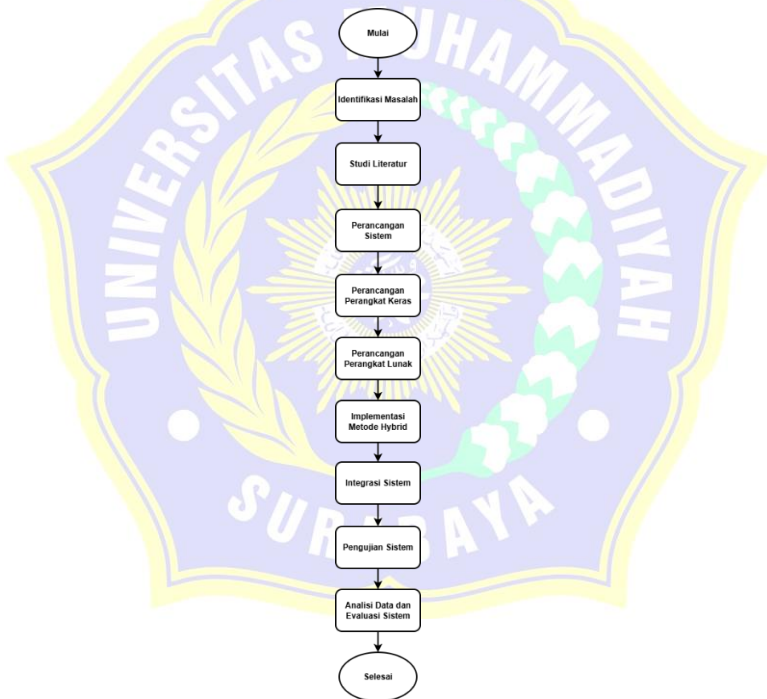


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) secara eksperimental untuk merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem monitoring kelistrikan satu fasa berbasis IoT. Metode ini dipilih untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam mendeteksi dini kondisi *overload* dan *power fluctuation*. Rangkaian tahapan penelitian disistematisasikan sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Pada Gambar 3.1 Tahapan penelitian merupakan langkah-langkah sistematis yang dilakukan dalam proses perancangan, implementasi, serta

pengujian sistem monitoring parameter listrik berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk mendeteksi kondisi *overload* dan *power fluctuation* pada sistem listrik satu fasa. Tahapan penelitian dalam studi ini disusun secara terstruktur mulai dari identifikasi permasalahan hingga analisis hasil pengujian sistem.

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah

Tahap identifikasi masalah dilakukan untuk memahami permasalahan yang terjadi pada sistem listrik satu fasa, khususnya terkait gangguan *overload* dan *power fluctuation* yang dapat menurunkan kualitas daya listrik. Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap kondisi nyata di lapangan, termasuk keterbatasan sistem monitoring yang belum mampu melakukan deteksi dini serta masih bergantung pada metode sederhana berbasis ambang batas tanpa mempertimbangkan tren perubahan parameter listrik.

2. Studi Literatur

Tahap studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan teori yang mendukung penelitian. Kajian meliputi konsep kualitas daya listrik, karakteristik *overload* dan *power fluctuation*, teknologi sensor pengukuran parameter listrik, serta metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu *Threshold*, *Simple Moving Average*, dan *Fuzzy Sugeno*. Studi literatur dilakukan dengan mengkaji jurnal ilmiah, buku referensi, serta penelitian terdahulu yang relevan.

3. Perancangan Sistem

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem monitoring listrik secara keseluruhan yang meliputi arsitektur sistem, alur kerja sistem, serta integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak. Sistem dirancang untuk mampu melakukan pengukuran parameter listrik secara real-time, mengolah data menggunakan metode hybrid, serta menampilkan hasil monitoring melalui platform IoT.

4. Perancangan Perangkat Keras

Tahap perancangan perangkat keras meliputi penyusunan rangkaian sistem yang terdiri dari sensor PZEM-004T sebagai alat ukur parameter

listrik, mikrokontroler ESP32 sebagai pengolah data, serta komponen pendukung lainnya. Sensor digunakan untuk mengukur tegangan, arus, daya aktif, dan faktor daya pada sistem listrik satu fasa.

5. Perancangan Perangkat Lunak

Pada tahap ini dilakukan pengembangan perangkat lunak menggunakan Arduino IDE untuk mengatur proses pembacaan data dari sensor, pengolahan data, serta pengiriman data ke platform IoT. Sistem dirancang agar mampu menampilkan parameter listrik secara realtime melalui aplikasi Blynk.

6. Implementasi Metode Hybrid

Tahap ini merupakan inti dari penelitian, yaitu pengembangan algoritma deteksi dini menggunakan metode hybrid yang menggabungkan *Threshold*, *Simple Moving Average*, dan *Fuzzy Sugeno*. Metode *Threshold* digunakan untuk menentukan batas kondisi normal dan abnormal. Metode SMA digunakan untuk mereduksi noise serta mengidentifikasi tren perubahan daya aktif. Selanjutnya, metode Fuzzy Sugeno digunakan untuk menghasilkan keputusan yang adaptif terhadap kondisi sistem listrik.

7. Integrasi Sistem

Pada tahap ini dilakukan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dirancang. Sistem yang telah dikembangkan kemudian diimplementasikan secara keseluruhan sehingga mampu melakukan pengukuran, pengolahan, serta pengiriman data secara real-time.

8. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem monitoring yang telah dikembangkan. Pengujian Overload Penambahan daya dan Pengujian Power Fluctuation Perubahan daya yang diatur manual sesuai dengan tingkat kondisi menggunakan modul Dimmmer AC.

9. Analisis Data dan Evaluasi Sistem

Tahap akhir penelitian adalah analisis data hasil pengujian sistem. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil deteksi sistem terhadap kondisi aktual serta mengevaluasi tingkat akurasi deteksi, kemampuan sistem dalam merespons perubahan beban, serta frekuensi terjadinya false

alarm. Hasil evaluasi digunakan untuk menilai kinerja metode hybrid yang diusulkan dalam penelitian ini.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

3.2.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada periode bulan Februari 2026 sampai dengan Juni 2026. Kegiatan penelitian meliputi studi literatur, perancangan perangkat keras (hardware), pengembangan perangkat lunak (software), implementasi metode Threshold, Simple Moving Average (SMA), dan Fuzzy Sugeno, pengujian sistem, pengambilan data, analisis hasil, serta penyusunan laporan penelitian.

3.2.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Perumahan dengan listrik satu fasa. Kegiatan perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring listrik satu fasa berbasis Internet of Things (IoT) dilakukan pada lingkungan laboratorium menggunakan sumber listrik AC satu fasa dengan variasi beban yang disimulasikan untuk menghasilkan kondisi normal, waspada overload, overload, waspada fluktuasi daya , fluktuasi daya dan gangguan *Overload*. Pengujian dilakukan secara terkontrol sehingga parameter arus, tegangan, daya aktif, dan faktor daya dapat diamati dan dianalisis sesuai kebutuhan penelitian.

3.3 Jadwal Penelitan

Kegiatan	Bulan
----------	-------

	Februari				Maret				April				Mei				Juni			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi literatur																				
Perancangan Hardware																				
Perancangan Software																				
Implementasi Metode																				
Pengujian Sistem																				
Pengambilan dan Analisis Data																				
Penyusunan Laporan																				

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Pada penelitian ini digunakan beberapa perangkat keras dan perangkat lunak yang berfungsi untuk mendukung proses perancangan, implementasi, serta pengujian sistem monitoring parameter listrik berbasis Internet of Things (IoT). Perangkat yang digunakan terdiri dari komponen perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) yang saling terintegrasi dalam sistem yang dikembangkan.

3.4.1 Alat Penelitian

Tabel 3. 2 Alat Penelitian

No	Alat	Fungsi
1	Laptop Processor : Intel(R) Celeron RAM : 24 GB	Digunakan untuk pemrograman, pengolahan data, serta pembuatan laporan penelitian.
2	Arduino IDE	Digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke mikrokontroler ESP32.
3	Avometer ZT102A	Digunakan untuk mengukur dan memverifikasi parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, dan kontinuitas rangkaian.
4	Tespen	Digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan tegangan pada penghantar listrik saat proses perakitan dan pengujian.

