

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada sistem tenaga listrik, kualitas daya merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi keandalan sistem dan kinerja peralatan listrik. Kualitas daya yang baik ditandai oleh kestabilan parameter kelistrikan, seperti tegangan, arus, daya aktif, dan faktor daya, yang berada dalam batas operasi yang diizinkan. Mengacu pada SPLN 1:1995 mengenai tegangan standar, toleransi tegangan untuk sistem satu fasa dengan tegangan nominal 220 V adalah 10% hingga +5%, sehingga rentang operasi normal berada pada 198 V sampai 231 V. Namun demikian, pada kondisi lapangan, perubahan beban yang bersifat dinamis pada instalasi listrik sering menimbulkan variasi tegangan dan arus yang berdampak pada fluktuasi daya aktif, sehingga dapat menurunkan kualitas daya sistem [1].

Salah satu bentuk gangguan kualitas daya yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah fluktuasi daya, yaitu perubahan daya aktif yang dipengaruhi oleh perubahan tegangan dan arus pada sistem. Di lapangan, kondisi ini muncul akibat beban yang bersifat dinamis, ketidakstabilan sumber, maupun perubahan pemakaian listrik pada waktu tertentu. Permasalahan ini juga ditemukan pada penelitian di saluran distribusi 20 kV penyulang Arjuna, di mana setelah terjadi black out, fluktuasi tegangan mencapai 50,15% dari tegangan nominal. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perubahan parameter kelistrikan yang signifikan dapat menurunkan keandalan sistem tenaga listrik serta berpotensi menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik[2]. Pada sistem kelistrikan dengan frekuensi 50 Hz, fenomena flicker dapat terjadi sangat cepat sehingga sulit dideteksi secara manual. Hal ini memperlihatkan bahwa perubahan tegangan yang dinamis dapat memengaruhi besarnya arus dan menimbulkan deviasi pada daya aktif sistem, sehingga memunculkan kondisi fluktuasi daya yang dapat mengganggu kestabilan operasi peralatan listrik dan menurunkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Selain itu, tegangan yang berada di luar batas standar, yaitu undervoltage di bawah 198 V atau overvoltage di atas 231 V, dapat menyebabkan pemadaman, kerusakan peralatan elektronik, kehilangan data, serta peningkatan tagihan listrik [3].

Selain fluktuasi daya, kondisi beban berlebih atau *overload* juga merupakan ancaman serius pada instalasi listrik domestik. Permasalahan ini dapat dilihat dari data kebencanaan BPBD DKI Jakarta periode 2023–2024, yang menunjukkan bahwa 69,5% dari 1.653 kasus kebakaran di Jakarta, atau sebanyak 1.148 kasus, disebabkan oleh korsleting listrik. Kondisi tersebut berkaitan erat dengan *overload* serta instalasi listrik yang tidak sesuai standar [4]. Kerugian material akibat kebakaran di Jakarta pada semester I/2025 mencapai Rp200 miliar. Meskipun data tersebut berasal dari Jakarta, fenomena ini menunjukkan adanya risiko perkotaan yang juga relevan bagi wilayah metropolitan padat penduduk seperti Kota Surabaya. Kondisi *overload* terjadi ketika arus listrik yang mengalir melebihi Kapasitas Hantar Arus (KHA) kabel atau batas kapasitas *Miniature Circuit Breaker* (MCB). Keadaan ini umumnya dipicu oleh penggunaan peralatan listrik yang melampaui kapasitas sistem, ukuran kabel yang terlalu kecil, serta pola beban puncak rumah tangga yang cenderung menumpuk pada sore hingga malam hari, yaitu pukul 17.00–21.00 WIB, dengan konsumsi rata-rata 351 kWh per bulan [5]. MCB tidak selalu segera trip ketika arus melebihi arus nominal, karena karakteristik pemutusannya dipengaruhi oleh kurva waktu-arus yang dimilikinya. Pada pengujian karakteristik MCB berdasarkan IEC 60898-1, MCB tipe B2, C2, dan D2 masih menunjukkan waktu pemutusan beberapa detik saat diberi beban 4 A, sehingga proses pemutusan bersifat tertunda [6]. Di sisi lain, keterbatasan sistem pemantauan secara *real-time* menyebabkan pengguna sering kali tidak menyadari gejala *overload* hingga muncul indikasi fisik, seperti MCB yang sering trip, kabel yang terasa panas saat disentuh, atau isolasi kabel yang mulai meleleh.

