion C_1
$Rule_2$: if condition P_2 then conclusion C_2
$Rule_3$: if condition P_3 then conclusion C_3
...
$Rule_n$: if condition P_n then conclusion C_n

Jika terdapat dua variabel masukan dan satu variabel keluaran, dan kedua variabel masukan dikombinasikan dengan satu operator "And", maka basis kaidah dapat dituliskan dalam bentuk matrik [19], dimana nilai variabel masukan dinyatakan dalam bentuk kolom dan baris, dan isi matrik merupakan nilai variabel keluaran seperti pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22. Bentuk Matrik Basis Kaidah dengan Dua Variabel Input.

c. Metode Fuzzy Mamdani

Metode Fuzzy Mamdani sering juga dikenal dengan nama metode M_{ax}-M_{in}. Untuk medapatkan output diperlukan beberapa tahapan, yaitu:

1. Pembentukan himpunan fuzzy Pada Metode Mamdani, baik variabel input maupun variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy.
2. Aplikasi fungsi implikasi Pada metode mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah M_{in}
3. Komposisi aturan Tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan kolerasi antar aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem fuzzy, yaitu max, *additive* dan *probabilistik* OR (*probor*).

   Metode Max (Maximum) mengambil solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah fuzzy, dan mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operator OR (*union*). Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka output akan berisi suatu himpunan fuzzy yang merefleksikan kontribusi dari tiap – tiap proporsi, ditunjukkan pada persamaan (2.26).

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \left(\mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i]\right) \quad \text{.....(2.26)}$$

$\mu_{sf}[x_i]$ = nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i

$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen fuzzy sampai aturan ke-i

Metode additive (*sum*) mengambil solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan *bounded – sum* terhadap semua *output* daerah fuzzy. Secara umum dituliskan pada persamaan (2.27).

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \left(1, \mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i]\right) \quad \text{.....(2.27)}$$

Metode probabilistik (*probor*) mengambil solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara melakukan *product* terhadap semua output daerah fuzzy.

Secara umum dituliskan pada persamaan (2.28)

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow (\mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i]) - (\mu_{sf}[x_i] * \mu_{kf}[x_i]) \text{ ……..…… (2.28)}$$

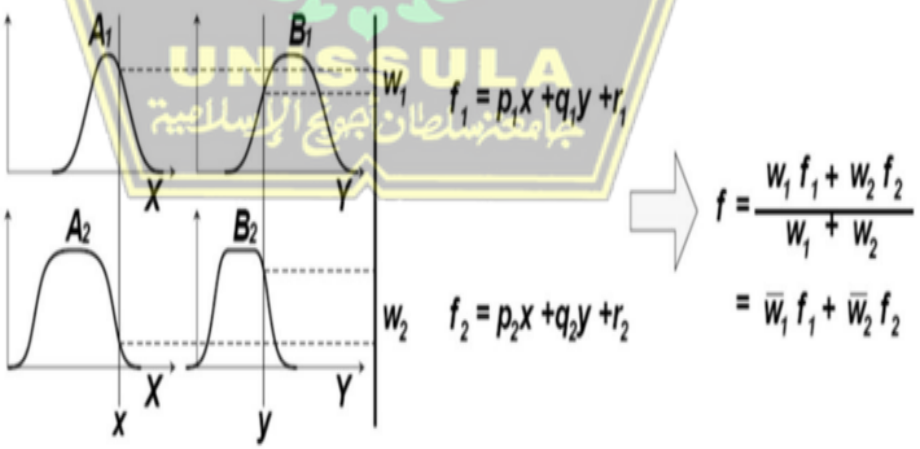
d. Metode Fuzzy Sugeno

Metode fuzzy Sugeno mirip dengan metode fuzzy Mamdani, hanya output (konsekuen) tidak berupa himpunan fuzzy, melainkan berupa konstanta atau persamaan liniar. Ada dua model metode Sugeno yaitu model fuzzy sugeno orde nol dan model fuzzy sugeno orde satu. Bentuk umum model fuzzy sugeno orde nol, seperti ditunjukkan pada persamaan (2.29) dan bentuk umum model fuzzy Sugeno orde satu pada persamaan (2.30).

IF (x1 is A1) o (x2 is A2) o ….. o (xn is An) THEN z = k ……...……(2.29)

IF (x1 is A1) o (x2 is A2) o … o (xn is An) THEN z = p1.x1+ … pn.xn+q.... (2.30)

Defuzzifikasi metode Sugeno dilakukan dengan mencari nilai rata-ratanya. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.23. Model Fuzzy Sugeno Orde 1(satu).

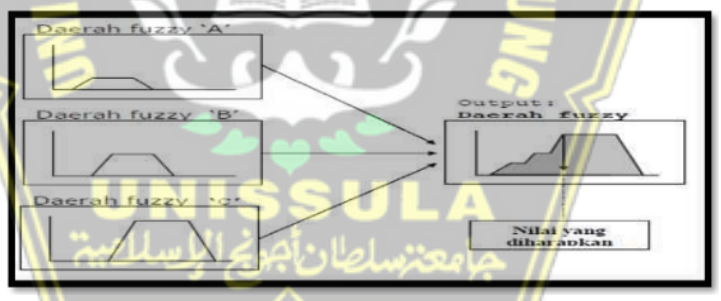
Perbedaan fuzzy mamdani dan sugeno ditunjukkan pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Perbedaan Fuzzy Mamdani Dan Sugeno

Metode Mamdani	Metode Sugeno
Fungsi keanggotaan *output* ada	Tidak ada fungsi keanggotaan *output*
Output dari permukaan terputus-putus	*Output* dari permukaan terus menerus (*kontinu*)
Melalui defuzzifikasi aturan konsekuen diperolah hasil yang sesuai	Tidak ada defuzzifikasi. Dengan menggunakan rata-rata dari aturan konsekuen diperoleh hasil yang sesuai
Mamdani memiliki lebih sedikit fleksibilitas dalam desain sistem	Sugeno memiliki lebih banyak fleksibilitas dalam desain sistem
Memiliki akurasi yang lebih tinggi dalam evaluasi keamanan *algoritma block cipher*	Memiliki akurasi yang lebih rendah dalam evaluasi keamanan *algoritma block cipher*
Digunakan dalam sistem MISO (*Multiple Input and Single Output*) dan MIMO (*Multiple Input and Multiple Output*)	Hanya digunakan dalam sistem MISO (*Multiple Input and Single Output*)
Sistem inferensi Mamdani sangat cocok untuk input manusia	Sistem inferensi Sugeno sangat cocok untuk analisis matematis

e. Penegasan (*defuzzyfukasi*)

Input dari proses *defuzzyfikasi* adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada *domain* himpunan fuzzy tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan fuzzy dalam range tertentu sebagai *output* seperti terlihat pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24. Proses *Defuzzifikasi*.

Ada beberapa metode defuzzifikasi pada komposisi aturan mamdani, antara lain :

a. Metode *Centroid* (*Composite Moment*). Pada metode *centroid* solusi i diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah fuzzy.
b. Metode Bisektor. Pada metode bisektor solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain yang memiliki nilai keanggotaan separo dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah fuzzy.

c. Metode *Mean of Maximum* (MOM). Pada metode *mean of maximum* solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.
d. Metode *Largest of Maximum* (LOM). Pada metode *largest of maximum* solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.
e. Metode *Smallest of Maximum* (SOM). Pada metode *smallest of maximum* solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

2.2.11. Audit Energi

Audit energi dapat didefinisikan sebagai suatu proses untuk mengevaluasi penggunaan energi pada suatu bangunan dan mengidentifikasi peluang untuk melakukan efisiensi. Besarnya biaya yang diperlukan dalam suatu proses audit energi berhubungan langsung dengan jenis dan ruang lingkup audit yang akan dilakukan. Audit energi rinci dilakukan apabila harga IKE (Indeks Kriteria Energi) yang diperoleh dari proses audit energi awal ternyata tidak sesuai dengan baku mutu yang berlaku, sehingga perlu dicari peluang penghematan untuk menurunkan nilai IKE tersebut. Proses audit energi rinci membutuhkan sejumlah pengukuran seperti tingkat pencahayaan dan kondisi termal ruangan serta pengukuran profil pemakaian energi listrik selama waktu tertentu. Selanjutnya, untuk mencari peluang-peluang penghematan energi (PHE) dapat dilakukan simulasi konsumsi energi menggunakan perangkat lunak dengan beberapa parameter, sehingga dapat dicari peluang penghematan penghematan energi yang optimal, sebelum diterapkan dalam kondisi nyata pada bangunan gedung [20].

Proses audit energi merupakan langkah awal dalam mengidentifikasi potensi-potensi penghematan energi. Audit ini akan menghasilkan data penggunaan energi yang dapat digunakan sebagai acuan dalam program efisiensi energi. Secara otomatis, hasil audit juga akan memberikan informasi mengenai langkah-langkah yang tepat untuk menjalankan program efisiensi energi. Proses ini juga menjadi dasar dari penentuan target efisiensi yang akan menjadi acuan dalam penyusunan

rencana aksi yang akan berisi berbagai rekomendasi penghematan energi. Dengan melihat kajian secara historis, dapat ditetapkan dasar untuk mengidentifikasi sektor-sektor yang tinggi penggunaan energinya serta pengaruhnya terhadap peta penggunaan energi. Informasi ini berguna untuk menentukan prioritas penghematan energy juga untuk memberikan gambaran pola penggunaan energi bangunan gedung [20].

Audit energi awal pada prinsipnya dapat dilakukan pemilik/pengelola bangunan gedung yang bersangkutan berdasarkan data rekening pembayaran energi yang dikeluarkan dan pengamatan visual. Kegiatan audit energi awal meliputi pengumpulan data energi bangunan gedung dengan data yang tersedia dan tidak memerlukan pengukuran. Data tersebut meliputi:

a. Dokumentasi bangunan yang dibutuhkan adalah gambar teknik bangunan sesuai pelaksanaan konstruksi (*as built drawing*), terdiri dari :
   - Tapak, denah dan potongan bangunan gedung seluruh lantai.
   - Denah instalasi pencahayaan bangunan seluruh lantai.
   - Diagram satu garis listrik, lengkap dengan penjelasan penggunaan daya listriknya dan besarnya penyambungan daya listrik PLN serta besarnya daya listrik cadangan dari *Diesel Generating Set*.
b. Pembayaran rekening listrik bulanan bangunan gedung selama satu tahun terakhir.
c. Tingkat hunian bangunan (*occupancy rate*)

Berdasarkan data di atas, selanjutnya dapat ditentukan :

a. Rincian luas bangunan gedung dan luas total bangunan gedung (m^2).
b. Konsumsi Energi bangunan gedung per tahun (kWh/tahun).
c. Intensitas Konsumsi Energi (IKE) bangunan gedung per tahun (IKE = kWh/m^2 / tahun)
d. Biaya energi bangunan gedung (Rp/kWh).

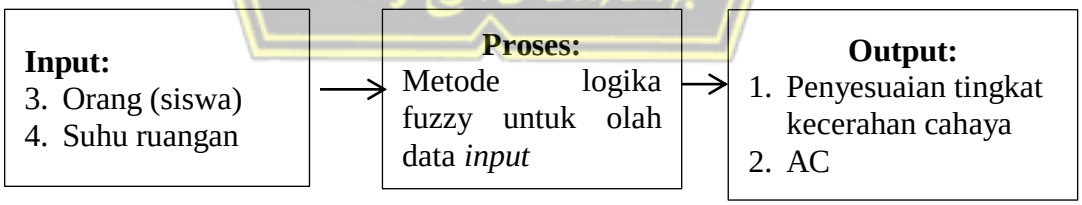
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Model Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengatur dan mengendalikan pemakaian energi listrik yang efektif dan efisien sehingga menurunkan tagihan listrik. Solusi yang diberikan penulis membuat *Prototype* Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis Fuzzy, perangkat yang mendukung dalam penelitian ini adalah : ESP 32, IR *Reflective Photocell*, Catu Daya, DHT11, *Relay*, Sensor AC *Light Dimmer* dan OLED (Ukuran 0,96 inchi).

Prinsip kerja alat ini adalah sebagai berikut : mengontrol penggunaan alat pendingin ruangan (AC) yang disesuaikan dengan jumlah orang dalam ruangan tersebut agar terasa nyaman serta pengontrol pencerahan lampu ruangan. Sehingga tidak perlu menyalakan atau mematikan AC dan lampu dengan saklar dan *remote* AC akan tetapi secara otomatis dapat berfungsi jika ruangan tersebut digunakan.

Metode penelitian yang akan digunakan dengan menggunakan metode logika fuzzy dimana jika dalam suatu ruangan yang sudah berpenghuni dan suhu dalam ruangan tersebut diatas 20°C maka AC akan menyala demikian juga dengan terang redup lampu dalam ruangan tersebut, dan apabila ruangan sudah tidak digunakan maka lampu dan AC akan mati dengan sendirinya. Model penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Model Penelitian.

Gambar 3.1 menjelaskan bahwa:

a. Pada saat *prototype* akan memproses data, tahapan awal yang di perlukan adalah *prototype* memerlukan proses input, yaitu : adanya orang (siswa) yang

masuk dalam ruangan tersebut dan kondisi suhu dalam ruangan jika masih dibawah 25°C maka AC tidak menyala tetapi jika diatas 25°C maka AC akan menyala.

b. Setelah input diterima proses selanjutnya adalah memproses data *input* tersebut, menghitung banyaknya manusia (siswa) yang masuk dan atau yang keluar ruangan kemudian menganalisis dengan logika fuzzy untuk menentukan keefektifan energi listrik yang digunakan.

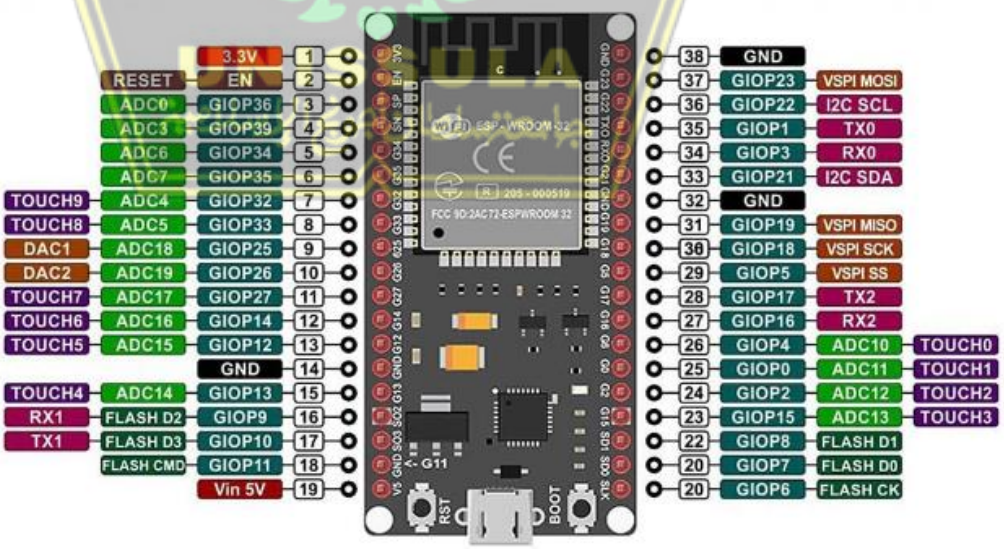
c. *Output* yang di berikan akan di kelola oleh *website* yang bertugas untuk menampilkan seluruh data jumlah manusia (siswa) suhu ruangan dan kelembaban ruangan.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Kebutuhan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. ESP 32

ESP 32, ditunjukkan Gambar 3.2. adalah mikrokontroler yang dikenalkan oleh *Espressif System* merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Pada mikrokontroler ini sudah tersedia modul WiFi dalam chip sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem aplikasi *Internet of Things* [21].