3.4.2 Bahan Penelitian

Tabel 3. 3 Bahan Penelitian

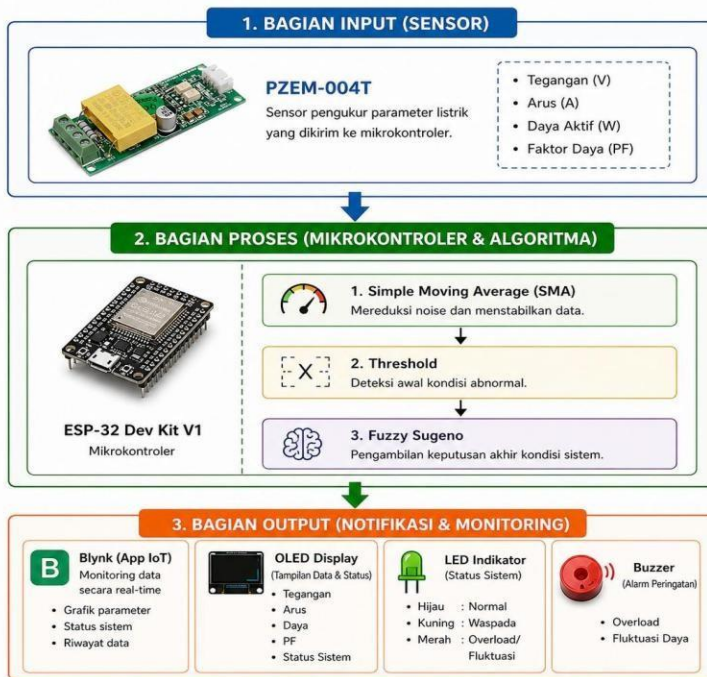
No	Bahan	Fungsi
1	Sensor PZEM-004T	Mengukur parameter kelistrikan.
2	ESP32 DevKit V1	Mengolah data dan mengendalikan sistem.
3	Expansion Board ESP32	Mempermudah koneksi komponen ke ESP32.
4	OLED TFT Display	Menampilkan data monitoring dan status sistem.
5	Buzzer Pasif	Memberikan peringatan suara.
6	LED	Memberikan indikator kondisi sistem.
8	MCB	Pengaman rangkaian listrik dan juga sebagai batas arus

9	Adaptor DC 5V	Catu daya sistem.
10	Dimmer AC	Switching beban saat pengujian.
11	Kabel Jumper	Menghubungkan antar komponen.
12	Beban Listrik	Objek pengujian sistem.
13	Kotak Kontak	Sebagai Media Penghubung Sumber dan Juga Beban

3.5 Perancangan Sistem

Perancangan sistem pada penelitian ini bertujuan untuk merancang suatu sistem monitoring kelistrikan *berbasis Internet of Things (IoT)* yang mampu melakukan pengukuran parameter listrik secara real-time serta mendeteksi secara dini kondisi *overload* dan *power fluctuation* pada sistem listrik satu fasa. Sistem dirancang dengan mengintegrasikan Sensor PZEM-004T, mikrokontroler ESP 32, serta metode hybrid yang terdiri dari *threshold*, *Simple Moving Average (SMA)*, dan Fuzzy Sugeno untuk menghasilkan keputusan yang lebih adaptif dan akurat.

3.5.1 Arsitektur Sistem



Gambar 3. 2 Diagram Arsitektur Sistem

Pada Gambar 3.2 menunjukkan Diagram Arsitektur sistem yang dirancang dalam penelitian ini terdiri dari tiga bagian utama, yaitu bagian input, proses, dan output. Ketiga bagian tersebut saling terintegrasi untuk membentuk sistem monitoring kelistrikan berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan pengukuran, pengolahan, serta penyampaian informasi secara real-time.

1. Bagian Input (Sensor)

Pada bagian input digunakan sensor PZEM-004T yang berfungsi untuk mengukur parameter kelistrikan pada sistem satu fasa. Parameter yang diukur meliputi tegangan (Volt), arus (Ampere), daya aktif (Watt), serta faktor daya ($\cos \phi$).

Sensor ini bekerja dengan membaca kondisi listrik secara langsung dari beban yang terhubung, sehingga data yang diperoleh merepresentasikan kondisi aktual sistem. Data hasil pengukuran tersebut kemudian dikirimkan ke unit proses untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut.

2. Bagian Proses (Mikrokontroler dan Algoritma)

Data hasil pembacaan sensor diproses oleh mikrokontroler ESP32 Dev Kit V1 yang berperan sebagai pusat kendali sistem. Pada tahap ini dilakukan pengolahan data menggunakan metode hybrid yang terdiri dari beberapa tahapan berurutan.

- Tahap awal adalah penerapan metode *Simple Moving Average* (SMA) yang berfungsi untuk mereduksi noise dan menstabilkan data hasil pengukuran. Selanjutnya, data yang telah difilter akan dibandingkan dengan nilai threshold untuk mendeteksi kondisi awal apakah sistem berada dalam batas normal atau tidak.
- Tahap akhir adalah penerapan metode *Fuzzy Sugeno* yang digunakan untuk melakukan pengambilan keputusan secara adaptif berdasarkan beberapa parameter input secara simultan. Metode ini menghasilkan klasifikasi kondisi sistem seperti normal, waspada, fluktuasi daya, dan overload.

3. Bagian Output (Monitoring dan Notifikasi)

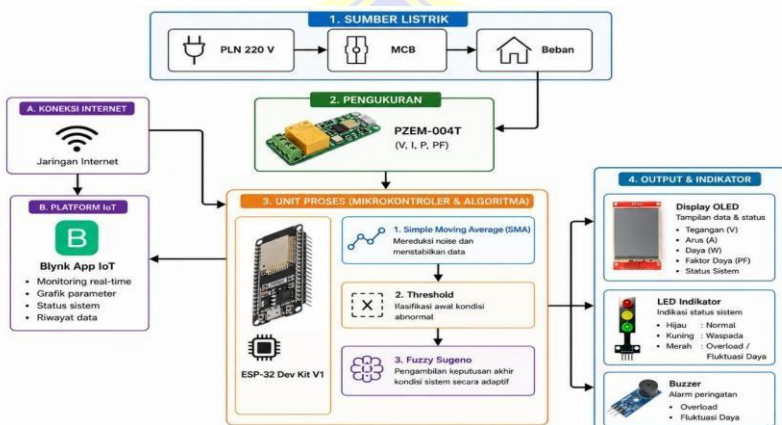
Hasil pengolahan data ditampilkan melalui beberapa media output yang berfungsi sebagai sarana monitoring dan notifikasi kepada pengguna.

Monitoring secara real-time dilakukan melalui platform IoT menggunakan aplikasi Blynk, yang menampilkan parameter kelistrikan serta status sistem. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan display OLED yang digunakan untuk menampilkan informasi secara lokal, seperti nilai tegangan, arus, daya, faktor daya, serta status kondisi sistem.

Sebagai indikator visual, digunakan LED yang menunjukkan kondisi sistem secara langsung berdasarkan kategori yang telah ditentukan. Selain itu, buzzer digunakan sebagai alarm peringatan apabila sistem mendeteksi kondisi abnormal seperti overload atau fluktuasi daya yang signifikan.

Dengan adanya kombinasi output lokal dan berbasis IoT, sistem mampu memberikan informasi secara cepat dan responsif baik secara langsung maupun jarak jauh.

3.5.2 Diagram Blok Sistem



Gambar 3. 3 Diagram Blok Sistem

Pada Gambar 3.3 Diagram blok sistem digunakan untuk menggambarkan hubungan antar komponen serta aliran daya dan data pada sistem monitoring kelistrikan yang dirancang. Sistem ini terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu sumber listrik, unit pengukuran, unit proses, koneksi IoT, serta bagian output dan indikator.

1. Sumber Listrik

Bagian sumber listrik merupakan awal dari sistem yang terdiri dari suplai listrik PLN 220 Volt yang dialirkan melalui *Miniature Circuit Breaker* (MCB) sebagai perangkat proteksi. MCB berfungsi untuk memutus aliran listrik apabila terjadi arus lebih atau gangguan pada sistem. Energi listrik yang

telah melewati MCB kemudian disalurkan ke beban sebagai objek pengukuran.

2. Unit Pengukuran

Pada bagian ini digunakan sensor PZEM-004T yang terhubung pada jalur beban untuk mengukur parameter kelistrikan secara langsung. Parameter yang diukur meliputi tegangan (V), arus (A), daya aktif (W), serta faktor daya (PF).