Pada kondisi tersebut, pemantauan parameter listrik secara *real-time* menjadi penting untuk mengidentifikasi potensi gangguan sebelum terjadi kerusakan pada sistem. Parameter seperti arus, tegangan, daya aktif, dan faktor daya dapat digunakan sebagai indikator untuk mendeteksi kondisi abnormal seperti *overload* maupun *power fluctuation* pada sistem listrik satu fasa. Seiring dengan perkembangan teknologi sensor dan *Internet of Things* (IoT), sistem pemantauan kelistrikan saat ini dapat dikembangkan untuk melakukan pengukuran parameter listrik secara kontinu serta menampilkan data secara *real-time*. Penelitian terdahulu menegaskan pentingnya pemantauan parameter listrik secara *real-time* sebagai langkah awal untuk mengidentifikasi kondisi abnormal sebelum terjadi gangguan yang lebih serius [7].

Perkembangan teknologi sensor dan platform IoT juga memungkinkan terwujudnya sistem monitoring yang mampu menampilkan data kelistrikan secara *real-time*. Dengan demikian, arus beban, tegangan, daya aktif, dan faktor daya tidak hanya berfungsi sebagai parameter pemantauan, tetapi juga sebagai dasar untuk menentukan besaran gangguan *overload* dan fluktuasi daya pada sistem satu fasa [8].

Penelitian terdahulu oleh Imam Suri Tauladan (2024) yang menggunakan FFT untuk deteksi fluktuasi memiliki kemampuan analisis frekuensi yang baik, namun belum sepenuhnya optimal untuk membedakan perubahan sesaat yang sangat singkat pada domain waktu. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan Simple Moving Average sebagai tahap perata data, bukan untuk mengidentifikasi gangguan sesaat, melainkan untuk menstabilkan sinyal sebelum proses deteksi dan pengambilan keputusan lebih lanjut [3].

Penelitian oleh Siregar dan Ikhsan (2025) juga mengimplementasikan metode *Fuzzy Sugeno* untuk monitoring dan proteksi beban, tetapi penelitian tersebut lebih berfokus pada respons protektif dibandingkan deteksi dini kondisi pra-gangguan yang penting untuk memberikan peringatan awal dan mencegah gangguan berkembang menjadi kerusakan yang lebih besar [9]. Penelitian lain oleh Rachman et al. (2025) menerapkan logika fuzzy dan IoT untuk optimasi serta monitoring beban AC dan lampu, namun sistem tersebut masih berfokus pada pengendalian beban dan pemantauan kondisi operasi, belum pada deteksi dini gangguan berbasis *threshold* dan logika Fuzzy yang dapat mendukung pengambilan keputusan secara lebih cepat dan akurat [10]. Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa masih terdapat keterbatasan dalam pengembangan sistem monitoring kelistrikan yang mampu melakukan deteksi dini terhadap kondisi fluktuasi daya dan *overload* secara adaptif.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, diperlukan suatu pendekatan yang lebih komprehensif, yakni metode hibrida yang menggabungkan *threshold*, analisis tren berbasis *simple moving average*, dan *fuzzy logic* untuk meningkatkan akurasi deteksi dini serta mengurangi frekuensi alarm palsu. Pemilihan kombinasi ketiga metode tersebut didasarkan pada karakteristik masing-masing, *threshold* memberikan batas yang jelas antara kondisi normal dan tidak normal, *simple moving average* mampu mereduksi noise pengukuran sekaligus menangkap

kecenderungan perubahan beban dan fluktuasi daya dari waktu ke waktu, sedangkan Fuzzy Sugeno memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih adaptif ketika parameter yang mempengaruhi gangguan menunjukkan gejala menuju kondisi kritis.