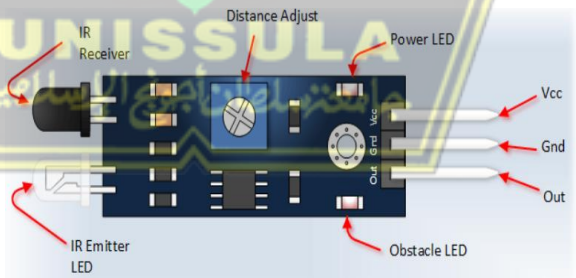
Gambar 3.2. ESP 32.

Efektifitas penggunaan ESP 32 pada *prototype* ini adalah prosesor lebih cepat dengan *clock* 240 MHz, jumlah *core* lebih banyak, ESP 32 mempunyai 2 *core*, memiliki *flash memory* sebesar 1 MB sampai 16 MB, memori RAM 520 KB, memiliki kemampuan nirkabel *wifi* dan *bluetooth*.

b. IR *Reflective Photocell*

Salah satu sensor yang dapat digunakan untuk membaca perubahan intesitas cahaya yang dipantulkan oleh suatu benda adalah sensor IR. Pada sensor IR terdapat dua bagian penting yaitu LED yang berperan sebagai *transmitter emmiter* dan *photodiode* sebagai *receiver reflector* [22].

Infrared (IR) detektor atau sensor infra merah adalah komponen elektronika yang dapat mengidentifikasi cahaya infra merah /IR. Sensor infra merah atau detektor infra merah saat ini ada yang dibuat khusus dalam satu modul dan dinamakan sebagai IR *Detector Photomodules*. IR *Detector Photomodules* merupakan sebuah chip detektor infra merah digital Lampu LED pemancar infra merah memancarkan infra merah, jika infra merah menabrak sesuatu benda didepannya maka akan terpantul sebagian. Pantulan sinar infra merah yang berbalik arah akan mengenai sensor infra merah berjenis *photodioda* yang mana akan *photodioda* akan memberikan sinyal bahwa ada benda di depan sensor [23]. Rangkaian IR diperlihatkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Rangkaian IR.

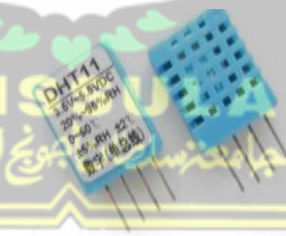
c. Catu Daya

Untuk mendapatkan sumber tegangan pada ESP 32 maka dapat diperoleh melalui catu daya eksternal ataupun langsung dihubungkan dengan USB komputer. Pada sumber eksternal atau non- USB daya dapat datang baik dari AC-DC adaptor

atau baterai. ESP 32 beroperasi dengan menggunakan sumber tegangan mulai dari 6 volt hingga 20 volt. Jika diberikan dengan kurang dari 6 volt menyebabkan pin 5 volt dapat menyuplai kurang dari 5 volt dan board mungkin tidak stabil. Jika menggunakan lebih dari 12 volt, *regulator* tegangan bisa panas dan merusak *board*. Rentang yang dianjurkan adalah 6 – 12 volt. *Lead* dari baterai dapat dimasukkan ke dalam *header pin Gnd* dan *Vin* dari konektor *power* dan untuk menghasilkan tegangan dan arus DC (arus searah) yang kostan dan stabil, diperlukan *voltage regulator* yang berfungsi untuk mengatur tegangan sehingga tegangan *output* tidak dipengaruhi oleh suhu, arus pada beban dan juga tegangan *input* yang berasal *output filter*. *Voltage regulator* pada umumnya terdiri dari dioda Zener, transistor atau IC (*Integrated Circuit*) [22].

d. DHT11

DHT-11 diperlihatkan pada Gambar 3.4. adalah chip tunggal kelembaban relatif dan multi sensor suhu yang terdiri dari modul yang dikalibrasi keluaran digital. Pada pengukuran suhu data yang dihasilkan 14 bit, sedangkan untuk kelembaban data yang dihasilkan 12 bit. Keluaran dari DHT-11 adalah digital sehingga untuk mengaksesnya diperlukan pemrograman dan tidak diperlukan pengkondisi sinyal atau ADC [24].



Gambar 3.4. DHT11

e. Relay

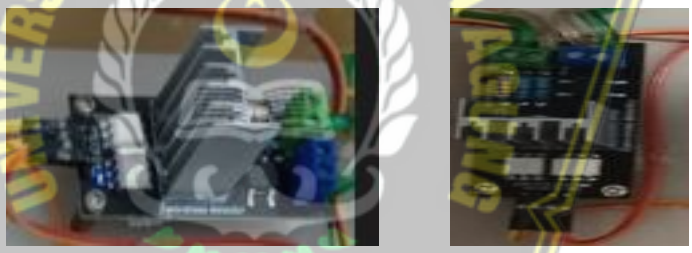
Relay dalam sistem yang dirancang difungsikan sebagai saklar pemutus *supply* listrik ke sisi beban, agar mikrokontroler dapat menggerakkan relay maka diperlukan rangkaian *driver relay*, dimana *driver* ini merupakan konfigurasi dari resistor, transistor dan dioda selain berfungsi sebagai *driver* rangkaian ini juga

berfungsi untuk isolasi agar arus balik dari *relay* tidak akan merusak mikrokontroler [25]. Bentuk *relay* ditunjukkan pada Gambar 3.5.

Gambar 3.5. *Relay*.

f. Sensor AC *Light Dimmer*

Sensor AC *Light dimmer* dirancang untuk mengontrol tegangan arus bolak-balik, yang dapat mentransfer arus hingga 600V / 16A. Gambar 3.6. adalah *circuit* yang dapat mengontrol jumlah tegangan AC yang akan diberikan ke perangkat apapun. AC *light dimmer module* adalah modul AC dimmer yang sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) dapat dikontrol langsung dengan mikrokontroler.



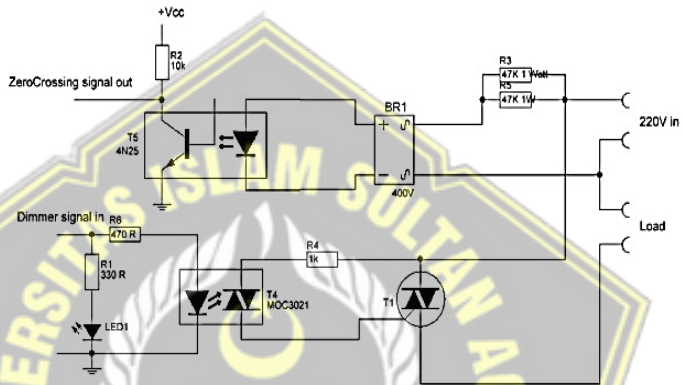
Gambar. 3.6. Sensor AC *Light Dimmer*.

Spesifikasi sensor AC *light dimmer* pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Spesifikasi Sensor AC *Light Dimmer*

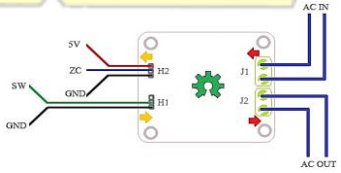
Power	600V – 16 A
AC frequency	50/60 Hz
TRIAC	BTA 16 600B
Isolation	*Ouptocopler*
Logic level	3.3V/5V
Zero point	*Logic level*
Modulation (PWM with triger)	*Logic level ON/OFF TRIAC*
Signal current	>10mA
Environment	*For indoor and outdor use* *Operating temeperature -20°C to 80°C*
Operating humidity	*Dry environment only*
ROHS3	*Compliant*

Fitur pin zero crossing detector di modul ini, membuat mikrokontroler dapat mengetahui timing yang tepat untuk mengirim sinyal PWM. Tanpa timing yang tepat, arus AC dengan TRIAC jika gatenya dicontrol PWM akan tidak bagus sinyal outputnya, menyebabkan *dimmer* tidak berfungsi dalam menghasilkan sinyal PSM (*pulse-skip modulation*) dengan kurva yang benar. Gambar rangkaian AC *light dimmer module* dapat di lihat di Gambar 3.7. Dimmer terhubung ke pengontrol ESP32 melalui dua pin digital. Pertama (*zero-crossing detector*) untuk mengontrol lewatnya *Phase Null* dari AC, yang digunakan untuk memulai sinyal interupsi. Kedua (DIM / PSM) untuk mengontrol arus (redup).



Gambar 3.7. Rangkaian AC *Light Dimmer*.

Dimmer berfungsi mengubah kecerahan cahaya dengan baik. Lampu perlahan-lahan MENYALA atau MATI, menciptakan suasana yang nyaman, paling efektif dengan lampu filamen [26]. Skematik dimmer ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Skematik Dimmer.

g. Dimmer PWM

Dimmer adalah rangkaian elektronik yang memodifikasi bentuk sinyal AC murni menjadi sinyal terpotong-potong sehingga daya keluaran bisa diatur.

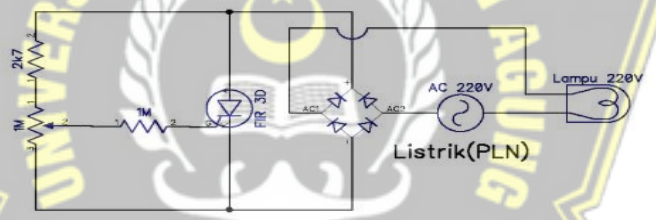
Pemotongan sinyal AC ini berguna sebagai peredup lampu. Dimmer yang lebih komplek menggunakan PWM sebagai pengendalinya. PWM bisa dihasilkan oleh rangkaian SCR, chip/IC PWM atau mikrokontroller. Dimmer PWM ini mampu menghasilkan tingkatan daya yang kecil, sehingga pengontrolan menjadi lebih presisi [12].

Dimmer PWM dikategorikan menjadi dua macam yaitu :

1. Penyalaan berdasarkan titik nol
2. Penyalaan bebas

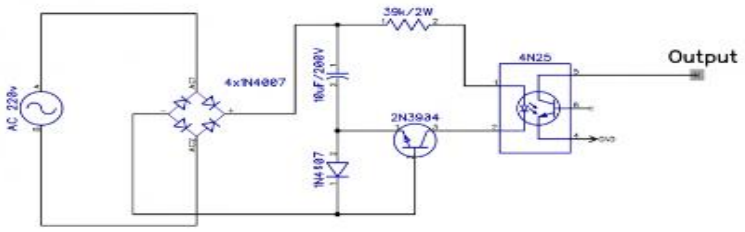
Penyalaan berdasarkan titik nol

Waktu penyalaan bergantung pada saat sinya menyentuh nilai nol, maka dibutuhkan mekanisme untuk mendeteksi waktu sinyal tersebut bernilai 0. Komponen SCR memiliki sifat *forward blocking*, *forward conduction*, dan *reverse blocking*, maka komponen ini cocok digunakan sebagai dimmer elektronik. Gambar 3.9 menjelaskan rangkaian dimmer lampu AC yang memanfatkan sifat SCR.

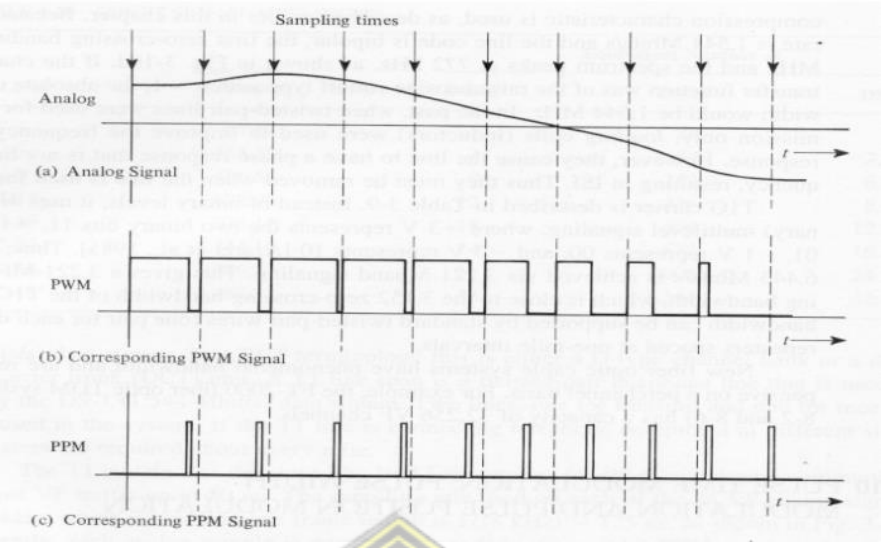


Gambar 3.9. Rangkaian Dimmer Lampu AC

Pada aplikasi dimmer digital, perlintasan titik nol dideteksi terlebih dahulu sebelum melakukan menyalaan, pendeteksian nilai nol bisa dilakukan dengan rangkaian zero crossing detector / ZCD diperlihatkan pada gambar 3.10. sedangkan sinyal PWM diperlihatkan pada gambar 3.11.

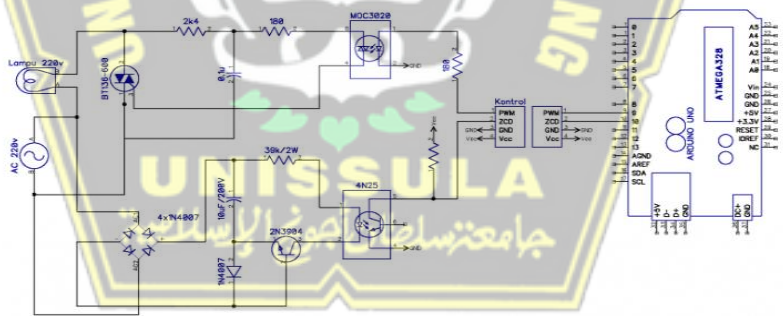


Gambar 3.10. Rangkaian Zero Crossing Detector



Gambar 3.11. Sinyal PWM

Penghasil sinyal PWM pada gambar 3.11 yang baik dengan arduino, karena mampu menghitung frekuensi dan melakukan penyesuaian apabila ada pergeseran frekuensi [4]. Rangkaian dimmer arduino dengan beban lampu diperlihatkan pada gambar 3.12. Modul dimmer lampu diperlihatkan pada gambar 3.13.



Gambar 3.12. Rangkaian Dimmer Arduino Dengan Beban Lampu

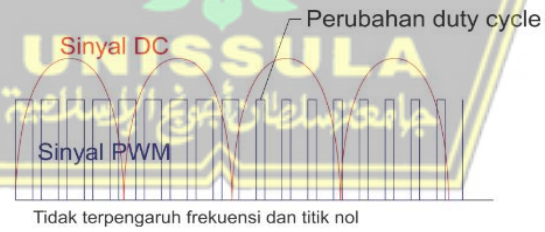
Gambar 3.13. Modul Dimmer Lampu

Penyalaan bebas

Waktu penyalaan dimmer tidak dipengaruhi oleh nilai nol, rangkaian melalui dioda disebut juga penyearah setengah gelombang, menghasilkan kondisi dimmer setengah terang. Rangkaian ini biasanya digunakan pada solder, heatgun untuk pemanasan awal. Gambar 3.14 memperlihatkan Rangkaian dimmer AC sederhana.

Gambar 3.14. Rangkaian Dimmer AC Sederhana

Pengaturan dimmer PWM lebih diutamakan pada frekuensi PWM-nya. Dimmer lampu akan terlihat berkedip jika frekuensi tidak sama. Untuk mengatasi pemasalahan tersebut rangkaian peredup lampu (Dimmer) didesain dengan penggunaan frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi sinyal AC tanpa memperhatikan waktu nol dan nilai frekuensinya [13]. Gambar 3.15. memperlihatkan sinyal PWM tidak terpengaruh frekuensi dan titik nol.