Sensor ini bekerja secara real-time dan mengirimkan data hasil pengukuran ke unit proses dalam bentuk data digital.

3. Unit Proses (Mikrokontroler dan Algoritma)

Unit proses menggunakan mikrokontroler ESP32 Dev Kit V1 yang berfungsi sebagai pusat pengendali sistem. Data yang diterima dari sensor kemudian diolah menggunakan metode hybrid yang digunakan.

Tahap pertama adalah penerapan metode Simple Moving Average (SMA) untuk mereduksi noise dan menstabilkan data hasil pengukuran. Selanjutnya dilakukan evaluasi menggunakan metode *threshold* untuk mendeteksi kondisi awal apakah sistem berada dalam batas normal atau tidak.

Tahap akhir adalah penerapan metode Fuzzy Sugeno yang digunakan untuk menentukan kondisi sistem secara adaptif berdasarkan beberapa parameter yang telah diolah sebelumnya. Hasil dari proses ini berupa klasifikasi kondisi sistem seperti normal, waspada, power *fluctuation*, dan *overload*.

4. Koneksi Internet dan Platform IoT

Sistem dilengkapi dengan koneksi internet yang memungkinkan pengiriman data ke platform Internet of Things (IoT). Dalam penelitian ini digunakan aplikasi Blynk sebagai media monitoring.

Data hasil pengolahan dari mikrokontroler dikirimkan ke platform IoT (Blynk) sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem secara real-time, melihat grafik parameter kelistrikan, serta mengetahui status sistem dari jarak jauh.

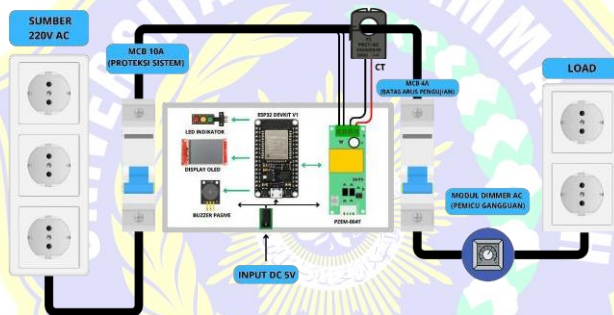
5. Output dan Indikator

Bagian output berfungsi untuk menampilkan hasil pengolahan data serta memberikan peringatan kepada pengguna. Output sistem terdiri dari beberapa komponen, yaitu:

- Display OLED, digunakan untuk menampilkan parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, faktor daya, serta status sistem secara langsung pada perangkat.
- LED indikator, digunakan sebagai penanda visual kondisi sistem, seperti normal, waspada, atau gangguan.
- Buzzer, digunakan sebagai alarm peringatan apabila terdeteksi kondisi abnormal seperti *overload* atau *power fluctuation*.

Dengan adanya kombinasi output lokal dan berbasis IoT, sistem mampu memberikan informasi secara cepat, akurat, dan responsif baik secara langsung maupun jarak jauh.

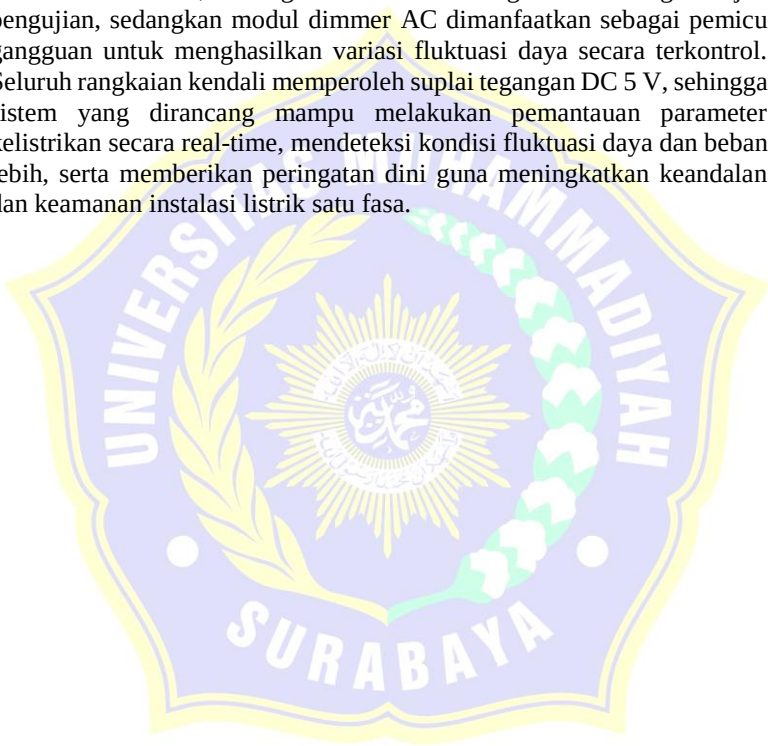
3.5.3 Prototype Perangkat Keras



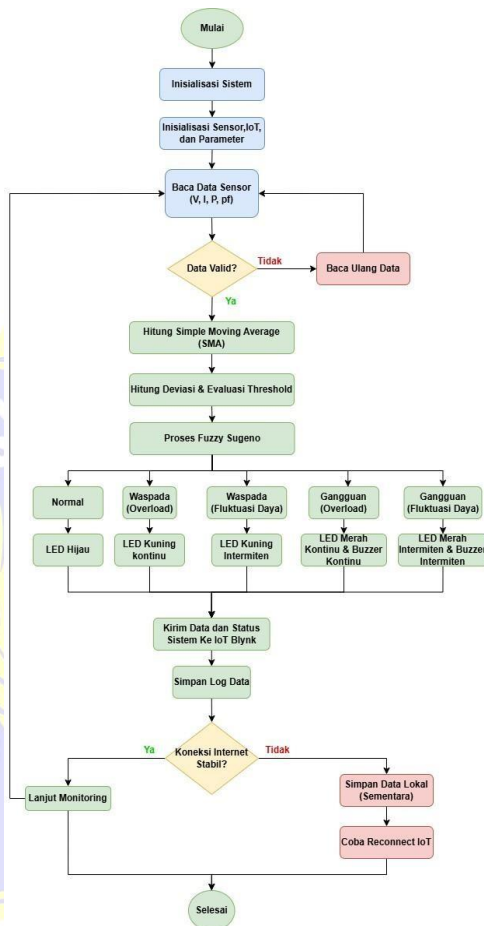
Gambar 3. 4 Design Prototype Perangkat Keras

Pada Gambar 3.4 menunjukkan prototipe sistem monitoring dan deteksi dini gangguan pada instalasi listrik satu fasa berbasis *Internet of Things* (IoT) yang menerapkan metode *Simple Moving Average* (SMA), *threshold*, dan *Fuzzy Sugeno*. Sistem memperoleh suplai tegangan dari sumber AC 220 V yang terlebih dahulu melewati MCB 10 A sebagai proteksi utama, kemudian diteruskan menuju MCB 4 A yang digunakan sebagai batas arus maksimum selama pengujian. Parameter kelistrikan berupa tegangan, arus, daya aktif, faktor daya, frekuensi, dan energi listrik diukur menggunakan sensor PZEM-004T yang dilengkapi dengan *Current Transformer* (CT), kemudian data hasil pengukuran dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 DevKit V1 sebagai pusat pemrosesan sistem. Pada ESP32, data daya aktif diolah menggunakan metode *Simple Moving*

Average (SMA) untuk memperoleh nilai yang lebih stabil dan menghitung deviasi daya, nilai deviasi daya dan nilai arus digunakan sebagai Input pada metode Fuzzy Sugeno untuk menentukan kondisi sistem yang meliputi normal, waspada fluktuasi, fluktuasi daya, waspada *overload*, dan *overload*. Hasil pengolahan data ditampilkan secara lokal melalui layar OLED, sedangkan LED indikator dan buzzer pasif berfungsi sebagai media peringatan ketika terdeteksi adanya gangguan. Pada sisi keluaran, berbagai beban listrik digunakan sebagai objek pengujian, sedangkan modul dimmer AC dimanfaatkan sebagai pemicu gangguan untuk menghasilkan variasi fluktuasi daya secara terkontrol. Seluruh rangkaian kendali memperoleh suplai tegangan DC 5 V, sehingga sistem yang dirancang mampu melakukan pemantauan parameter kelistrikan secara *real-time*, mendeteksi kondisi fluktuasi daya dan beban lebih, serta memberikan peringatan dini guna meningkatkan keandalan dan keamanan instalasi listrik satu fasa.



3.5.4 Alur Kerja Sistem



Gambar 3. 5 Flowchart Sistem

Pada gambar 3.5 tahapan operasional sistem monitoring kelistrikan yang dirancang, mulai dari proses inisialisasi hingga monitoring secara berkelanjutan. Sistem bekerja secara real-time dengan melakukan proses akuisisi data, pengolahan menggunakan metode hybrid, serta penyampaian informasi kepada pengguna melalui media lokal dan berbasis Internet of Things (IoT).

1. Inisialisasi Sistem

Tahap awal sistem dimulai dengan proses inisialisasi perangkat keras dan perangkat lunak. Mikrokontroler ESP32 melakukan konfigurasi komunikasi serial dengan sensor PZEM-004T, inisialisasi layar OLED, LED indikator, buzzer, serta koneksi WiFi untuk komunikasi dengan platform IoT Blynk. Pada tahap ini juga dilakukan penentuan parameter sistem seperti nilai *threshold overload*, *threshold power fluctuation*, dan ukuran window *Simple Moving Average* (SMA). Sistem hanya akan melanjutkan ke tahap berikutnya apabila seluruh komponen berhasil terhubung dan berfungsi dengan baik.

2. Akuisisi Data Sensor

Setelah proses inisialisasi selesai, ESP32 melakukan pembacaan data dari sensor PZEM-004T secara periodik. Parameter yang diukur meliputi tegangan (V), arus (I), daya aktif (P), dan faktor daya (PF). Data hasil pengukuran ini menjadi masukan utama dalam proses analisis kondisi sistem kelistrikan.

3. Validasi Data Pengukuran

Data hasil pembacaan sensor diperiksa terlebih dahulu untuk memastikan nilainya berada pada rentang operasi yang wajar. Apabila ditemukan data tidak valid, seperti nilai kosong, nilai negatif yang tidak semestinya, atau pembacaan yang berada di luar batas pengukuran sensor, maka data tersebut diabaikan dan sistem melakukan pembacaan ulang hingga diperoleh data yang valid.

4. Pengolahan Data Menggunakan Metode Hybrid

Data yang telah valid selanjutnya diproses menggunakan metode hybrid yang terdiri dari tiga tahapan utama.

a. Perhitungan *Simple Moving Average* (SMA)

Metode SMA digunakan untuk menghitung rata-rata daya aktif. Tujuan penerapan SMA adalah mereduksi noise pengukuran daya aktif, setelah itu pengukuran Daya Aktif hasil dari SMA dilakukan perbandingan dengan daya aktif(aktual) untuk menemukan selisih daya (deviasi daya).

b. Evaluasi Threshold

Evaluasi *Threshold* berfokus menggunakan parameter Arus dan Deviasi daya Hasil dari perbandingan Daya SMA dan Daya aktual. *Thrshold* Sebagai klasifikasi awal sebelum ketahap klasifikasi Fuzzy Sugeno.

c. Klasifikasi Menggunakan Fuzzy Sugeno

Pada tahap ini Parameter Arus dan Parameter Deviasi daya. Proses inferensi fuzzy dilakukan untuk menentukan tingkat kondisi sistem secara lebih adaptif dibandingkan metode *threshold* tunggal.

5. Penentuan Status Sistem

Berdasarkan hasil perhitungan metode hybrid, sistem mengklasifikasikan kondisi kelistrikan ke dalam lima kategori, yaitu:

- Normal
- Waspada Fluktuasi Daya
- Waspada Overload
- Fluktuasi Daya
- Overload

Status ini digunakan sebagai dasar pengaktifan indikator peringatan dan notifikasi kepada pengguna.

6. Aktivasi Output Sistem

Setelah kondisi sistem ditentukan, ESP32 mengaktifkan perangkat keluaran sesuai status yang terdeteksi.

- Normal: LED hijau menyala, buzzer tidak aktif.
- Waspada Fluktuasi: LED kuning berkedip, buzzer tidak aktif.
- Waspada Overload: LED kuning menyala tetap, buzzer tidak aktif.
- Fluktuasi Daya : LED merah berkedip disertai buzzer berbunyi putus-putus.
- Overload: LED merah menyala terus-menerus disertai buzzer berbunyi kontinu.

Selain itu, layar OLED menampilkan nilai tegangan, arus, daya aktif, faktor daya, dan status sistem secara langsung.

7. Pengiriman Data ke Platform IoT

Data pengukuran dan status sistem dikirim secara real-time ke aplikasi Blynk melalui jaringan internet. Informasi yang ditampilkan meliputi nilai parameter kelistrikan, grafik pemantauan, serta status kondisi sistem sehingga dapat dipantau dari jarak jauh menggunakan smartphone atau komputer.

8. Penyimpanan Data dan Penanganan Koneksi

Sistem secara berkala memeriksa kondisi koneksi internet. Apabila koneksi tersedia, data langsung dikirim ke server Blynk. Jika koneksi terputus, data sementara disimpan di memori lokal dan sistem akan melakukan proses reconnect secara otomatis hingga koneksi kembali normal.

9. Monitoring Berkelanjutan

Setelah seluruh proses selesai, sistem kembali melakukan pembacaan data sensor dan mengulangi seluruh tahapan secara terus-menerus. Siklus ini memungkinkan sistem melakukan monitoring kondisi listrik satu fasa secara real-time, mendeteksi overload dan fluktuasi daya secara dini, serta memberikan peringatan kepada pengguna sebelum terjadi gangguan yang lebih serius.

3.6 Perancangan Perangkat Keras

3.6.1 Perancangan Rangkaian Sistem

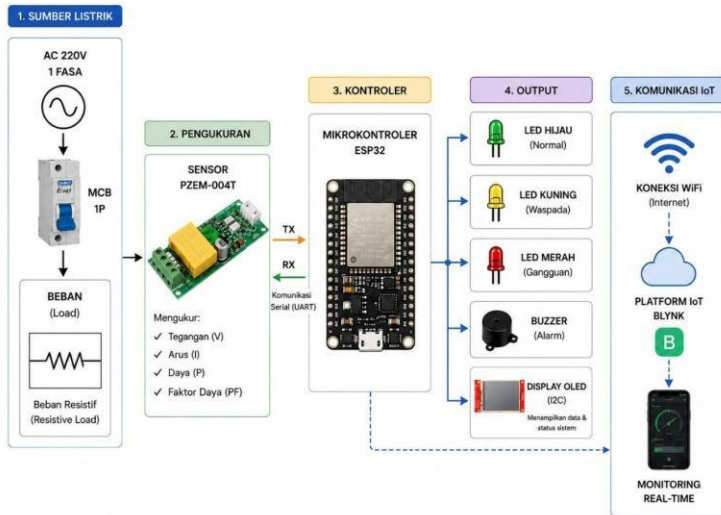
Rangkaian sistem dirancang dengan menghubungkan sensor PZEM-004T dengan mikrokontroler melalui komunikasi serial. Sensor dihubungkan ke jalur listrik satu fasa untuk membaca parameter kelistrikan secara langsung.

Mikrokontroler kemudian terhubung dengan:

- Sensor PZEM-004T untuk pengambilan data
- LED dan Buzzer sebagai indikator output
- Jaringan WiFi untuk komunikasi IoT

Rangkaian ini memungkinkan sistem bekerja secara real-time dalam membaca dan mengolah data.

3.6.2 Diagram Blok Perangkat Keras



Gambar 3. 6 Diagram Blok Perangkat Keras

Pada Gambar 3.6 diagram blok perangkat keras menunjukkan hubungan antar komponen utama yang digunakan dalam sistem monitoring kelistrikan berbasis Internet of Things (IoT). Sistem terdiri atas lima bagian utama, yaitu sumber listrik, unit pengukuran, unit pengendali, unit keluaran (output), dan komunikasi IoT.

Pada bagian sumber listrik, energi listrik satu fasa 220 VAC dialirkan melalui MCB (Miniature Circuit Breaker) menuju beban. MCB berfungsi sebagai pengaman rangkaian terhadap kondisi arus lebih, sedangkan beban merupakan objek yang diamati selama proses monitoring.