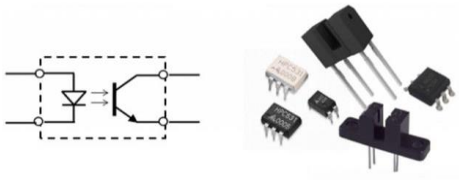


Gambar 3.15. Sinyal PWM Tidak Terpengaruh Frekuensi Dan Titik Nol

h. Optocoupler

Optocoupler adalah sebuah komponen elektronik yang menggunakan cahaya sebagai medium untuk mentransfer sinyal listrik antara dua rangkaian yang terisolasi. Salah satu fungsi utama *optocoupler* adalah untuk mencegah tegangan yang tinggi mempengaruhi rangkaian penerima sinyal [14].

Optocoupler digunakan pada rangkaian yang beroperasi pada tegangan rendah atau sangat sensitif terhadap *noise*. Fungsi *optocoupler* pada rangkaian tersebut adalah untuk mengisolasi rangkaian dan mencegah kemungkinan tabrakan listrik atau untuk mengecualikan *noise* yang tidak diinginkan. Simbol dan bentuk *optocoupler* digambar 3.16.



Gambar 3.16. Simbol dan Bentuk *Optocoupler*

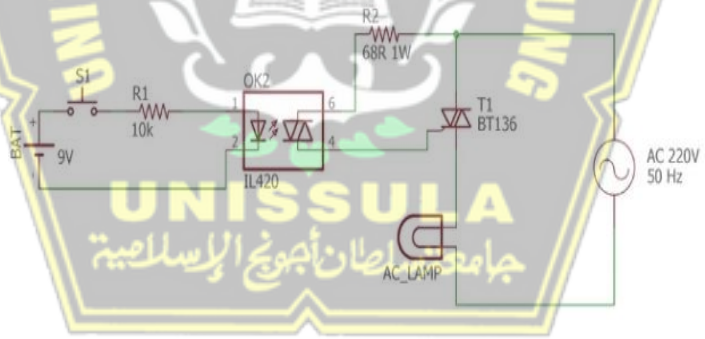
Optocoupler terdiri dari dua bagian utama, yakni *receiver* dan t*ransmitter*. *Receiver* berfungsi untuk mendeteksi sumber cahaya, sedangkan *transmitter* berfungsi sebagai pengirim cahaya optik. Kedua bagian tersebut tidak memiliki koneksi langsung dalam rangkaian *optocoupler*, keduanya dapat dihubungkan untuk membentuk sebuah komponen *optocoupler* yang utuh [15]. *Optocoupler* adalah kombinasi dari LED dan *photodioda*.

Gambar 3.17. Konstruksi *Optocoupler*

Pada gambar 3.17. konstruksi optocoupler, LED inframerah dan perangkat fotosensitif dikemas dalam satu paket. LED ditempatkan di sisi input dan komponen fotosensitif ditempatkan di sisi output. Resistansi juga dihubungkan pada awal rangkaian untuk membatasi arus, dan resistansi lainnya dihubungkan antara tegangan suplai dan terminal kolektor. Deskripsi pin *optocoupler* adalah Pin 1: Anoda; Pin 2: Katoda; Pin 3: Ground; Pin 4: Emitor; Pin 5: Kolektor dan Pin 6: Basis. Pada gambar 3.17. ketika ada tegangan tinggi di sisi input *optocoupler*, maka

arus akan mulai mengalir melalui LED. Karena arus ini, LED akan memancarkan cahaya. Cahaya yang dipancarkan tersebut ketika mengenai *phototransistor* akan menyebabkan arus mengalir melalui *phototransistor*. Arus yang mengalir melalui *phototransistor* akan berbanding lurus dengan tegangan input yang diberikan. *Resistansi* input yang ditempatkan di awal rangkaian akan mengurangi jumlah arus yang mengalir melalui LED jika nilainya ditingkatkan. Intensitas cahaya yang dipancarkan oleh LED akan sama dengan arus yang mengalir melalui *phototransistor*, artinya cahaya intensitas rendah yang dipancarkan oleh LED akan menyebabkan arus level rendah mengalir melalui *phototransistor*. Sehingga tegangan yang berubah dihasilkan melintasi terminal *kolektor-emitor* dari *transistor*, cara kerja *optocoupler* adalah sinyal masuk dari rangkaian input digabungkan ke rangkaian output [16].

Pada rangkaian gambar 3.18 LED digunakan sebagai saklar dan dikendalikan oleh baterai 9V melalui resistor 10k. *Optocoupler* berbasis *phototriac* digunakan untuk mengontrol AC *lamp* dari stopkontak AC 220V. Resistor 68R digunakan untuk mengontrol triac BT136 yang dikendalikan oleh *photo-triac* di dalam unit *optocoupler*.



Gambar 3.18. *Optocoupler* untuk Mengontrol Rangkaian AC menggunakan Tegangan DC

i. Webcam

Web camera adalah sebuah periferal berupa kamera sebagai pengambil citra/gambar dan mikropon (optional) sebagai pengambil suara / audio yang dikendalikan oleh sebuah komputer atau oleh jaringan komputer. *Motion sensing* web camera akan mengambil gambar ketika kamera mendeteksi gerakan. *Image*

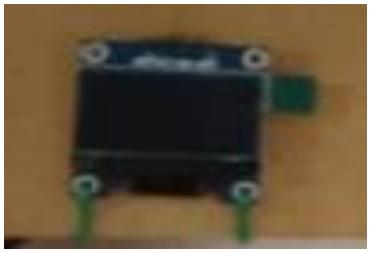
archiving pengguna dapat membuat sebuah arsip yang menyimpan semua gambar dari web camera atau hanya gambar-gambar tertentu saat *interval preset* [27].

Webcam adalah kamera video yang didesain untuk berhubungan dengan PC. Kamera bisa digunakan untuk merekam klip video yang bisa dikirim lewat *email* atau untuk mentransmisikan gambar secara langsung di internet untuk keperluan *video conferencing*. Webcam atau web camera adalah kamera digital yang terhubung dengan komputer dan terhubung dengan halaman web. Dengan menggunakan teknologi ini, maka kamera yang ada pada komputer akan memberikan informasinya yaitu berupa gambar yang dimunculkan melalui halaman web [28] ditunjukkan Gambar 3.19.

Gambar 3.19. Webcame.

j. OLED (Ukuran 0,96 inchi)

OLED LCD adalah salah satu media yang dapat digunakan sebagai *display output* untuk modul Arduino atau *controller* lainnya. Memiliki kelebihan yakni kontras pixel yang sangat tajam serta tidak membutuhkan cahaya *backlight* sehingga hemat dalam konsumsi daya. Kekurangan dari OLED adalah menggunakan *single colour* ukurannya yang relatif lebih kecil dari LCD Grafik atau dari LCD TFT [29]. OLED LCD ditunjukkan pada Gambar 3.20.



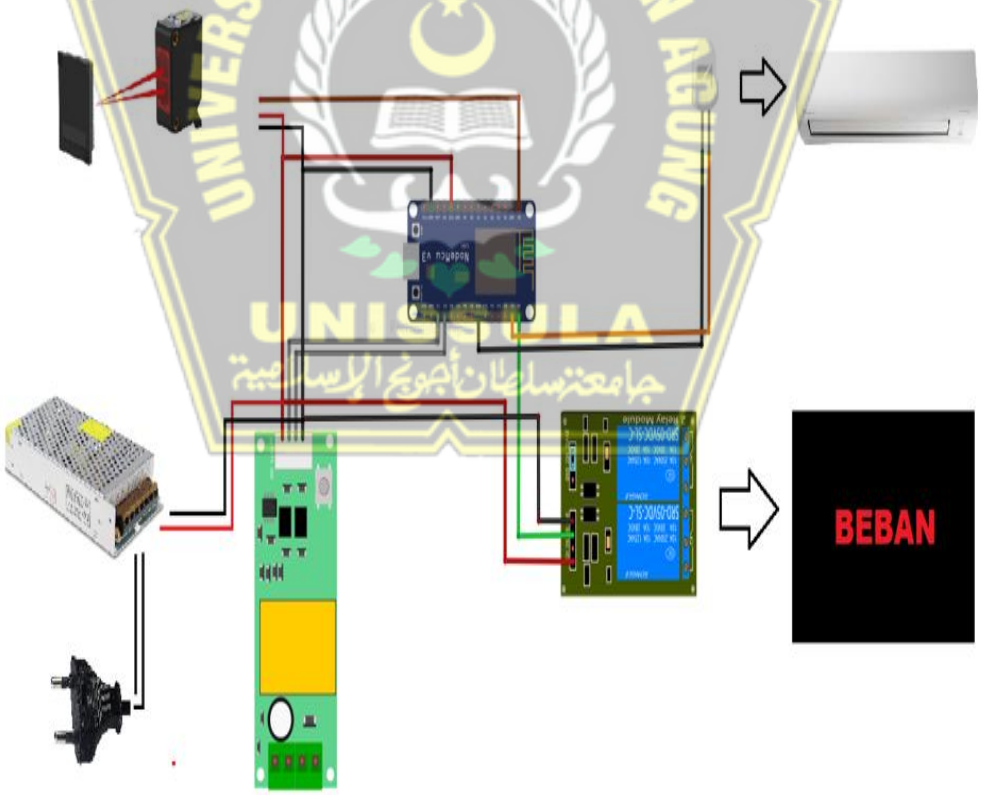
Gambar 3.20. OLED.

Spesifikasi dari OLED 0.96 inch adalah :

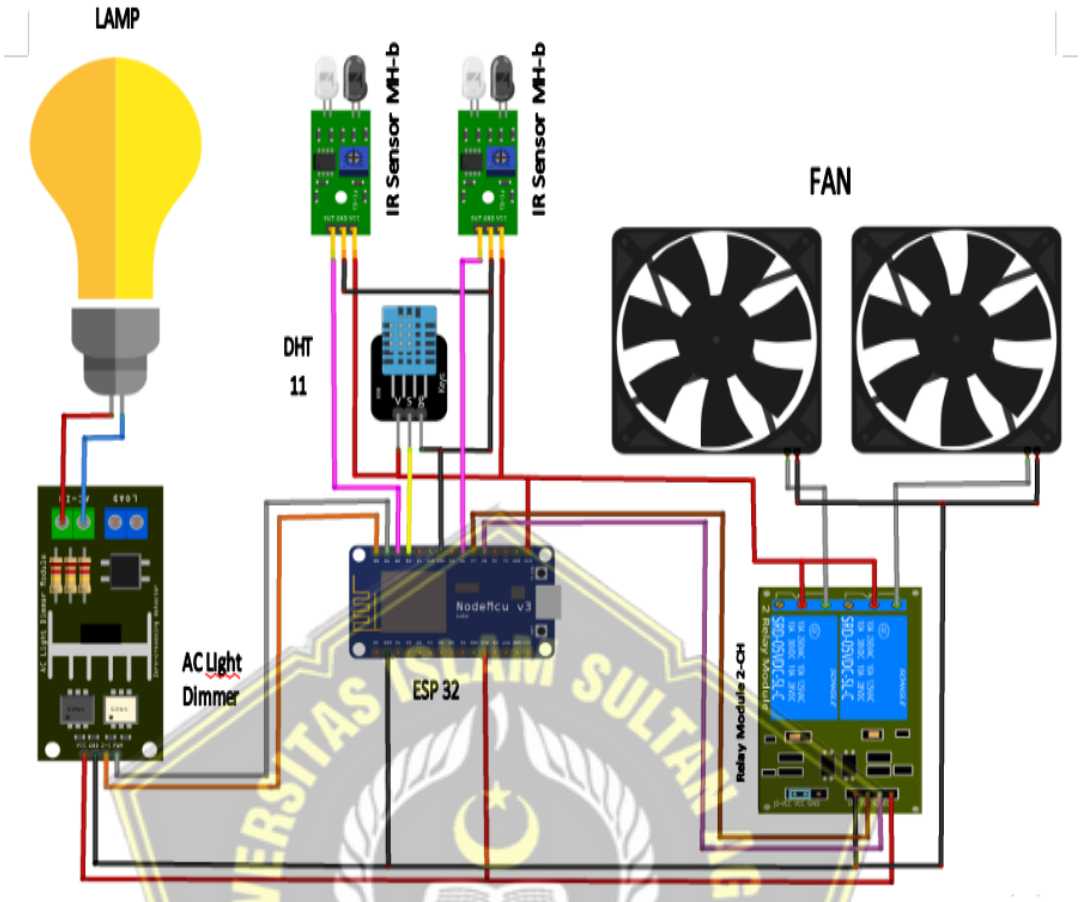
a. Menggunakan *drive chip* : SSD136
b. Ukuran: 29,28 x 27,1 mm
c. Suhu kerja : -30°C sampai 70 ^{o}C
d. Tegangan kerja : 3 volt – 5 volt (DC)
e. Konsumsi daya : 0,06 watt
f. Resolusi : 128x64
g. SCL : *High level* 2-2 volt – 5,5 volt
h. SDA : High level 2-2 volt – 5,5 volt
i. *Interface* : IIC/I2C

3.3. Desain *Hardware*

Perancangan sistem pada penelitian ini digambarkan dengan diagram blok pada gambar 3.21. dan wiring rangkaian ESP32 ditunjukkan Gambar 3.22.



Gambar 3.21. Diagram Blok

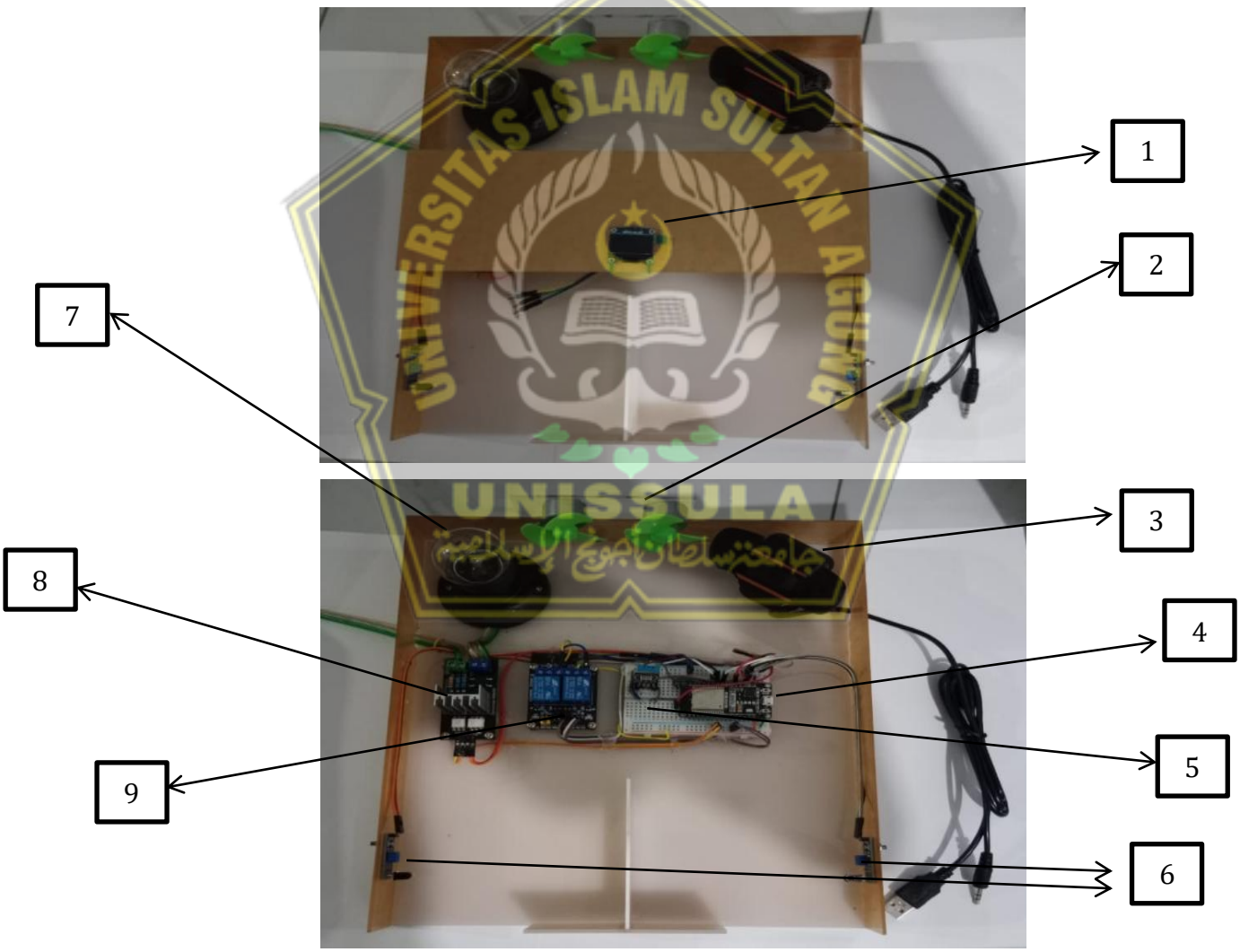


Gambar 3.22. *Wiring* Rangkaian ESP32.