Bagian pengukuran menggunakan sensor PZEM-004T yang berfungsi untuk mengukur parameter kelistrikan pada sistem, meliputi tegangan (V), arus (I), daya aktif (P), dan faktor daya (PF). Data hasil pengukuran kemudian dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi serial UART menggunakan jalur TX dan RX.

Pada bagian kontroler, ESP32 berfungsi sebagai pusat pengolahan data. Mikrokontroler menerima data dari sensor PZEM-004T, kemudian melakukan pemrosesan menggunakan metode yang telah dirancang, yaitu

Simple Moving Average (SMA), *Threshold*, dan *Fuzzy Sugeno*, untuk menentukan kondisi sistem seperti normal, waspada, fluktuasi daya, atau overload.

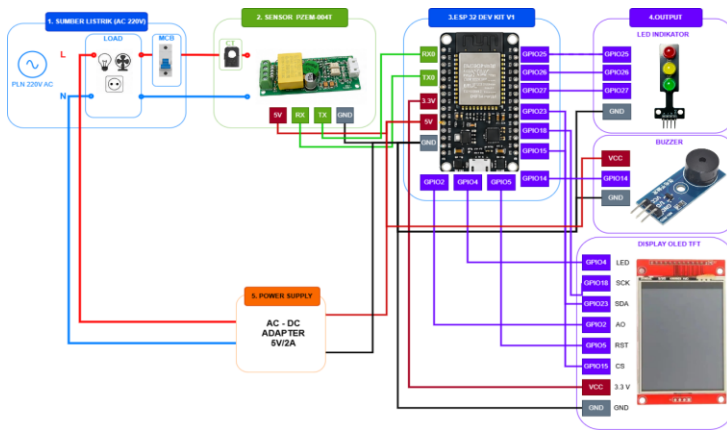
Bagian output digunakan untuk memberikan informasi kondisi sistem kepada pengguna. Indikator LED hijau menunjukkan kondisi normal, LED kuning menunjukkan kondisi waspada, dan LED merah menunjukkan kondisi gangguan. Selain itu, buzzer digunakan sebagai alarm suara ketika sistem mendeteksi kondisi yang memerlukan perhatian pengguna. Informasi parameter kelistrikan dan status sistem juga ditampilkan secara lokal melalui layar OLED TFT.

Pada bagian komunikasi IoT, ESP32 memanfaatkan koneksi WiFi untuk mengirimkan data monitoring ke platform Blynk melalui internet. Dengan demikian, pengguna dapat memantau nilai tegangan, arus, daya aktif, faktor daya, serta status sistem secara real-time melalui perangkat smartphone.

Secara keseluruhan, sistem bekerja dengan melakukan pengukuran parameter kelistrikan menggunakan sensor PZEM-004T, mengolah data menggunakan ESP32, menampilkan hasil monitoring melalui indikator lokal, serta mengirimkan data ke platform IoT untuk pemantauan jarak jauh secara real-time.

3.6.3 Wiring Diagram Perangkat Keras

Implementasi sistem pemantauan dan pengujian beban listrik berbasis IoT ini menghubungkan mikrokontroler ESP32 Dev Kit V1 dengan beberapa komponen utama, yaitu sensor daya PZEM-004T, layar tampilan OLED TFT, indikator visual (LED traffic light), indikator audio (*buzzer*), dan unit penyedia daya (*power supply*). Skema pengkabelan (*wiring diagram*) keseluruhan perangkat keras disajikan pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Wiring Diagram Perangkat Keras

Sensor PZEM-004T terhubung ke mikrokontroler ESP32 menggunakan komunikasi serial UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*). Detail pemetaan pin sensor PZEM-004T ke ESP32 ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Koneksi PZEM-004T

Pin PZEM-004T	Pin ESP32
VCC	5V
GND	GND
TX	RX0 (GPIO3)
RX	TX0 (GPIO1)

Pin TX sensor disambungkan ke pin RX0 (GPIO3) ESP32 untuk mentransmisikan data pengukuran tegangan, arus, dan daya aktif. Sebaliknya, pin RX sensor disambungkan ke pin TX0 (GPIO1) ESP32 untuk menerima perintah atau transmisi data balik. Indikator visual berupa modul LED *traffic light* (tiga warna) terhubung ke pin GPIO digital ESP32 untuk menampilkan sinyal kondisi sistem (*Normal*, *Waspada*, dan *Danger/Overload*). Pengkabelan LED indikator disajikan pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Koneksi LED Indikator

LED	Pin ESP32
LED Hijau	GPIO25
LED Kuning	GPIO26
LED Merah	GPIO27
GND	GND

Masing-masing LED dikendalikan oleh pin output digital ESP32 terpisah (GPIO25, GPIO26, dan GPIO27) berdasarkan hasil keluaran inferensi *Fuzzy Sugeno*. Indikator suara berupa modul *buzzer* terhubung ke ESP32 untuk memberikan sinyal peringatan akustik (*alarm*) saat terjadi fluktuasi daya atau pembebanan berlebih. Detail koneksi *buzzer* ditunjukkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Koneksi Buzzer

Pin Buzzer	Pin ESP32
VCC	5V
GND	GND
Signal	GPIO14

Pin sinyal *buzzer* dihubungkan ke GPIO14 ESP32 yang dikontrol secara logika logika *high/low* atau frekuensi tertentu untuk membunyikan alarm sesuai status sistem. Layar TFT digunakan sebagai antarmuka

pemantauan lokal untuk menampilkan parameter listrik dan status sistem secara *real-time*. Pengkabelan modul layar ini menggunakan antarmuka komunikasi SPI/Parallel yang disajikan pada Tabel 3.7.

Tabel 3. 7 Koneksi OLED TFT

Pin OLED TFT	Pin ESP32
LED	GPIO4
SCK	GPIO18
SDA	GPIO23
A0 (DC)	GPIO2
RST	GPIO5
CS	GPIO15
VCC	3.3V
GND	GND

Seluruh komponen elektronik dalam sistem mendapatkan suplai daya dari modul *power supply* (adaptor AC-DC) yang diturunkan untuk memberikan tegangan kerja yang sesuai bagi masing-masing perangkat. Rincian kebutuhan tegangan operasional komponen disajikan pada Tabel 3.8.

Tabel 3. 8 Koneksi Catu Daya

Komponen	Tegangan
ESP32 Dev Kit V1	5V
PZEM-004T	5V
OLED TFT	3.3V
Buzzer	5V
LED Indikator	3.3V

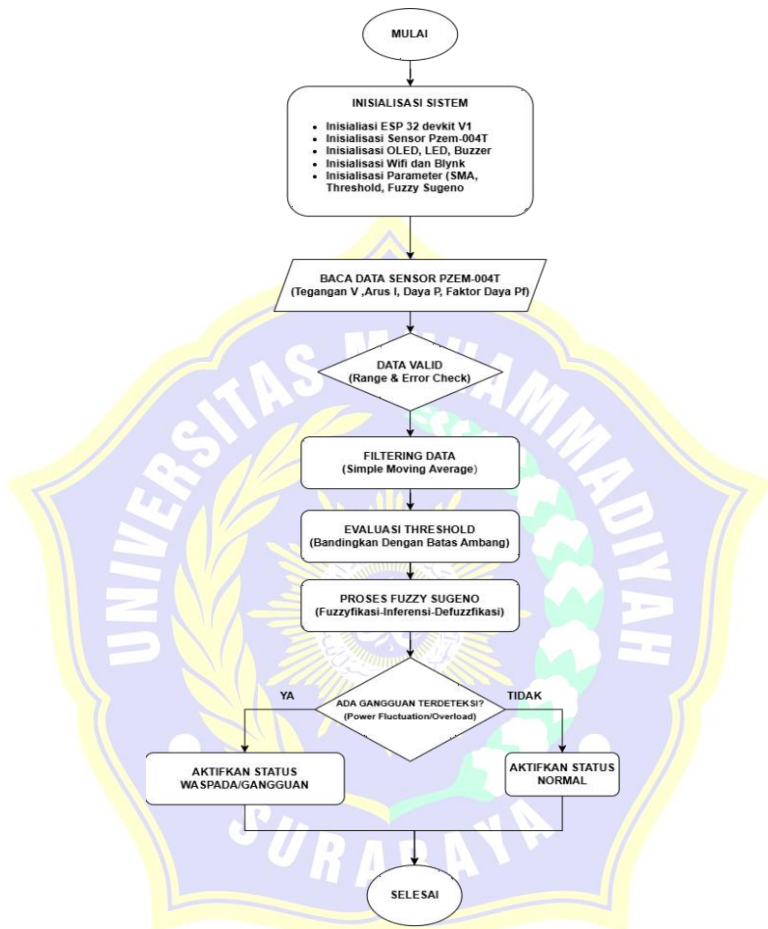
Catu daya utama memberikan tegangan 5 V DC untuk mentenagai board ESP32, sensor PZEM-004T, dan modul *buzzer*. Sementara itu, tegangan 3,3 V dialirkan ke layar OLED TFT dan modul LED indikator sesuai dengan spesifikasi ambang batas tegangan maksimum komponen tersebut.