IR *reflective* dipasang pada pintu yang berfungsi menghitung keluar masuknya orang ke dalam ruangan. Secara otomatis menghidupkan atau mematikan beban (lampu dan AC) menggunakan *relay* sesuai dengan banyaknya orang yang ada dalam ruangan tersebut, prosesing menggunakan ESP32 (*microcontroler* yang sudah dilengkapi dengan Wifi) kemudian dari ESP data-data dikirim melalui jaringan wifi yang terhubung ke internet menggunakan *router* wifi yang terkoneksi internet, kemudian data tersebut dikirim ke server (*cloud*) / database tentang parameter-parameter yang dimonitoring maupun dikontrol. Untuk kendalinya nanti menggunakan fuzzy yang ditanam di (*cloud* server / ESP). Wiring rangkaian ESP32 ditunjukkan pada Gambar 3.21. Sedangkan Tabel 3.2. menunjukkan konfigurasi PIN yang digunakan pada ESP32. Bagian-bagian *Prototype* Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis Fuzzy ditunjukkan pada Gambar 3.23.

Tabel 3.2. Wiring Diagram ESP32

No	Konfigurasi PIN ESP32	Koneksi
1	Pin D21 ESP32	SDA i2C LCD OLED
2	Pin D22 ESP32	SCL i2C LCD OLED
3	Pin D15 ESP32	IR Obstacle Sensor MH-B I
4	Pin D5 ESP32	IR Obstacle Sensor MH-B II
5	Pin D23 ESP32	DHT 11
6	Pin D18 ESP32	Relay Module IN1
7	Pin D19 ESP32	Relay Module IN2
8	Pin D4 ESP32	AC Light Dimmer Z-C
9	Pin D33 ESP32	AC Light Dimmer PWM



Gambar 3.23. Bagian *Prototype* Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis Fuzzy

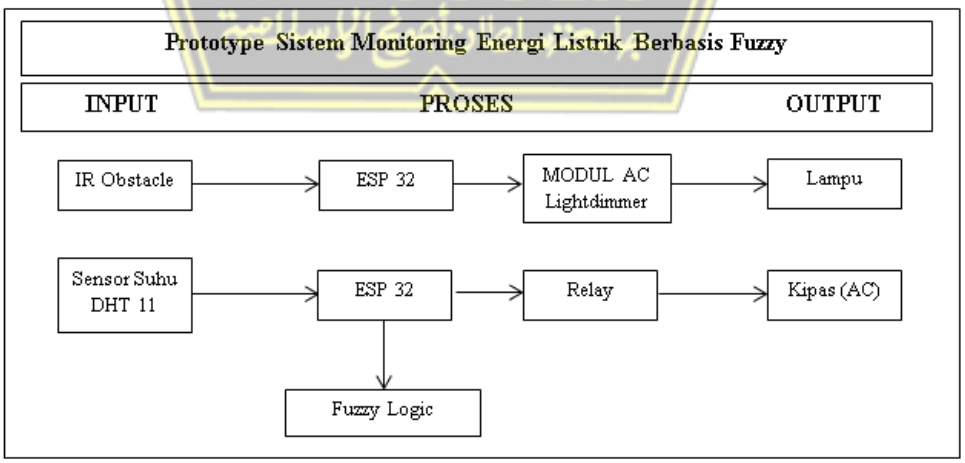
Keterangan Gambar 3.13.

1. OLED 0,96inc
2. Kipas mini (simulasi AC)
3. Webcame USB
4. ESP32
5. DHT11
6. IR Obstacle
7. Lampu Pijar
8. Robotdyn AC Light Dimmer
9. Relay 2 chanel

3.4. Desain *Software*

Blok diagram rangkaian sistem merupakan salah satu bagian terpenting dalam perancangan suatu alat, karena dari blok diagram rangkaian inilah dapat diketahui cara kerja rangkaian yang akan kita buat. Sehingga keseluruhan blok diagram tersebut akan menghasilkan suatu sistem yang dapat bekerja sesuai dengan perancangan.

Diagram blok rangkaian dari *Prototype* Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis Fuzzy dapat dilihat pada Gambar 3.24 Diagram Flow Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis Fuzzy.

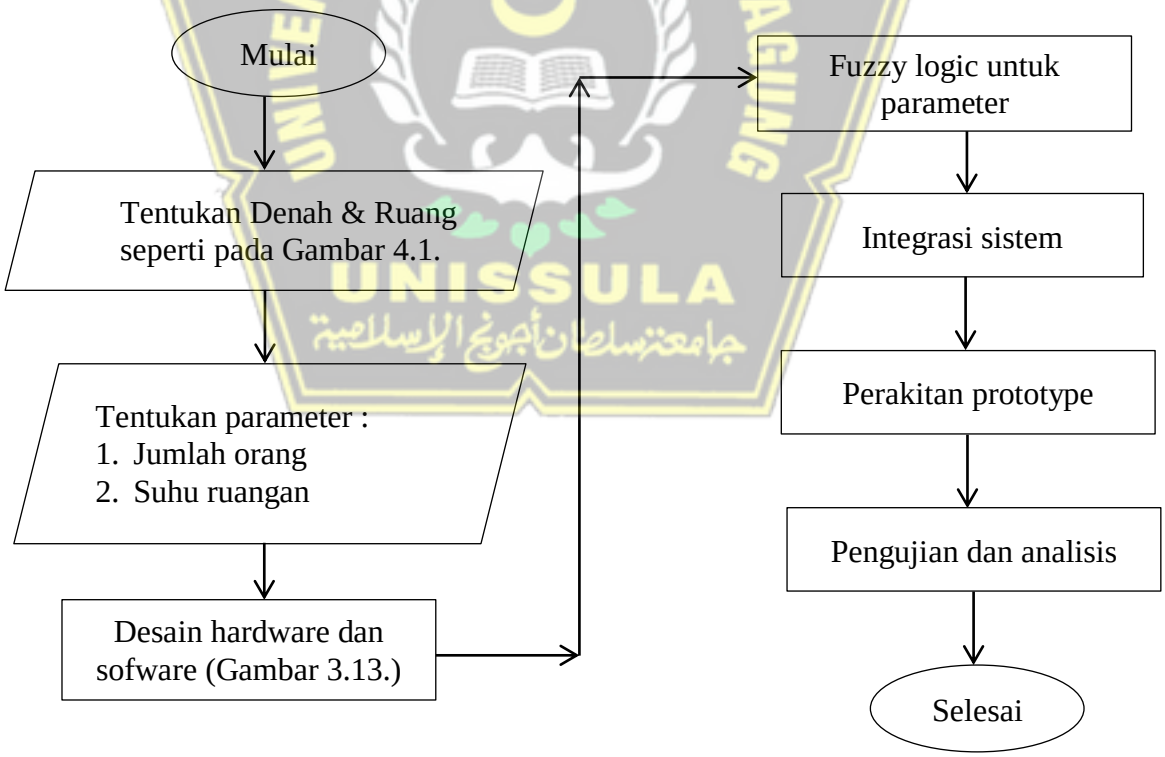


Gambar 3.24. Diagram Sistem Kerja *Prototype* Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis Fuzzy

3.5. Alur Penelitian

Di dalam penelitian pembuatan *Prototype* Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis Fuzzy penulis membuat diagram alir (*flowchart*) seperti Gambar 3.15. *Flowchart* ini bertujuan mempermudah penulis dalam melakukan penulisan dan pembuatan *prototype*. Adapun keterangan tentang Gambar 3.15. adalah sebagai berikut :

a. Langkah pertama menentukan parameter input, dalam hal ini adalah banyaknya manusia (siswa) dan suhu dalam ruangan.
b. Merancang desain *software* dan *hardware* untuk membuat *prototype*.
c. Metode yang digunakan dalam parameter menghitung banyaknya manusia (siswa) dan suhu dalam ruangan tersebut menggunakan logika fuzzy yang berfungsi untuk mengefektifkan nyala AC dan lampu.
d. Melakukan pengujian *software*, *hardware*, dan metode logika fuzzy untuk melihat tingkat keberhasilan dan akurasi sistem. Alur diatas akan di tunjukkan pada Gambar 3.25.



Gambar 3.25. Diagram Alur Penelitian

3.6. Parameter Input dan Logika fuzzy

Sebelum merancang *Prototype* Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis Fuzzy. Parameter input logika fuzzy terdiri dari banyaknya orang (siswa) dan suhu dalam ruangan. Pada output dari logika fuzzy terdapat penyesuaian tingkat kecerahan cahaya dan status kipas angin (diumpamakan AC). Adapun parameter ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Fuzzy Parameter dan Nilai Input - Output

No	Parameter	Nilai
1	Banyaknya orang (siswa)	Dikatakan sedikit jika 0 – 30 Orang Dikatakan sedang jika15 – 45 Orang Dikatakan banyak jika 30 – 60 Orang
2	Suhu didalam ruangan	Dingin 0°C – 20°C Sejuk 15°C – 25°C Normal 20°C – 30°C Hangat 25°C – 35°C Panas 30°C – 40°C
3	Suhu di luar ruangan	Sejuk 15°C – 25°C Normal 20°C – 30°C Hangat 25°C – 35°C
4	Lampu	Jika sudah ada siswa yang memasuki ruangan maka lampu akan mulai menyala dengan kondisi terang dan redup sesuai dengan jumlah siswa yang ada dalam ruangan tersebut
5	Kipas (diumpamakan AC)	Semakin banyaknya siswa yang masuk suhu dan kelembaban akan semakin naik, pada uji coba digunakannya 2 kipas untuk mengantisipasi kenaikan suhu dan kelembaban yang dipicu oleh jumlah siswa yang masuk ke ruangan maka kipas kedua akan menyeimbangkan suhu kelembabannya dan dapat mati secara otomatis

3.7. Logika Fuzzy

Sistem inferensi fuzzy yang digunakan pengontrol pendingin udara ruangan adalah mamdani. Pada metode mamdani mendapatkan *output* diperlukan 4 (empat) tahapan, yaitu :

1. Pembuatan himpunan fuzzy (fuzzifikasi)
2. Aplikasi fungsi implikasi

3. Komposisi aturan
4. Penegasan (defuzzifikasi)

3.7.1. Fuzzifikasi

Pada tahap ini akan dilakukan perancangan fungsi keanggotaan *input*, ada 4 fungsi yang digunakan diantaranya yaitu suhu, banyak orang, cahaya dan gerak. Pada pengaturan suhu AC terdapat 3 input masukan yang akan difuzifikasikan ke himpunan fuzzy dan menjadi fungsi keanggotaan fuzzy. Dipilih lima buah nilai linguistik untuk output sensor suhu udara luar ruangan yaitu: Dingin, Sejuk, Normal, Hangat, dan Panas, sesuai dengan Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Klasifikasi Suhu di Dalam Ruangan

Klasifikasi	**Interval**
Dingin	0°C – 20°C
Sejuk	15°C – 25°C
Normal	20°C – 30°C
Hangat	25°C – 35°C
Panas	30°C – 40°C

Input yang dikeluarkan sensor suhu udara di dalam ruangan, dipilih tiga buah nilai linguistik untuk output sensor udara, yaitu: Sejuk, Normal dan Hangat, sesuai pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Klasifikasi Suhu di Luar Ruangan

Klasifikasi	**Interval**
Sejuk	15°C – 25°C
Normal	20°C – 30°C
Hangat	25°C – 35°C

Terdapat tiga buah nilai linguistik untuk output banyaknya orang didalam ruangan, yaitu: Sedikit, Sedang dan Banyak, sesuai dengan Tabel 3.6.

Tabel 3.6. Klasifikasi Jumlah Orang di Dalam Ruangan

Klasifikasi	Jumlah
Sedikit	0 – 30 Orang
Sedang	15 – 45 Orang
Banyak	30 – 60 Orang

Pengaturan suhu pada AC digunakan beberapa *rule* yang kemungkinan besar akan terjadi pada pengaturan keluaran suhu AC. Dalam pembuatan rule atau pernyataan ini, semakin banyak *rule* yang digunakan maka semakin tepat dan detail dalam menentukan berapa suhu yang akan dikeluarkan pada AC. *Rule-rule* pernyataan dikelompokkan menjadi sebuah matrik yang disebut sebagai Fuzzy *Associative Memory* (FAM), seperti ditunjukkan pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7. Fungsi Keanggotaan Output Fuzzy

Klasifikasi	Interval
Dingin	11°C – 17°C
Cukup Dingin	15°C – 19°C
Sejuk	17°C – 21°C
Cukup Sejuk	19°C – 23°C
Normal	21°C – 25°C

Dengan menggunakan *input* suhu luar ruangan, suhu dalam ruangan dan jumlah orang dalam ruangan maka diperoleh *rule* sesuai Tabel 3.8.