3.7 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak bertujuan untuk mengatur mekanisme pembacaan data sensor, pengolahan algoritma, serta penyampaian informasi kepada pengguna. Tahapan perancangan ini dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu penyusunan alur program (*flowchart*) untuk menggambarkan logika kerja sistem dari awal hingga akhir, serta perancangan antarmuka (*User Interface*) yang berfungsi sebagai sarana pemantauan (*monitoring*) parameter listrik secara presisi.



3.7.1 Flowchart Alur Program



Gambar 3. 8 Flowchart Alur Program

Gambar 3.8 menunjukkan alur kerja sistem monitoring kualitas daya listrik yang diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 DevKit V1, sensor PZEM-004T, metode Simple Moving Average (SMA), dan metode Fuzzy Sugeno. Flowchart ini menggambarkan tahapan proses yang dilakukan sistem mulai dari inisialisasi hingga pengambilan keputusan terhadap kondisi kualitas daya listrik.

Proses diawali dengan tahap inisialisasi sistem, yaitu menginisialisasi seluruh perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan. Tahap ini meliputi inisialisasi mikrokontroler ESP32 DevKit V1, sensor PZEM-004T, modul OLED, LED, buzzer, koneksi WiFi dan Blynk, serta parameter sistem yang digunakan, seperti parameter Simple Moving Average (SMA), nilai ambang batas (*threshold*), dan parameter metode Fuzzy Sugeno. Tahap inisialisasi bertujuan untuk memastikan seluruh komponen telah siap beroperasi sebelum proses pemantauan dimulai.

Setelah proses inisialisasi selesai, sistem melakukan pembacaan data dari sensor PZEM-004T. Data yang diperoleh meliputi nilai tegangan (*voltage*), arus (*current*), daya aktif (*active power*), dan faktor daya (*power factor*). Selanjutnya, data hasil pembacaan akan melalui proses validasi untuk memastikan bahwa nilai yang diperoleh berada pada rentang pengukuran yang telah ditentukan dan tidak mengalami kesalahan pembacaan (*error reading*). Apabila data tidak memenuhi kriteria validasi, sistem akan mengulangi proses pembacaan hingga diperoleh data yang valid.

Data yang telah dinyatakan valid kemudian diproses menggunakan metode Simple Moving Average (SMA). Proses ini bertujuan untuk mengurangi pengaruh *noise* atau fluktuasi sesaat pada hasil pembacaan sensor sehingga menghasilkan data yang lebih stabil. Dengan demikian, kualitas data yang digunakan pada proses analisis selanjutnya menjadi lebih baik dan mampu meningkatkan keakuratan sistem dalam melakukan pengambilan keputusan.

Tahap berikutnya adalah evaluasi terhadap nilai ambang batas (*threshold*), yaitu dengan membandingkan hasil pengukuran yang telah difilter dengan batas normal yang telah ditentukan pada setiap parameter kelistrikan. Tahap ini berfungsi sebagai proses pemeriksaan awal untuk mengetahui adanya indikasi penyimpangan terhadap kondisi normal sistem.

Selanjutnya, data diproses menggunakan metode Fuzzy Sugeno yang terdiri atas tiga tahapan, yaitu *fuzzifikasi*, *inferensi* berdasarkan aturan (*rule base*), dan *defuzzifikasi*. Pada tahap fuzzifikasi, data masukan diubah menjadi derajat keanggotaan pada masing-masing himpunan fuzzy. Selanjutnya, proses inferensi dilakukan dengan menerapkan aturan-aturan fuzzy yang telah dirancang. Hasil inferensi kemudian diubah menjadi nilai

keluaran tegas (*crisp output*) melalui proses defuzzifikasi menggunakan metode Sugeno. Nilai keluaran tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan kondisi kualitas daya listrik.

Berdasarkan hasil proses Fuzzy Sugeno, sistem melakukan pengambilan keputusan untuk menentukan apakah terjadi gangguan kualitas daya listrik, seperti power fluctuation atau overload. Apabila gangguan terdeteksi, sistem akan mengaktifkan status Waspada/Gangguan serta memberikan notifikasi melalui indikator LED, buzzer, tampilan OLED, dan aplikasi Blynk. Sebaliknya, apabila tidak ditemukan indikasi gangguan, sistem akan menampilkan status Normal, yang menunjukkan bahwa kondisi kualitas daya listrik masih berada dalam batas operasi yang ditetapkan.

Keseluruhan proses tersebut dijalankan secara berulang (*looping*) selama sistem beroperasi. Dengan mekanisme tersebut, sistem mampu melakukan pemantauan kualitas daya listrik secara real-time, sehingga perubahan kondisi kelistrikan dapat dideteksi secara cepat dan informasi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar dalam melakukan tindakan pencegahan terhadap potensi gangguan pada sistem kelistrikan

3.7.2 Perancangan Antarmuka (User Interface) Monitoring

Perancangan antarmuka monitoring bertujuan untuk memudahkan pengguna dalam memantau parameter kelistrikan dan kondisi sistem secara real-time. Antarmuka yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas tampilan lokal menggunakan OLED TFT dan tampilan jarak jauh menggunakan aplikasi Blynk berbasis Internet of Things (IoT).

Informasi yang ditampilkan meliputi tegangan, arus, daya aktif, faktor daya, serta status sistem hasil pengolahan metode SMA, Threshold, dan Fuzzy Sugeno. Tampilan antarmuka dirancang sederhana agar informasi dapat dibaca dengan mudah oleh pengguna.

A. Tampilan OLED

OLED TFT digunakan sebagai media monitoring lokal yang terhubung langsung dengan ESP32. Informasi yang ditampilkan meliputi:

- Tegangan (V)
- Arus (A)
- Daya Aktif (W)

- Faktor Daya (PF)
- Status Sistem

B. Dashboard Monitoring Blynk

Dashboard Blynk digunakan untuk memantau kondisi sistem secara jarak jauh melalui perangkat smartphone. Dashboard dirancang menggunakan beberapa widget yang menampilkan parameter kelistrikan dan status sistem secara real-time.

Tabel 3. 9 Widget Monitoring Blynk

Widget	Fungsi
Gauge Display	Menampilkan tegangan
Gauge Display	Menampilkan arus
Gauge Display	Menampilkan daya aktif
Gauge Display	Menampilkan faktor daya
Label	Menampilkan status sistem
Chart	Menampilkan grafik daya

C. Tampilan Status Sistem

Status sistem yang ditampilkan pada OLED TFT dan Blynk terdiri atas lima kondisi, yaitu:

Tabel 3. 10 Status Sistem pada OLED dan Blynk

Status	Keterangan
Normal	Kondisi sistem stabil
Waspada Fluktuasi	Indikasi awal fluktuasi daya
Waspada Overload	Beban mendekati batas operasi
Fluktuasi Daya	Terjadi fluktuasi daya signifikan
Overload	Beban melebihi batas operasi

3.8 Perancangan Metode Hybrid

Perancangan metode *hybrid* dilakukan untuk mengombinasikan beberapa pendekatan pemrosesan data dan logika keputusan guna meningkatkan akurasi serta keandalan sistem *monitoring*. Penggabungan metode ini bertujuan untuk mereduksi *noise* pembacaan sensor, menentukan batas ambang operasional yang presisi, serta mengklasifikasikan status kondisi beban secara adaptif. Pada subbab ini dijelaskan tahapan perancangan dari ketiga metode utama yang digabungkan, yaitu perancangan metode *Simple Moving Average* (SMA) pada Subbab 3.8.1, perancangan metode *Threshold* pada Subbab 3.8.2, dan perancangan logika *Fuzzy Sugeno* pada Subbab 3.8.3.