Tabel 3.8. *Rule*

No	Suhu di dalam ruangan	Suhu di luar ruangan	Banyak orang	Suhu Keluaran AC
1	dingin	sejuk	sedikit	normal
2	sejuk	normal	sedang	sejuk
3	normal	hangat	banyak	dingin
4	hangat	sejuk	sedikit	cukup sejuk
5	panas	sejuk	banyak	cukup dingin

3.7.2. Implementasi Pengendalian Lampu dengan Logika Fuzzy

Obstacle sensor difungsikan pada alat untuk mengaktifkan sistem pada kondisi *on* sebagai pengganti saklar *on/off* manual. Ketika ada objek manusia yang terdeteksi maka sistem aktif dan ketika objek manusia tidak terdeteksi maka sistem mati. Penentuan himpunan fuzzy untuk menentukan kecerahan cahaya di tampilkan pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9. Fungsi Keanggotaan *Output* Fuzzy pada Pengendalian Lampu

Klasifikasi	Interval
mati	0 - 6
redup	6 -12
sedang	12 - 18
terang	18 - 24
sangat terang	24 - 30

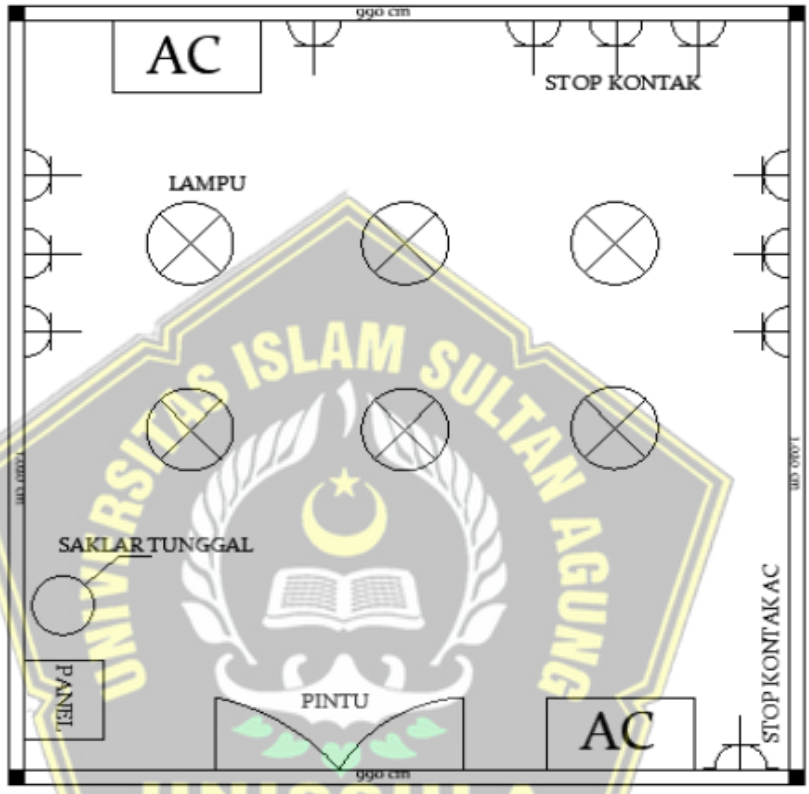
3.7.3. Inferensi

Sebuah proses formulasi pemetaan masukan terhadap keluaran dengan menggunakan logika fuzzy. Proses dari inferensi fuzzy melibatkan fungsi keanggotaan operator logika fuzzy, dan aturan IF-THEN. Terdapat dua metode inferensi yang paling dikenal yaitu metode inferensi Mamdani dan metode inferensi Takagi Sugeno. Metode inferensi mamdani menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy pada bagian keluarannya. Sehingga setelah proses aturan telah diterapkan, terdapat himpunan fuzzy yang harus di defuzzifikasi. Umumnya proses defuzzifikasi berlangsung lebih lambat akibat proses komputasi pada keluarannya. Inferencing (Ruled Based), pada umumnya aturan-aturan fuzzy dinyatakan dalam bentuk "IF……THEN" yang merupakan inti dari relasi fuzzy Selanjutnya *Fuzzy Associative Memory* (FAM) dan *rule-rule* digunakan untuk *knowladge base* atau basis pengetahuan untuk memperoleh pengaturan suhu pada AC yang optimal.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Deskripsi Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian di Gedung Laboratorium Teknik Tenaga Listrik yaitu Lab CoE Utara SMK N 7 Semarang, dengan denah ruang sebagai berikut :



Gambar 4.1. Denah Ruang Penelitian.

Gambar 4.1. alat yang dibuat dipasang di pintu. Penggunaan energi listrik terbesar adalah pendingin ruangan atau AC dan penerangan ruangan atau lampu. Peneliti membuat *prototype* untuk mengontrol penggunaan beban listrik tersebut berbasis IoT. Dan diruangan Lab Teknik Tenaga Listrik tersebut prototype diujicobakan. Kebutuhan AC seluruh gedung SMK N 7 Semarang dengan jumlah ruangan sebanyak 51 terpasang 163 buah AC yang terdiri dari 60 buah AC 2 pk dan 103 buah AC 1 pk, selain AC juga terpasang kipas angin sebanyak 192 buah sedangkan jumlah titik lampu ada 656 titik lampu.

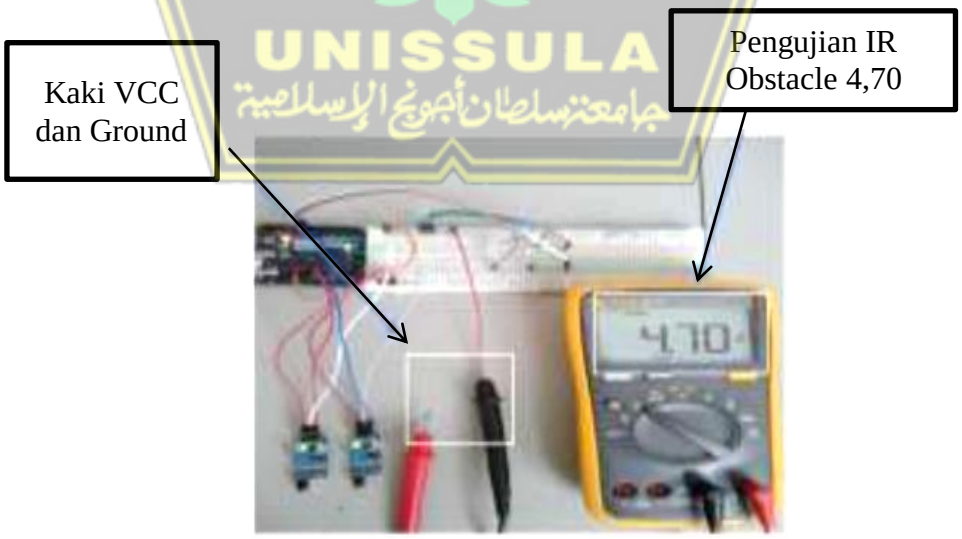
4.2. Realisasi *Prototype*

Perancangan *prototype hardware* dalam penelitian ini merupakan aplikasi sistem yang sudah di desain terlebih dahulu, perancangan *prototype* terdiri dari pembuatan sebuah *prototype* diperlihatkan pada Gambar 3.13. didalamnya telah dipasang komponen-komponen yang siap diuji sistem dan penempatan material lain yang digunakan dalam penelitian ini.

Gambar 3.13. memperlihatkan simulasi *prototype* sistem monitoring energi listrik berbasis fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini. Terdapat *display* yang menggambarkan suatu ruangan terdapat 2 (dua) pintu yaitu sebelah kanan pintu masuk dan sebelah kiri pintu keluar, di sebelah pintu terdapat IR *Obstacle* sebagai sensor menghitung jika ada manusia (siswa) yang masuk ataupun keluar ruangan.

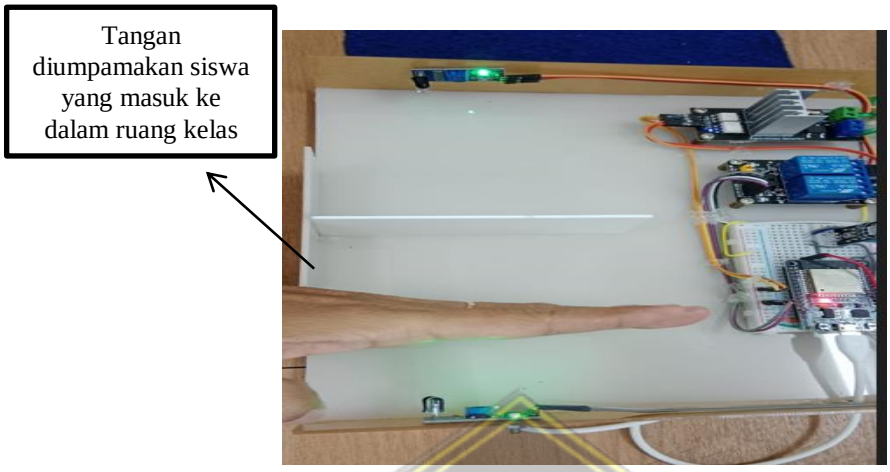
4.3. Pengujian IR *Obstacle*

Pada bagian ini sensor terlebih dahulu di uji guna memastikan apakah sensor dalam keadaan baik dan dapat digunakan dengan optimal. Pada tahapan ini pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan ke dalam sensor, kemudian tegangan diuji dengan menggunakan multimeter. Berikut ini merupakan hasil pengujian sensor IR *Obstacle* Gambar 4.2. menunjukkan hasil pengukuran yang dilakukan dan diperoleh tengan pada sensor IR *Obstacle* sebesar 4,70 V.

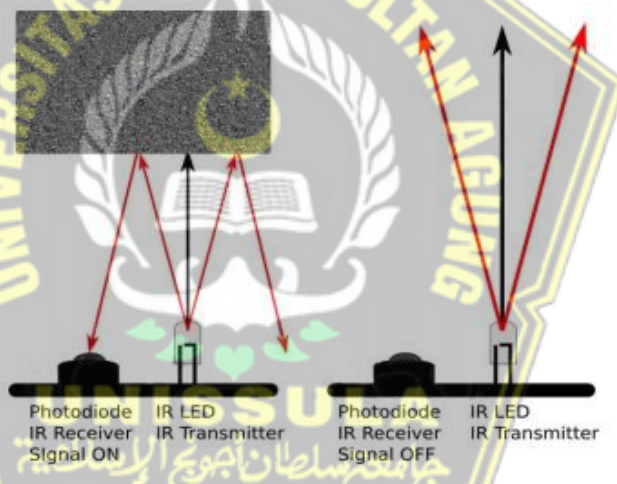


Gambar 4.2. Pengujian Tegangan IR Obstacle.

Gambar 4.3. menunjukkan pengujian IR *obstacle*, dimana gerakan tangan diumpakan keluar masuk orang atau siswa dalam ruangan.

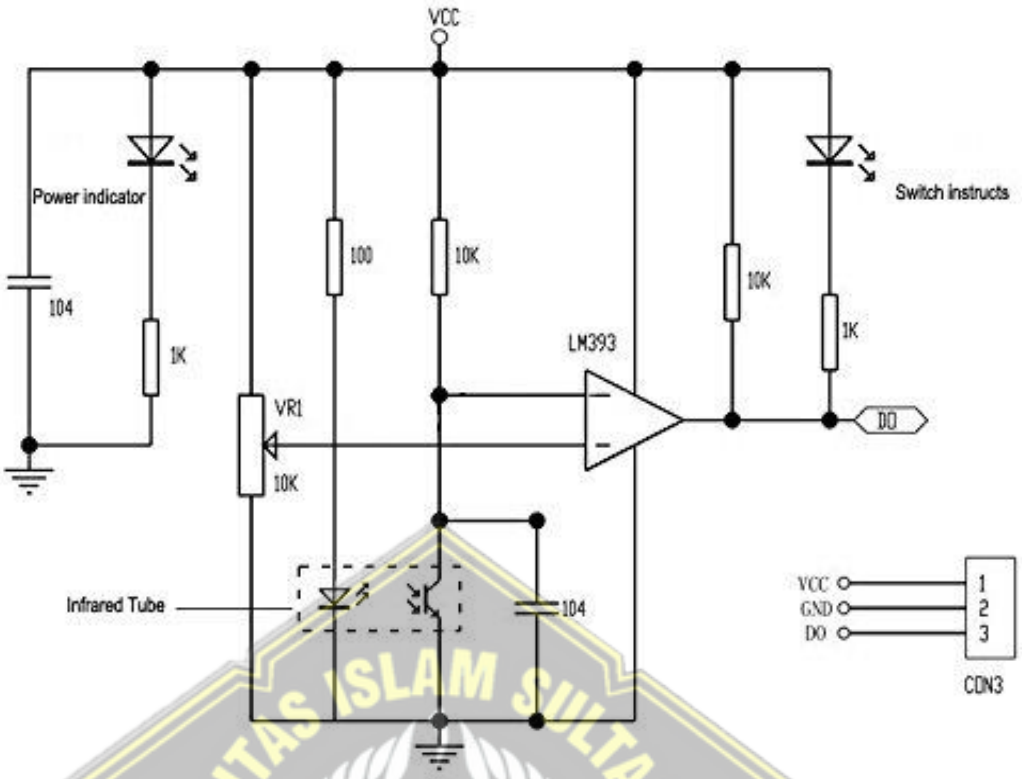


Gambar 4.3. Pengujian IR Obstacle.



Gambar 4.4 Cara Kerja IR Obstacle.

Gambar 4.4. memperlihatkan cara kerja IR *Obstacle* atau sensor halangan merupakan sensor yang berfungsi mendeteksi halangan atau objek di depannya. Sensor *Obstacle* ini menggunakan prinsip pantulan cahaya infrared sebagai penentu nilainya. Ketika modul sensor mendeteksi sebuah halangan atau obyek di depan sensor maka akan diperoleh pantulan cahaya dengan intensitas yang diatur sensiitivitasnya dengan sebuah *potensiometer*. Sensor *obstacle* menghasilkan output berupa *output* digital untuk nilai *output* yang dihasilkan adalah *output* tegangan.



Gambar 4.5 Skema Rangkaian IR Obstacle.

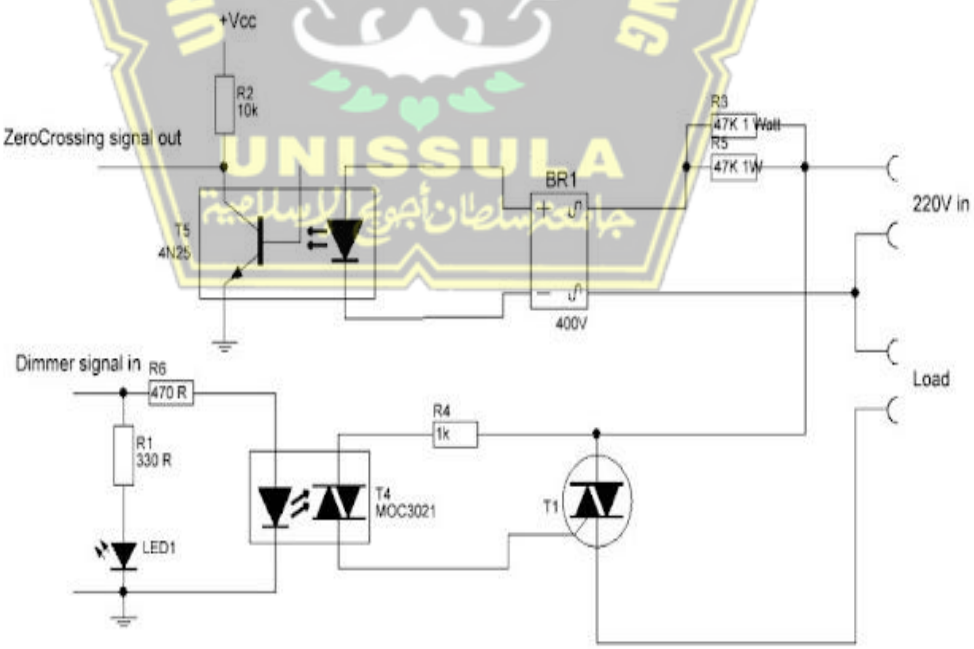
Gambar 4.5. komponen utamanya terdiri dari IR *emitter* dan IR *receiver* / *photo transistor*. Ketika diberi tegangan pada modul sensor, IR emitter akan memancarkan cahaya *infrared* yang tak kasat mata, cahaya tersebut kemudian dipantulkan oleh objek yang ada di depannya. Cahaya terpantul ini kemudian diterima oleh IR *receiver*. Terdapat Op-Amp LM363 yang berfungsi sebagai komparator antara resistansi IR *receiver* dan resistansi *trimpot* pengatur sensitivitas. Saat terkena cahaya *infrared* pantulan object, resistansi IR receiver akan mengecil sehingga output Op-Amp menjadi high (5V) dan menghidupkan LED sensor. IR *Obstacle* sebagai sensor infra merah yang berfungsi secara otomatis menghitung jumlah siswa yang masuk maupun keluar ruang kelas yang berhubungan dengan menyala terang ataupun redup lampu ruangan serta menyalakan alat pendingin ruangan (AC), menyesuaikan suhu dalam ruangan sesuai jumlah orang yang ada dalam ruangan tersebut sehingga terasa nyaman. Pengujian *Infrared Obstacle* diperlihatkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pengujian Infrared Obstacle