3.8.1 Perancangan Metode Simple Moving Average

Simple Moving Average pada penelitian ini berfungsi untuk meratakan *noise*. Berdasarkan persamaan rumus (2.4), Maka pada penelitian ini perhitungan SMA sebagai berikut.

$$SMA = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5}{5}$$

Keterangan:

P_i = data daya ke-i (Watt)

5= jumlah sampel (window)

SMA = nilai daya hasil perataan

3.8.2 Perancangan Metode Threshold

1. Penentuan Threshold Overload

Penentuan batas ambang overload berdasarkan kapasitas MCB yang digunakan setelah itu klasifikasi early warning system berdasarkan teori safety margin.

a. Penentuan kondisi normal (baseline)

Kondisi normal (baseline) menunjukkan bahwa arus operasi masih memiliki safety margin yang besar terhadap arus nominal MCB sebesar 4 A. Nilai safety margin dihitung menggunakan persamaan rumus (2.3) :

$$SM = \frac{4 - 0}{4} \times 100\% \\ = 100\%$$

b. Penentuan kondisi waspada (warning)

Kondisi Waspada (Warning) menunjukkan bahwa safety margin mulai berkurang sehingga arus operasi mendekati batas nominal MCB.

Pada arus operasi sebesar 3,2 A, diperoleh:

$$SM = \frac{4 - 3,2}{4} \times 100\% \\ = 20\%$$

c. Penentuan Kondisi Overload (critical)

Kondisi Overload (Critical) terjadi ketika arus operasi telah mencapai batas nominal MCB sebesar 4 A.

Perhitungan safety margin adalah:

$$SM = \frac{4 - 4}{4} \times 100\% \\ = 0\%$$

2. Penentuan Threshold Power Fluctuation

Penentuan batas ambang fluktuasi daya menggunakan acuan standart tegangan SPLN dan berdasarkan rumus persamaan daya aktif listrik satu fasa.

Tabel 3. 11 Pengukuran respon fluktuasi tegangan pada Beban resistif

Pengujian	Tegangan Awal (V)	Tegangan Akhir (V)	Deviasi Tegangan	Daya Awal (W)	Daya Akhir (W)	Deviasi Daya
1 → 2	215,6	193,3	10,34%	31,6	25,4	19,62%
3 → 4	214,1	192,8	9,95%	31,2	25,3	18,91%

Berdasarkan pengukuran pada beban resistif diatas jika tegangan memiliki deviasi tepat 10% maka perubahan daya yang terjadi pada beban sekitar 19% pada penelitian ini, *threshold* fluktuasi daya ditetapkan sebesar 19% berdasarkan konversi batas toleransi penurunan tegangan 10% terhadap perubahan daya aktif pada beban resistif, yang didukung oleh analisis teoritis dan hasil pengujian eksperimental.

Dalam Penentuan nilai pada setiap kondisi pada penelitian ini megggunakan rumus safety margin (2.3).

a. Penentuan kondisi normal

Kondisi baseline merupakan kondisi ketika deviasi daya masih berada pada nilai minimum.

$$D = 0\%$$

Substitusi ke persamaan safety margin:

$$SM = \frac{19 - 0}{19} \times 100\%$$

$$SM = 100\%$$

Artinya sistem masih memiliki margin keamanan sebesar 100%, sehingga diklasifikasikan sebagai *Baseline*.

b. Penentuan kondisi waspada

Pada penelitian ini, batas awal warning ditetapkan ketika Safety Margin tersisa 50% sebagai ruang *early warning* sebelum mencapai kondisi kritis.

Diketahui:

$$SM = 50\%$$

Substitusi ke persamaan:

$$50 = \frac{19 - D}{19} \times 100$$

$$0,5 = \frac{19 - D}{19}$$

$$9,5 = 19 - D$$

$$D = 9,5\%$$

Sehingga batas awal kondisi *Warning* adalah 9,5%.

c. **Penentuan kondisi gangguan**

Kondisi critical terjadi ketika deviasi daya mencapai threshold yang telah ditetapkan.

$$D = 19\%$$

Substitusi ke persamaan:

$$SM = \frac{19 - 19}{19} \times 100\%$$

$$SM = 0\%$$

Artinya tidak terdapat lagi margin keamanan sehingga sistem berada pada kondisi *Critical*.

3.8.3 **Perancangan Metode Fuzzy Sugeno**

Penerapan metode Fuzzy Sugeno bertujuan untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam mengidentifikasi kondisi kelistrikan secara lebih adaptif dibandingkan metode *threshold* konvensional. Dengan

mempertimbangkan beberapa parameter secara simultan, sistem dapat



membedakan kondisi normal, waspada, maupun gangguan dengan tingkat akurasi yang lebih baik serta mengurangi kemungkinan terjadinya alarm palsu (*false alarm*).

1. Variabel Input dan Output

Variabel fuzzy yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas dua variabel input dan satu variabel output.

Tabel 3. 12 Variabel Fuzzy Input dan Output

2. Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*)

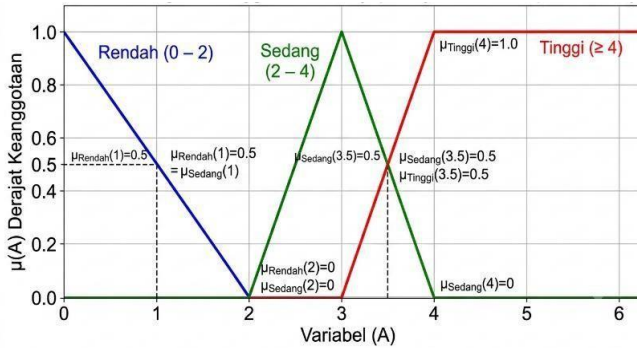
A. Variabel Arus

Variabel arus dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy, yaitu Rendah, Sedang, dan Tinggi.

Tabel 3. 13 Fungsi Keanggotaan Variabel Arus

Variabel	Jenis	Himpunan Fuzzy
Arus (A)	Input	Rendah, Sedang, Tinggi
Deviasi Daya (%)	Input	Ringan, Sedang, Berat
Status Sistem	Output	Normal, Waspada Overload, Overload, Waspada Fluktuasi Daya, dan Fluktuasi Daya

Himpunan Fuzzy	Rentang (A)
Rendah	0 – 2
Sedang	2 – 4
Tinggi	≥ 4



Gambar 3. 9 Grafik Membership Function Arus

Rendah

$$\mu_{Rendah}(I) = \begin{cases} 1, & I \leq 2 \\ \frac{4-I}{2}, & 2 < I < 4 \\ 0, & I \geq 4 \end{cases}$$

Sedang

$$\mu_{Sedang}(I) = \begin{cases} 0, & I \leq 2 \\ \frac{I-2}{1}, & 2 < I \leq 3 \\ \frac{4-I}{1}, & 3 < I < 4 \\ 0, & I \geq 4 \end{cases}$$

Tinggi

$$\mu_{Tinggi}(I) = \begin{cases} 0, & I \leq 2 \\ \frac{I-2}{2}, & 2 < I < 4 \\ 1, & I \geq 4 \end{cases}$$

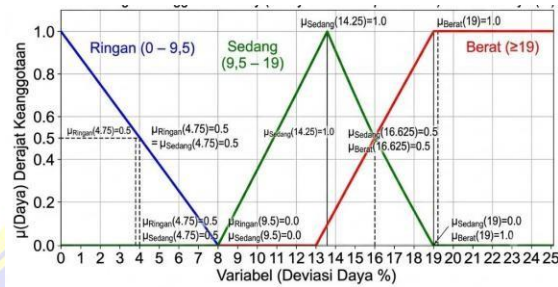
B. Variabel Deviasi Daya

Variabel deviasi daya dibagi menjadi tiga himpunan fuzzy.



Tabel 3. 14 Variabel Deviasi Daya

Himpunan Fuzzy	Deviasi Daya (%)
Ringan	0 – 9,5
Sedang	9,5 – 19
Berat	≥19



Gambar 3. 10 Grafik Member Function Deviasi Daya

Nilai deviasi daya dihitung menggunakan Persamaan:

$$D = \frac{|P_{aktual} - P_{SMA}|}{P_{SMA}} \times 100\%$$

dengan:

- D = deviasi daya (%)
- P_{aktual} = daya aktif hasil pengukuran (W)
- P_{SMA} = daya rata-rata hasil SMA (W)

Ringan

$$\mu_{Ringan}(P) = \begin{cases} 1, & P \leq 9.5 \\ \frac{19 - P}{9.5}, & 9.5 < P < 19 \\ 0, & P \geq 19 \end{cases}$$

Sedang

$$\mu_{Sedang}(P) = \begin{cases} 0, & P \leq 9.5 \\ \frac{P - 9.5}{4.75}, & 9.5 < P \leq 14.25 \\ \frac{19 - P}{4.75}, & 14.25 < P < 19 \\ 0, & P \geq 19 \end{cases}$$

Berat

$$\mu_{Berat}(P) = \begin{cases} 0, & P \leq 9.5 \\ \frac{P - 9.5}{9.5}, & 9.5 < P < 19 \\ 1, & P \geq 19 \end{cases}$$

C. Variabel Output Fuzzy Sugeno

Karena menggunakan Fuzzy Sugeno orde nol, konsekuen setiap aturan berupa konstanta.

Tabel 3. 15 Variabel Output Fuzzy Sugeno

Output Sistem	Konstanta Sugeno
Normal	0
Waspada Overload	1
Waspada Fluktuasi daya	2
Overload	3
Fluktuasi Daya	4

D. Basis Aturan Fuzzy (*Rule Base*)

Basis aturan (*rule base*) digunakan untuk merepresentasikan hubungan antara kondisi arus dan deviasi daya terhadap status sistem.

Tabel 3. 16 Rule Base Fuzzy

Rule	Arus	Deviasi Daya	Output
R1	Rendah	Ringan	Normal
R2	Rendah	Sedang	Waspada Fluktuasi
R3	Rendah	Berat	Fluktuasi
R4	Sedang	Sedang	Waspada Overload
R5	Sedang	Sedang	Waspada Overload
R6	Sedang	Berat	Fluktuasi
R7	Tinggi	Ringan	Overload
R8	Tinggi	Ringan	Overload
R9	Tinggi	High	Overload

E. Proses Inferensi

Operator AND menggunakan fungsi minimum (MIN).

$$\alpha_i = \min(\mu_{\text{arus}}, \mu_{\text{deviasi}})$$

dengan:

- α_i = firing strength aturan ke-i.
- μ_{arus} = derajat keanggotaan arus.
- μ_{deviasi} = derajat keanggotaan deviasi daya.

F. Defuzzifikasi

Metode Sugeno orde nol menggunakan rata-rata berbobot (Weighted Average) untuk menghasilkan output akhir.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i z_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}$$

dengan:

- Z = output akhir sistem.
- α_i = firing strength aturan ke-i.
- z_i = nilai konsekuen pada aturan ke-i.
-

G. Interpretasi Output Fuzzy Sugeno

Nilai output hasil inferensi kemudian diterjemahkan menjadi status sistem.

Tabel 3. 17 Interpretasi Output Fuzzy Sugeno

Nilai Output (Z)	Interpretasi
$0 \leq Z < 0,5$	Normal
$0,5 \leq Z < 1,5$	Waspada Overload
$1,5 \leq Z < 2,5$	Waspada Fluktuasi
$2,5 \leq Z < 3,5$	Overload
$3,5 \leq Z \leq 4,0$	Fluktuasi Daya

3.9 Skenario Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi kondisi normal, overload, dan fluktuasi daya berdasarkan nilai arus dan deviasi daya yang diperoleh dari sensor PZEM-004T. Pengujian meliputi kalibrasi Sensor PZEM-004T dengan perbandingan Avometer sebagai referensi, Skenario Pengujian *overload* dan *power fluctuation* dikendalikan menggunakan Modul Dimmer AC(pengatur tegangan) untuk menghasilkan perubahan daya dan penambahan daya.

3.9.1 Skenario Pengujian Overload dan Power Fluctuation

Pada Skenario Pengujian *Overload* dan *Power Fluctuation* menggunakan Beban resistif seperti Rice Cooker dan Alat Press Sablon.

Tabel 3. 18 Skenario Pengujian Gangguan

No	Pengaturan Dimmer	Kondisi yang Disimulasikan	Output yang Diharapkan
1	Dimmer 100%	Normal	Normal
2	Tegangan $\pm 95\%$ -105%	Waspada Fluktuasi Daya	Waspada Fluktuasi Daya
3	Tegangan $\pm 90\%$ -110%	Fluktuasi Daya	Fluktuasi Daya
4	Tegangan normal + arus > threshold warning	Waspada Overload	Waspada Overload
5	Tegangan normal + arus mendekati batas MCB	Overload	Overload

3.9.2 Skenario Pengujian Output Sistem

Pengujian output sistem dilakukan untuk memastikan bahwa indikator visual dan audio yang digunakan mampu memberikan informasi kondisi sistem secara jelas kepada pengguna.

Tabel 3. 19 Pengujian Output Sistem

Status Sistem	LED	Buzzer
Normal	Hijau	Tidak Aktif
Waspada Overload	Kuning Stabil	Tidak Aktif
Waspada Fluktuasi Daya	Kuning Berkedip	Tidak Aktif
Overload	Merah Stabil	Bunyi Stabil
Fluktuasi Daya	Merah Berkedip	Bunyi Intermiten

Hasil pengujian ini digunakan untuk memastikan kesesuaian antara status yang dihasilkan oleh algoritma dengan respons perangkat keluaran.

3.9.3 Skenario Pengujian Monitoring IoT

Pengujian monitoring IoT dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengirimkan data hasil pengukuran dan status kondisi sistem ke platform Blynk secara real-time.

Parameter yang diamati pada pengujian ini meliputi tegangan, arus, daya aktif, faktor daya, nilai deviasi daya, serta status kondisi sistem yang dihasilkan oleh metode Fuzzy Sugeno.

Keberhasilan pengujian ditunjukkan dengan tampilnya data secara real-time pada dashboard monitoring tanpa kehilangan data selama proses pengamatan berlangsung.

3.9.4 Pengujian Akurasi Sensor PZEM-004T

Pengujian akurasi sensor PZEM-004T dilakukan untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil pengukuran sensor terhadap alat ukur referensi. Pengujian ini penting karena data yang diperoleh dari sensor akan digunakan sebagai masukan utama dalam proses perhitungan *Simple Moving Average* (SMA), *threshold*, dan Fuzzy Sugeno. Oleh

karena itu, validitas data pengukuran perlu dipastikan sebelum dilakukan pengujian terhadap metode yang digunakan.

Pada pengujian ini, sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur parameter tegangan, arus, daya aktif dan power faktor . Hasil pengukuran sensor kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran alat ukur referensi berupa Avometer. Selanjutnya dilakukan perhitungan persentase error untuk mengetahui tingkat akurasi sensor.

3.10 Metode Analisis Data

Metode analisis data pada penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem monitoring kelistrikan yang telah dirancang berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh. Analisis dilakukan terhadap data hasil pembacaan sensor PZEM-004T berupa tegangan, arus, daya, dan pf yang selanjutnya diproses menggunakan metode *Simple Moving Average* (SMA), metode *threshold*, dan metode *Fuzzy Sugeno*.

Tahap analisis diawali dengan mengevaluasi hasil pembacaan sensor untuk mengetahui kestabilan data yang diperoleh selama proses pengujian berlangsung. Selanjutnya, dilakukan analisis terhadap hasil pengolahan menggunakan metode *Simple Moving Average* (SMA) untuk mengetahui kemampuan metode dalam mereduksi noise dan fluktuasi data hasil pembacaan sensor.

Analisis berikutnya dilakukan terhadap metode *threshold* untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam melakukan klasifikasi awal berdasarkan batas ambang yang telah ditentukan. Selain itu, dilakukan analisis terhadap hasil keputusan metode *Fuzzy Sugeno* untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menghasilkan keputusan yang adaptif terhadap perubahan kondisi beban listrik.

Hasil pengujian sistem kemudian dibandingkan dengan skenario pengujian yang telah ditentukan, yaitu kondisi normal, Waspada Fluktuasi Daya, Waspada Overload, Fluktuasi Daya, dan Overload. Proses analisis dilakukan dengan mengamati kesesuaian antara kondisi aktual sistem dengan output yang dihasilkan oleh sistem monitoring.

Data hasil pengujian selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik guna mempermudah proses analisis terhadap performa sistem secara keseluruhan. Berdasarkan hasil analisis tersebut, kemudian

dilakukan penarikan kesimpulan mengenai tingkat keberhasilan sistem yang telah dirancang.