Pengujian Ke	Jarak Objek	Led	Keterangan
1	140 cm	*off*	Tidak Terdeteksi
2	120 cm	*off*	Tidak Terdeteksi
3	100 cm	*off*	Tidak Terdeteksi
4	80 cm	*off*	Tidak Terdeteksi
5	75 cm	*off*	Tidak Terdeteksi
6	70 cm	*off*	Tidak Terdeteksi
7	60 cm	*off*	Tidak Terdeteksi
8	40 cm	*on*	Terdeteksi
9	20 cm	*on*	Terdeteksi
10	10 cm	*on*	Terdeteksi

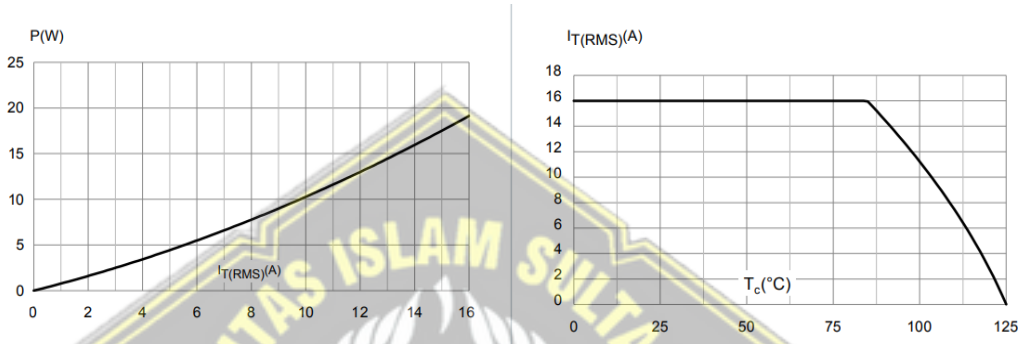
Dua sensor inframerah *obstacle* dipasang di pintu masuk dan pintu keluar. Kemudian sebagai sarana pengujian, sebuah objek diletakkan pada jarak 10 cm hingga 140 cm. Pada Tabel 4.1. dapat dilihat bahwa pengujian menunjukkan sensor dapat bekerja dengan baik dan dapat disimpulkan bahwa sensor inframerah dapat mengenali objek dengan baik pada jarak kurang dari 40 cm.

4.4. Pengujian Sensor AC *Light Dimmer*



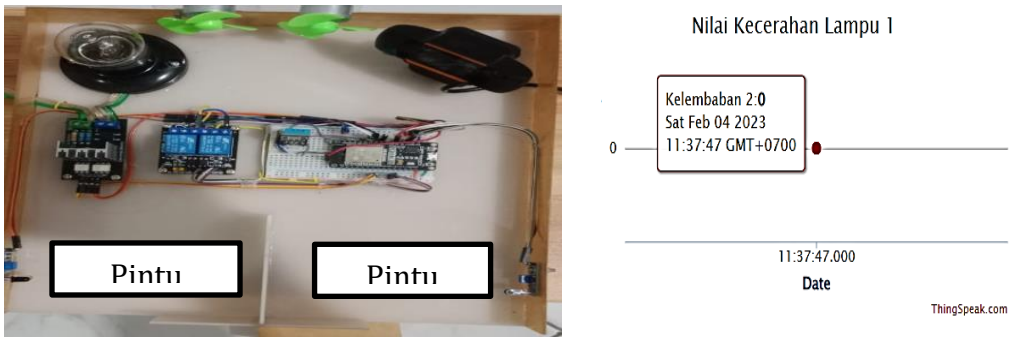
Gambar 4.6. Skema Sensor AC Light Dimmer.

Gambar 4.6 menunjukkan tentang skema sensor *light dimmer* yang digunakan pada rangkaian tersebut AC *light dimmer* bekerja dengan PWM (*Pulse Width Modulation*) adalah sebuah cara atau metode yang digunakan dengan tujuan untuk memanipulasi tebal sinyal dengan nilai amplitudo dan frekuensi yang tetap. Sinyal dalam hal ini adalah daya pada lampu yang di manipulasi agar lampu dapat mengontrol daya dan efek yang dihasilkan adalah lampu menjadi redup atau tidak terang.



Gambar 4.7. Maksimal Daya dan RMS On State.

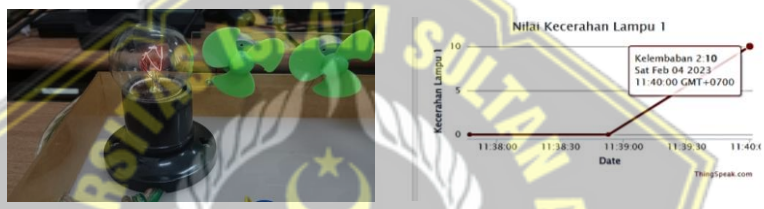
Gambar 4.7. menjelaskan hasil perbandingan antara daya maksimal dengan arus maksimal pada operasi siklus penuh yang menghasilkan daya rata-rata yang dihamburkan oleh konduksi arus melalui perangkat beban. Dalam hal uji coba ini adalah lampu penerangan ruangan. Untuk maksimal arus yang diizinkan di perangkat untuk suhu kasus (Tc) tertentu, atau ambien temperatur (Ta), atau Temperatur Timbal (Ti) tergantung pada jenis bebannya.



Gambar 4.8. Pengujian AC Light dimmer saat off dengan platform Thingspeak.

Saat ruang kelas kosong belum ada siswa yang masuk maka lampu pada ruangan tersebut mati (Gambar 4.8). Jika sudah ada siswa yang memasuki ruangan maka lampu akan mulai menyala dengan kondisi terang dan redup sesuai dengan jumlah siswa yang ada dalam ruangan tersebut (Gambar 4.9. dan Gambar 4.10.)

Gambar 4.8. ditunjukkan data *thingspeak* adalah 0 / LOW dimana sensor *light dimmer* tidak mendeteksi ada nya siswa atau pergerakan melalui pintu masuk. Jika siswa sudah mulai memasuki ruangan maka lampu akan mulai menyala data tersebut di ambil dari sensor IR *obstacle* dengan nyala terang lampu sesuai jumlah siswa yang ada dalam ruangan tersebut semakin banyak siswa yang memasuki ruangan tersebut maka nyala lampu akan semakin terang, sesuai dengan Tabel 3.6. Klasifikasi jumlah orang di dalam ruangan.



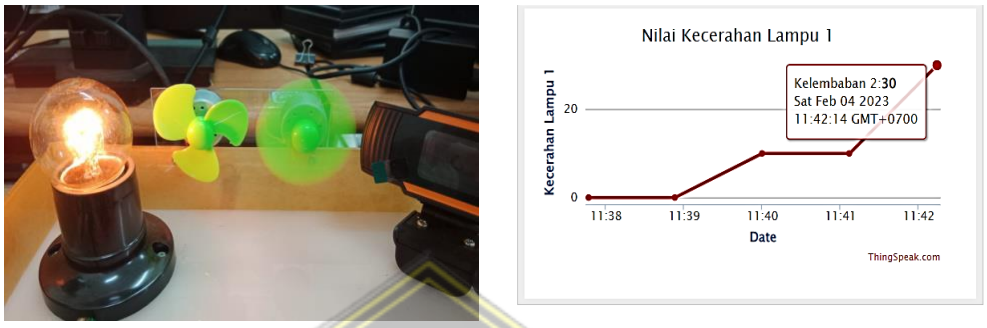
Gambar 4.9. Pengujian Kecerahan Lampu Jumlah Siswa kurang dari 15 orang.

Gambar 4.9. menunjukkan tingkat terangnya lampu dipengaruhi oleh banyaknya siswa yang masuk pada rungan tersebut sehingga nilai kecerahan lampu yang diberikan adalah 20% dari total 100% nyala lampu terangnya. Tabel 4.2. pengujian untuk mendeteksi jumlah siswa yang masuk dan nilai kecerahan lampu tersebut.

Tabel 4.2. Pengujian Nilai Kecerahan Lampu

Pengujian Ke	Jumlah Siswa	Prosentase Lampu	Keterangan
1	1	25%	Kecerahan Lampu 25% Tidak Bergetar / Drop
2	2	25%	Kecerahan Lampu 25% Tidak Bergetar / Drop
3	4	25%	Kecerahan Lampu 25% Tidak Bergetar / Drop
4	6	25%	Kecerahan Lampu 25% Tidak Bergetar / Drop
5	8	25%	Kecerahan Lampu 25% Tidak Bergetar / Drop
6	9	25%	Kecerahan Lampu 25% Tidak Bergetar / Drop
7	10	25%	Kecerahan Lampu 25% Tidak Bergetar / Drop
8	12	25%	Kecerahan Lampu 25% Tidak Bergetar / Drop
9	14	25%	Kecerahan Lampu 25% Tidak Bergetar / Drop
10	15	25%	Kecerahan Lampu 25% Tidak Bergetar / Drop

Tabel 4.2. di jelaskan pengujian secara bertahap dengan jumlah siswa yang ada pada tabel tersebut lalu dilakukan pengujian level kecerahan dihasilkan lampu tersebut pada posisi nilai terang 25% dan tidak bergetar atau *drop*. Selanjutnya dapat dikatakan kecerahan tersebut stabil.



Gambar. 4.10. Pengujian Kecerahan Lampu Jumlah Siswa Lebih dari 15 orang.

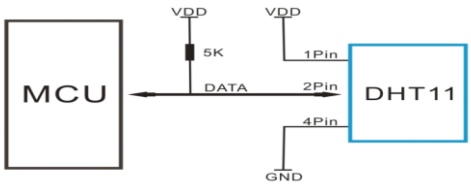
Gambar 4.10. menunjukkan tingkat terangnya lampu dipengaruhi oleh banyaknya siswa yang masuk pada rungan tersebut sehingga nilai kecerahan lampu yang diberikan adalah 60% dari total 100% nyala lampu terangnya. Berikut tabel uji untuk mendeteksi jumlah siswa yang masuk dan nilai kecerahan lampu tersebut.

Tabel 4.3. Pengujian Nilai Kecerahan Lampu

Pengujian Ke	Jumlah Orang	Prosentase Lampu	Keterangan
1	16	60%	Kecerahan Lampu 60% Tidak Bergetar / Drop
2	18	60%	Kecerahan Lampu 60% Tidak Bergetar / Drop
3	20	60%	Kecerahan Lampu 60% Tidak Bergetar / Drop
4	22	60%	Kecerahan Lampu 60% Tidak Bergetar / Drop
5	23	60%	Kecerahan Lampu 60% Tidak Bergetar / Drop
6	24	60%	Kecerahan Lampu 60% Tidak Bergetar / Drop
7	25	60%	Kecerahan Lampu 60% Tidak Bergetar / Drop
8	26	60%	Kecerahan Lampu 60% Tidak Bergetar / Drop
9	28	60%	Kecerahan Lampu 60% Tidak Bergetar / Drop
10	30	60%	Kecerahan Lampu 60% Tidak Bergetar / Drop

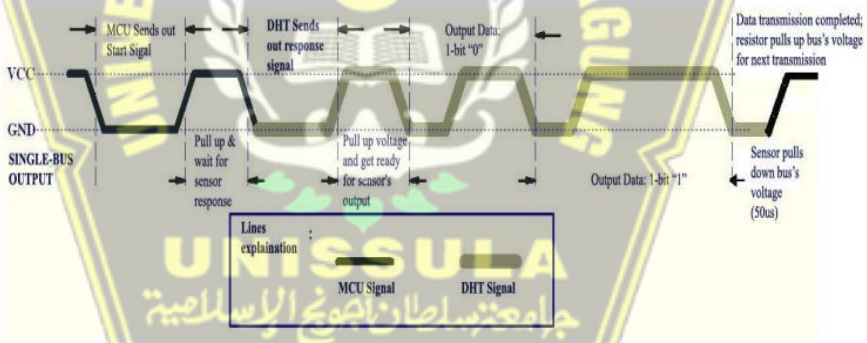
Tabel 4.3 menjelaskan pengujian secara bertahap dengan jumlah siswa yang ada pada table tersebut lalu dilakukan pengujian level kecerahan dihasilkan lampu tersebut pada posisi nilai terang 60% dan tidak bergetar atau drop. Selanjutnya dapat dikatakan kecerahan tersebut stabil.

4.5. Pengujian Sensor Suhu dan Kelembaban (DHT11)



Gambar 4.11. Konfigurasi Pin DHT11.

Gambar 4.11. memperlihatkan 3Pin – Null; MCU adalah *Micro-Computer Unite* atau komputer chip tinggal. Jika kabel penghubung lebih pendek dari 20 meter, disarankan menggunakan resistor *pull-up* 5K, ketika kabel penghubung lebih panjang dari 20 meter, pilih resistor *pull-up* yang sesuai diperlukan. Catu daya DHT11 adalah 3-5.5V DC. Saat daya dialirkan ke sensor, mengirim intruksi apapun ke sensor dalam waktu satu detik untuk melewati status tidak stabil. Satu kapasitor senilai 100nF dapat ditambahkan antara VDD dan GND untuk penyaringan daya.



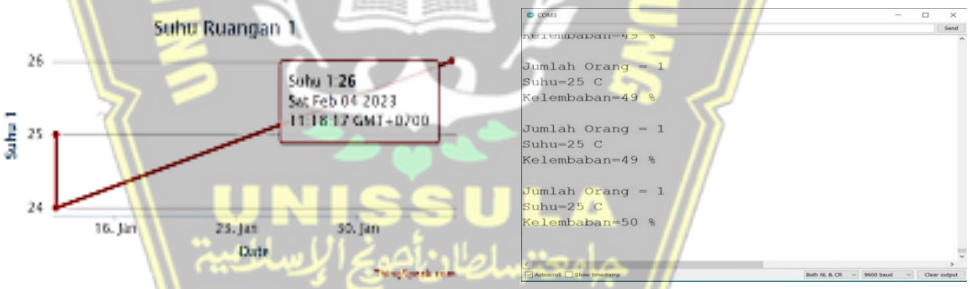
Gambar 4.12. Proses DHT11 Membaca Suhu.

Saat MCU mengirimkan sinyal *start*, DHT11 berubah dari mode konsumsi daya rendah ke mode running-mode, menunggu MCU menyelesaikan sinyal start. Setelah selesai, DHT11 mengirimkan sinyal respon data 40-bit yang menyertakan informasi suhu dan kelembaban relatif MCU. Pengguna dapat memilih untuk mengumpulkan (membaca) beberapa data. Tanpa sinyal start dari MCU, DHT11 tidak akan memberikan sinyal *respons* ke MCU. Setelah data dikumpulkan, DHT11

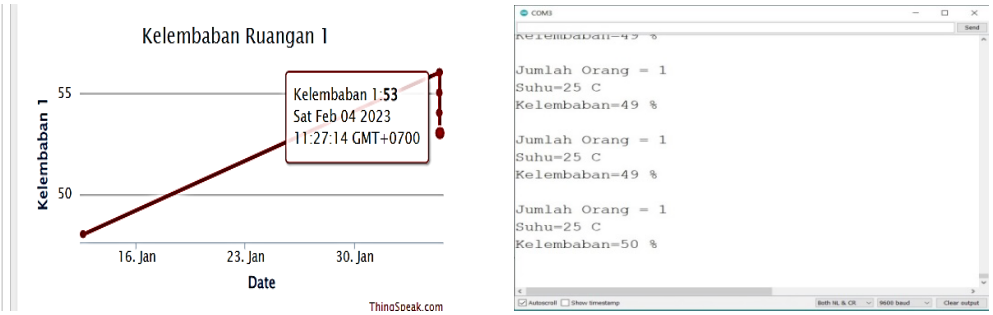
akan berubah ke mode konsumsi daya rendah hingga menerima sinyal mulai dari MCU lagi.

Gambar 4.13. Status Jika Didalam Ruangan Terdapat Siswa.

Siswa terdeteksi memasuki ruangan melalui pintu masuk maka lampu dan AC (kipas) menyala. Gambar 4.13. terdapat 2 kipas yang difungsikan jika suhu didalam ruangan naik atau mulai panas maka kipas akan menyala 2 sampai menurunkan suhu yang ada, jika suhu mulai turun dan menunjukkan kondisi normal maka kipas akan menyala satu. Fungsi kedua kipas ini adalah penstabil suhu ruangan. Suhu dan kelembaban ruangan dapat dilihat pada gambar 4.12. dan 4.13.



Gambar 4.14. Hasil Ukur Suhu pada Ruangan.



Gambar. 4.15. Hasil Ukur Kelembaban pada Ruangan.

Gambar 4.14 dan 4.15 menunjukkan hasil ukur pada thingspeak dan alat dinyatakan sama dan tidak ada silisih dalam pengukuran. Sesuai dengan fungsinya DHT11 dalam hal ini bekerja baik dan sesuai. Berikut ini adalah hasil uji dari sensor suhu dan kelembaban DHT11.

Tabel 4.4 Pengujian Sensor Suhu dan Kelembaban Ruangan

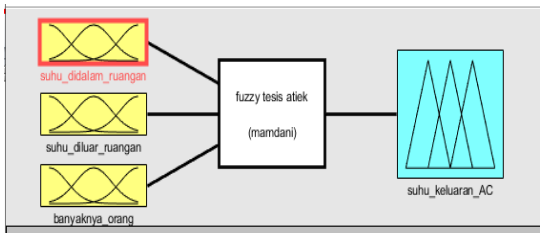
Pengujian Ke	Jumlah Orang	Nilai Suhu	Nilai Kelembaban	Status Kipas 1	Status Kipas 2
1	1	25^0C	49%	On	Off
2	2	25^0C	50%	On	Off
3	4	25^0C	47%	On	Off
4	6	27^0C	59%	On	Off
5	8	27^0C	58%	On	Off
6	9	26^0C	48%	On	On
7	10	24^0C	56%	On	On
8	12	24^0C	54%	On	On
9	14	25^0C	48%	On	Off
10	15	25^0C	48%	On	Off

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa dengan semakin banyaknya siswa yang masuk suhu dan kelembaban akan semakin naik, namun karena pada uji coba tersebut digunakannya 2 kipas untuk mengantisipasi kenaikan suhu dan kelembaban yang dipicu karena banyaknya siswa yang masuk ke kelas maka kipas kedua akan menyeimbangkan suhu kelembabannya dan dapat mati secara otomatis jika suhu sudah relatif baik dan nyaman sesuai dengan tabel fuzzy dalam penelitian ini.

4.6. *Fuzzi Inferense System* (FIS)

a. Fuzzyfikasi

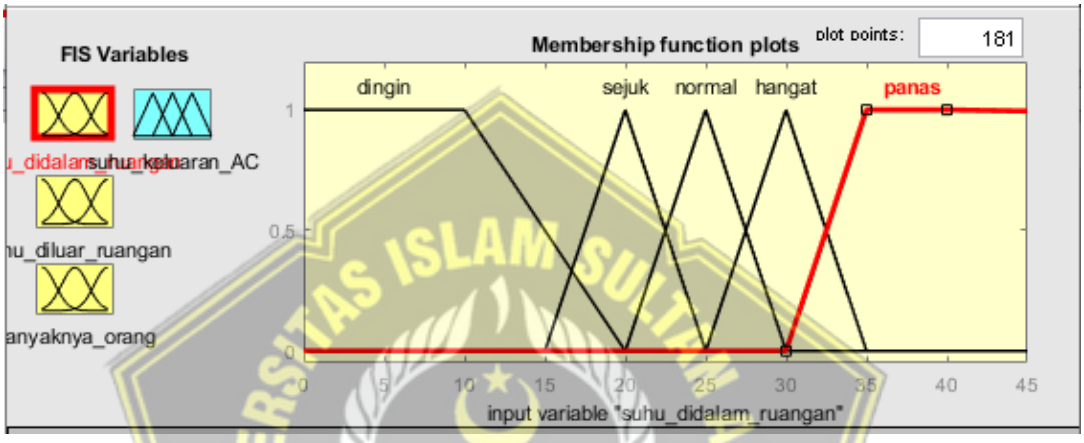
Tahap fuzzifikasi adalah tahap pembentukan fungsi keanggotaan. *Input* dari tahapan ini adalah suhu didalam ruangan, suhu diluar ruangan dan banyak orang, sedangkan *output* adalah suhu keluaran AC diperlihatkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16. Diagram Fuzzifikasi dengan Matlab

b. Fungsi Keanggotaan

Untuk mendapatkan derajat keanggotaan fuzzy digunakan pendekatan fungsi. Fungsi yang digunakan untuk penentuan sistem kendali pemakaian energi listrik di SMK Negeri 7 Semarang pada beban AC dan lampu. Gambar 4.17. memperlihatkan himpunan keanggotaan suhu dalam ruangan. Keanggotaan suhu dalam ruangan dibagi menjadi 5 yaitu **dingin, sejuk, normal, hangat dan panas** berdasarkan pada range data yang didapatkan pada tabel 3.4.



Gambar. 4.17. Himpunan Keanggotaan Suhu Dalam Ruangan

$$\mu_{dingin}[x] = \begin{cases} 1, & x \leq 10 \\ \dfrac{20-x}{10}, & 10 \leq x \leq 20 \\ 0, & x \geq 20 \end{cases}$$

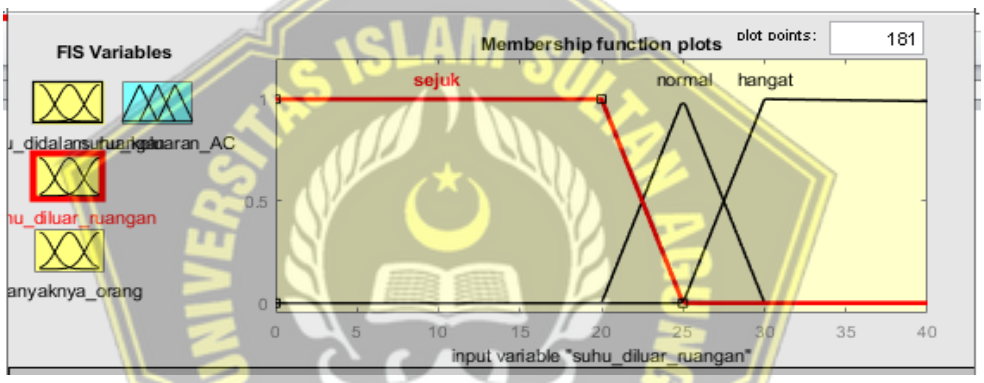
$$\mu_{sejuk}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 15 \\ \dfrac{x-15}{5}, & 15 \leq x \leq 20 \\ \dfrac{25-x}{5}, & 20 \leq x \leq 25 \end{cases}$$

$$\mu_{normal}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 20 \\ \dfrac{x-20}{5}, & 20 \leq x \leq 25 \\ \dfrac{30-x}{5}, & 25 \leq x \leq 30 \end{cases}$$

$$\mu_{hangat}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 25 \\ \dfrac{x-25}{5}, & 25 \leq x \leq 30 \\ \dfrac{35-x}{5}, & 30 \leq x \leq 35 \end{cases}$$

$$\mu_{panas}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 30 \\ \dfrac{x-30}{10}, & 30 \leq x \leq 40 \\ 1, & x \geq 40 \end{cases}$$

Gambar 4.18 memperlihatkan himpunan keanggotaan suhu diluar ruangan dengan klasifikasi dibagi 3 yaitu **sejuk, normal dan hangat,** berdasarkan pada range data yang didapatkan pada tabel 3.5.



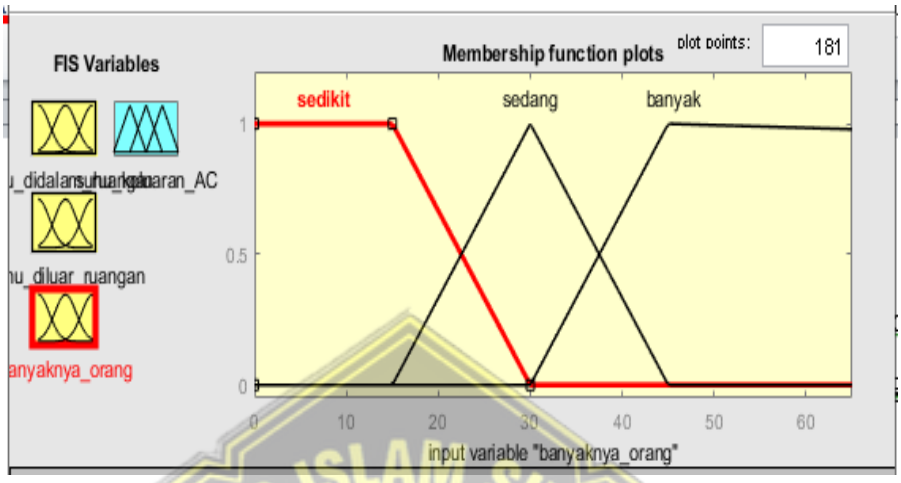
Gambar 4.18. Himpunan Keanggotaan Suhu Luar Ruangan

$$\mu_{sejuk}[x] = \begin{cases} 1, & x \leq 20 \\ \dfrac{25-x}{5}, & 20 \leq x \leq 25 \\ 0, & 25 \leq x \end{cases}$$

$$\mu_{normal}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 20 \\ \dfrac{x-20}{10}, & 20 \leq x \leq 30 \\ \dfrac{30-x}{5}, & 25 \leq x \leq 30 \end{cases}$$

$$\mu_{hangat}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 25 \\ \dfrac{35-x}{10}, & 25 \leq x \leq 35 \\ 1, & x \geq 35 \end{cases}$$

Gambar 4.19 memperlihatkan himpunan keanggotaan banyak orang dengan klasifikasi dibagi 3 yaitu **sedikit, sedang dan banyak,** berdasarkan pada range data yang didapatkan pada tabel 3.6.



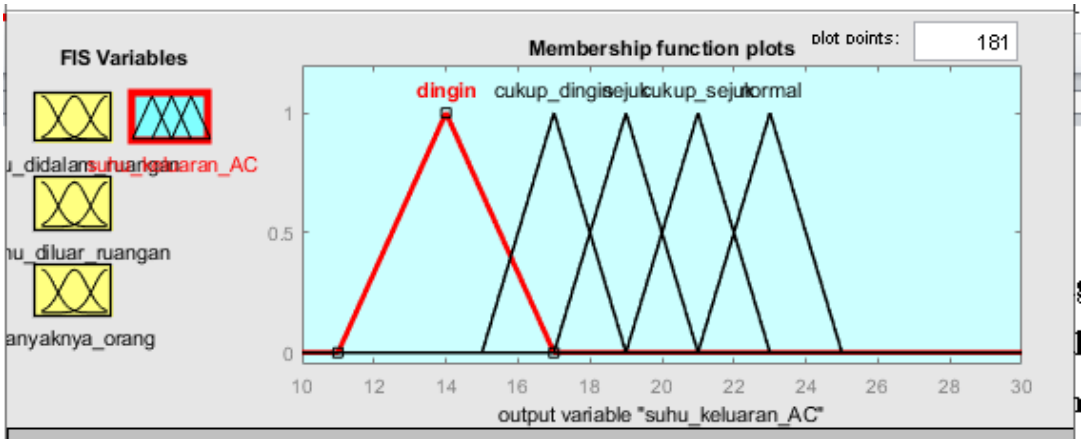
Gambar. 4.19. Himpunan Keanggotaan Banyak Orang

$$\mu_{sedikit}[x] = \begin{cases} 1, & x \leq 15 \\ \dfrac{x-15}{15}, & 15 \leq x \leq 30 \\ 0, & x \geq 30 \end{cases}$$

$$\mu_{sedang}[x] = \begin{cases} 1, & x \leq 15 \\ \dfrac{x-15}{15}, & 15 \leq x \leq 30 \\ \dfrac{45-x}{15}, & 30 \leq x \leq 45 \end{cases}$$

$$\mu_{banyak}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 30 \\ \dfrac{45-x}{15}, & 30 \leq x \leq 45 \\ 1, & x \geq 45 \end{cases}$$

Gambar 4.20 memperlihatkan himpunan keanggotaan keluaran suhu AC dengan klasifikasi dibagi 5 yaitu **dingin, cukup dingin, sejuk, cukup sejuk dan normal,** berdasarkan pada range data yang didapatkan pada tabel 3.7.



Gambar. 4.20. Himpunan Keanggotaan Keluaran Suhu AC

$$\mu_{dingin}[x] = \begin{cases} 1, & x \leq 14 \\ \dfrac{x-14}{3}, & 14 \leq x \leq 17 \\ 0, & x \geq 17 \end{cases}$$

$$\mu_{cukup\ dingin}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 15 \\ \dfrac{x-15}{2}, & 15 \leq x \leq 17 \\ \dfrac{19-x}{2}, & 17 \leq x \leq 19 \end{cases}$$

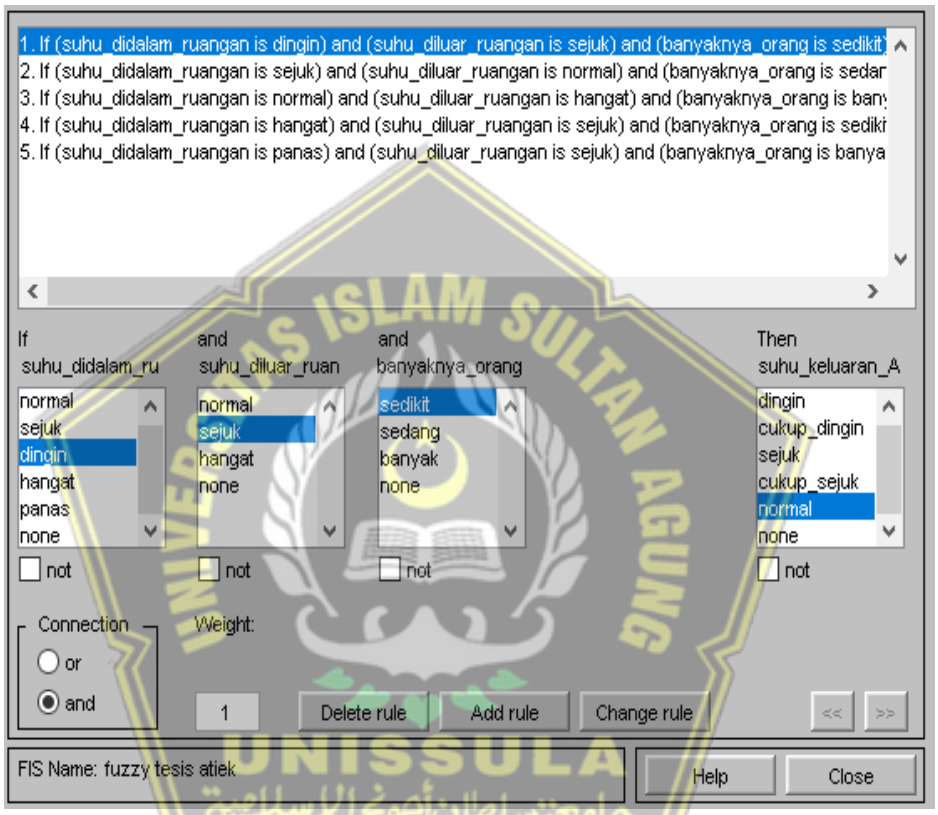
$$\mu_{sejuk}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 17 \\ \dfrac{x-17}{2}, & 17 \leq x \leq 19 \\ \dfrac{21-x}{2}, & 19 \leq x \leq 21 \end{cases}$$

$$\mu_{cukup\ sejuk}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 10 \\ \dfrac{x-19}{2}, & 19 \leq x \leq 21 \\ \dfrac{23-x}{2}, & 21 \leq x \leq 23 \end{cases}$$

$$\mu_{panas}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 21 \\ \dfrac{x-21}{2}, & 21 \leq x \leq 23 \\ 1, & x \geq 23 \end{cases}$$

c. ***Rules Baze Fuzzy* / Komposisi Aturan Fuzzy**

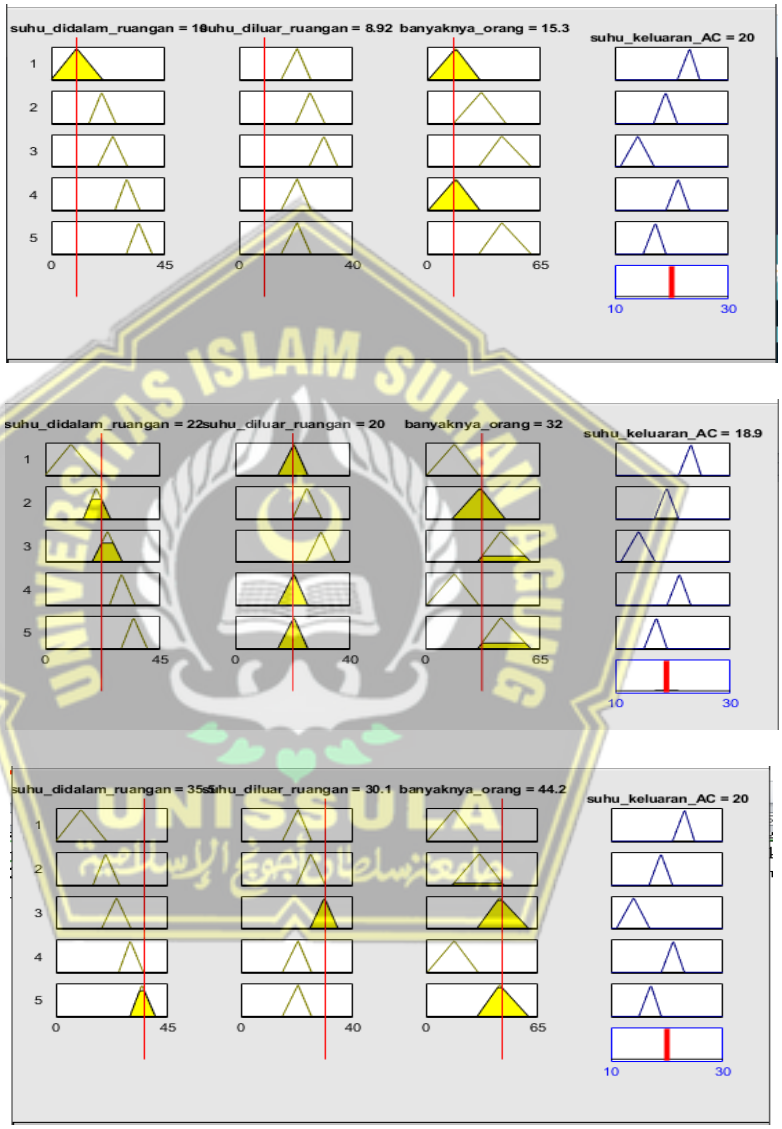
Dalam aplikasi Matlab komposisi aturan dibuat pada *rule editor* dan dihasilkan 5 aturan atas input 3 variabel suhu dalam ruangan, suhu luar ruangan, banyaknya orang dan menghasilkan output keluaran suhu AC dengan 5 kriteria yaitu dingin, cukup dingin, sejuk, cukup sejuk dan normal yang dimunculkan pada kotak dialog *rule viewer* sesuai dengan Gambar 4.21.



Gambar 4.21. Rules Editor by MATLAB

Pada tahapan ini output dari tahapan fuzzifikasi yang berupa suhu yang dikeluarkan AC selanjutnya akan digabung dengan menggunakan rule evaluation, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.8. Pengujian fuzzy logic dilakukan untuk memahami proses sistem fuzzy sebagai kontrol suhu keluaran AC berdasarkan suhu diluar ruangan, suhu didalam ruangan dan banyaknya orang didalam ruangan. Sistem fuzzy yang digunakan kemudian diprogram dengan menggunakan ESP32 sebagai sistem kendali alat. Data yang masuk ke sistem fuzzy pada *prototype*

adalah suhu ruang dan kelembaban yang diperoleh melalui sensor DHT11. Data keluaran yang diproses melalui sistem fuzzy merupakan kontrol suhu keluaran AC yang diperoleh melalui Matlab. Gambar 4.22. menunjukkan *Rules Viewer fuzzy Input – Output* bahwa suhu didalam ruangan 22°C, suhu luar ruangan 20°C dan jumlah orang didalam ruangan ada 32 orang maka suhu yang dikeluaran AC adalah 18,9°C.



Gambar 4.22. Rules Viewer Fuzzy Input – Output

Aplikasi Matlab tampak garis vertikal merah yang menunjukkan nilai dari suhu didalam ruangan, suhu diluar ruangan dan banyaknya orang dalam ruangan. Grafik segitiga warna kuning menunjukan nilai fungsi fuzzy yang memenuhi nilai input.

Suhu keluaran AC merupakan hasil dari defuzzifikasi yang memenuhi nilai input. Grafik *single line* warna merah menunjukan nilai output yang memenuhi nilai *input*.

BAB V
PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pengembangan perancangan sistem monitoring energi listrik berbasis fuzzy yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan:

1. Sistem pengontrol pendingin udara berbasis fuzzy menggunakan sensor IR dan DHT11 mampu mengontrol suhu AC sesuai dengan aturan yang diinginkan pada logika fuzzy.
2. Pengujian sistem dengan simulasi matlab dan pengujian *prototype* hasilnya sama, sehingga *prototype* berfungsi dengan baik yaitu jika nilai suhu pada *prototype* 25°C, nilai kelembaban 50% dan jumlah orang didalam ruangan ada 32 orang maka suhu yang dikeluaran AC adalah 18,9°C sesuai dengan simulasi matlab.
3. Alat ini dapat menjadi alternatif menghemat energi dengan dibuktikannya pada penelitian ini bahwa pemakaian beban listrik dapat secara otomatis off dan on jika terdapat orang atau tidak.

5.2. Saran

Sistem yang dirancang masih terdapat kekurangan-kekurangan didalamnya yaitu :

1. Bisa dikembangkan dengan IoT menambahkan aplikasi yang mendukung pada *handphone Android* / *Iphone* serta dapat ditambahkan alat ukur pemakaian listrik untuk mengetahui beban dan biaya listrik yang digunakan.
2. Kemungkinan level nyala lampu dapat dibuat lebih variatif tidak hanya mati, redup dan nyala.
3. Penggunaan sensor IR *obstacle* ada kelemahannya dalam menggunakan metode deteksi infra merah, yaitu dapat mempengaruhi proses pendeteksian jika ada sumber cahaya eksternal lain, sifat reflektif permukaan benda dan warna benda yang terdeteksi dapat mengganggu pembacaan sensor.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Syahri, "Audit Energi Listrik Di SMK Negeri 2 Pontianak," *ELKHA (Jurnal Tek. Elektro)*, vol. 7, no. 1, pp. 28–34, 2015, [Online]. Available: http://jurnal.untan.ac.id/index.php/Elkha/article/viewFile/12022/11144.

[2] K. Bina, W. Jl, H. R. Soebrantas, and S. Baru, "RANCANG BANGUN APLIKASI MONITORING KONSUMSI ENERGI LISTRIK 1 FASA PELANGGAN PLN PASCABAYAR BERBASIS WEB SERVER Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1 , 2) Dosen Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektro S1 , Fakultas Teknik Universitas Riau Email : ," vol. 6, pp. 1–6, 2019.

[3] A. Ardiansyah, "Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT (Internet of Things)," 2020, [Online]. Available: https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/23561.

[4] R. A. Hidayat, H. Gusdevi, and A. N. Ramdhon, "Sistem pengendali lampu dan pendingin ruangan otomatis berdasarkan jumlah orang berbasis mikrokontroler 1," no. September, pp. 111–116, 2019.

[5] E. P. Wildani, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Penggunaan Daya Listrik Di Rumah Tangga," vol. 6, no. 4, pp. 51–57, 2019.

[6] R. Samsinar, R. R. Fitria Mulyadi, and D. A. Prambudi, "Sistem Monitoring Besaran Listrik dan Energi Penerangan Jalan Umum Secara Realtime Berbasis Web," *Resist. (elektRonika kEndali Telekomun. tenaga List. kOmputeR)*, vol. 1, no. 1, p. 7, 2018, doi: 10.24853/resistor.1.1.7-12.

[7] D. Biologi, F. Matematika, D. A. N. Ilmu, P. Alam, and U. S. Utara, "Departemen biologi fakultas matematika dan ilmu pengetahuan alam

universitas sumatera utara 2020," 2020.

[8] I. W. Yoga Widiana, I. G. A. P. Raka Agung, and P. Rahardjo, "Rancang Bangun Kendali Otomatis Lampu Dan Pendingin Ruangan Pada Ruang Perkuliahan Berbasis Mikrokontroler Arduino Nano," *J. SPEKTRUM*, vol. 6, no. 2, p. 112, 2019, doi: 10.24843/spektrum.2019.v06.i02.p16.

[9] D. Almanda and E. Dermawan, "Manajemen Konsumsi Energi Listrik Dengan Menggunakan Sensor Pir Dan Lm 35," *Elektum*, vol. 14, no. 1, pp. 16–22, 1979.

[10] I. D. Sara and M. Syukri, "Prototipe Pengukuran Pemakaian Energi Listrik Pada Kamar Kos Dalam Satu Hunian Berbasis Arduino Uno R3 Dan Gsm Shield Sim900," *J. Karya Ilm. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 3, pp. 47–56, 2016.

[11] D. Satyagraha, S. Abduh, and I. Kasim, "Manajemen Energi di Industri: Optimasi Sisi Utiliti pada Industri Ban," *Jetri J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 17, no. 2, p. 191, 2020, doi: 10.25105/jetri.v17i2.5362.

[12] J. Juni, "Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah Evaluasi Penggunaan Listrik dengan Metode Konservasi Energi untuk Efisiensi Energi di Gedung FKIP UNTIRTA Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah," vol. 12, no. 1, pp. 11–21, 2020.

[13] Kementerian Kesehatan RI, "Berita Negara," *Peratur. Menteri Kesehat. Republik Indones. Nomor 4 Tahun 2018*, vol. 151, no. 2, pp. 10–17, 2018.

[14] R. M. Lestari, I. Baihaqi, and S. F. Persada, "Praktik Manajemen Energi pada Industri Manufaktur," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 1, 2018, doi: 10.12962/j23373539.v7i1.28716.

[15] H. Berchmans, S. Suaib, I. Agustina, R. Panjaitan, and Winne, “Panduan Penghematan Energi di Gedung Pemerintah,” no. 13, p. 100, 2014, [Online]. Available: Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) nomor 13 tahun 2012 tentang Penghematan Pemakaian Energi Listrik dengan jelas menyatakan bahwa seluruh bangunan gedung kantor pemerintah baik di pusat maupun daerah harus melaksanakan program Penghem.

[16] A. Ghurri, “Konsep Manajemen Energi,” p. 111, 2016, [Online]. Available: https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_pendidikan_1_dir/8258d0c1b0def380459c869708393bbf.pdf.

[17] M. Ramdani, “Rangkaian Listrik (Revisi),” *Sekol. Tinggi Teknol. Bandung*, p. 301, 2005, [Online]. Available: https://repository.dinus.ac.id/docs/ajar/Rangkaian_Listrik.pdf.

[18] R. Jefysa *et al.*, “AKADEMI KOMUNITAS NEGERI PELALAWAN MENGGUNAKAN FUZZY,” pp. 1–11.

[19] J. Riyanto, F. Nurlaila, H. Haerudin, and B. T. Jarastino, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Ruang Kelas Berbasis Internet of Things pada Universitas Pamulang,” *J. Inform. Univ. Pamulang*, vol. 5, no. 4, p. 483, 2021, doi: 10.32493/informatika.v5i4.7018.

[20] Y. P. Sudarmojo *et al.*, “ANALISIS PELUANG HEMAT ENERGI UNTUK GEDUNG POLITEKNIK NEGERI BALI (PNB).”

[21] A. Imran and M. Rasul, “Pengembangan Tempat Sampah Pintar Menggunakan Esp32,” *J. Media Elektr.*, vol. 17, no. 2, pp. 2721–9100, 2020, [Online]. Available: https://ojs.unm.ac.id/mediaelektrik/article/view/14193.

[22] M. Iirsyam, "Perancangan Alat Pendeteksi Kelayakan Oli Pada Kendaraan Sepeda Motor Berbasis Arduino Uno Atmega328," *Sigma Tek.*, vol. 2, no. 2, p. 179, 2019, doi: 10.33373/sigma.v2i2.2061.

[23] U. Kri, "JURNAL ILMIAH ELEKTROKRISNA," vol. 09, no. 3, 2021.

[24] Y. N. I. Fathulrohman and M. K. Asep Saepuloh, ST., "Alat Monitoring Suhu Dan Kelembaban Menggunakan Arduino Uno," *J. Manaj. Dan Tek. Inform.*, vol. 02, no. 01, pp. 161–171, 2018, [Online]. Available: http://jurnal.stmik-dci.ac.id/index.php/jumantaka/article/viewFile/413/467.

[25] T. Nusa, S. R. U. A. Sompie, and E. M. Rumbayan, "Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Secara Real Time Berbasis Mikrokontroler," *E-Jurnal Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 4, no. 5, pp. 19–26, 2015, [Online]. Available: https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/download/9974/9560.

[26] Sinau Programming, "KONTROL KELUARAN SINYAL AC DENGAN AC Light Dimmer Module," *www.sinauprogramming.com*. https://www.sinauprogramming.com/2020/10/kontrol-keluaran-sinyal-ac-dengan-ac.html (accessed Feb. 11, 2023).

[27] I. C. Mauko and S. Tunliu, "Kontrol Arah Gerak Web Kamera (Webcam) Berbasis Web," *J. Ilm. Flash*, vol. 2, no. 2, p. 106, 2016, doi: 10.32511/jiflash.v2i2.31.

[28] O. Rizan and Hamidah, "Jurnal Teknologi Informatika dan Komputer," vol. 3, no. 1, 2016.

[29] N. A. Firdausi, *Prototipe Alat Monitoring Detak Jantung Portabel Menggunakan Arduino Pro Mini Dan Bluetooth Berbasis Android*. 2018.