Dalam penelitian ini, Arus sebagai parameter untuk mendeteksi gangguan *overload* dan deviasi daya digunakan sebagai parameter mendeteksi gangguan *power fluctuation* pada sistem listrik satu fasa secara real-time. Berdasarkan permasalahan tersebut, yaitu fluktuasi daya hingga 50,15% tegangan nominal (100 kali/detik), *overload* penyebab 69,5% kebakaran Jakarta (Rp200 miliar kerugian), 90,14% gangguan di Surabaya Selatan, dan WBP 17:0022:00 WIB (351 kWh/bulan), Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring listrik berbasis Internet of Things (IoT) dengan aplikasi Blynk untuk realtime monitoring yang mampu melakukan deteksi dini terhadap kondisi *overload* dan *power fluctuation* pada sistem tenaga listrik satu fasa menggunakan sensor PZEM-004T dan mikrokontroler ESP32. Sistem yang dikembangkan diharapkan tidak hanya mampu menampilkan parameter kelistrikan secara real-time melalui display internal dan aplikasi Blynk, tetapi juga mampu mengidentifikasi kecenderungan perubahan beban serta memberikan peringatan secara proaktif sebelum terjadi gangguan yang lebih serius. Dengan demikian, sistem ini diharapkan dapat meningkatkan aspek keamanan, efisiensi operasional, serta keandalan instalasi listrik pada lingkungan rumah tangga maupun usaha kecil.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada di atas, maka terdapat 3 poin rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring listrik satu fasa berbasis sensor PZEM-004T dan Internet of Things (IoT)?
2. Bagaimana mengimplementasikan metode hybrid yang menggabungkan *threshold*, *Simple Moving Average (SMA)*, dan *Fuzzy Sugeno* dalam mendeteksi dini kondisi *overload* dan *power fluctuation* pada sistem listrik satu fasa?
3. Bagaimana mengevaluasi kinerja sistem monitoring berbasis metode hybrid dalam mendeteksi kondisi *overload* dan *power fluctuation* pada sistem listrik satu fasa

berdasarkan hasil pengukuran parameter kelistrikan secara *real-time*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah sebagaiberikut:

1. Merancang dan membangun sistem monitoring listrik satu fasa berbasis sensor PZEM-004T dan *Internet of Things* (IoT) yang mampu melakukan pengukuran parameter kelistrikan secara *real-time* serta memberikan informasi kondisi sistem kepada pengguna.
2. Mengembangkan dan mengimplementasikan metode hybrid yang menggabungkan *Threshold*, *Simple Moving Average* (SMA), dan *Fuzzy Sugeno* untuk mendeteksi dini kondisi *overload* dan *power fluctuation* pada sistem listrik satu fasa.
3. Mengevaluasi kinerja sistem yang dikembangkan berdasarkan kemampuan deteksi dini terhadap kondisi *overload* dan fluktuasi daya, tingkat akurasi klasifikasi kondisi sistem, serta efektivitas pemberian peringatan sebelum terjadinya gangguan yang lebih serius.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun dari terlaksananya penelitian ini diharapkan akan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang monitoring sistem tenaga listrik satu fasa, khususnya dalam deteksi dini kondisi *overload* dan fluktuasi daya.
2. Menambah referensi ilmiah mengenai penerapan metode hybrid yang menggabungkan *Simple Moving Average* (SMA), *Threshold*, dan *Fuzzy Sugeno* pada sistem monitoring kelistrikan berbasis *Internet of Things* (IoT).
3. Memberikan referensi mengenai pemanfaatan parameter arus untuk deteksi *overload* serta analisis deviasi daya berbasis *Simple Moving Average* (SMA) untuk deteksi *power fluctuation* pada sistem listrik satu fasa.
4. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pengembangan sistem monitoring kelistrikan berbasis

sensor real-time, metode kecerdasan komputasional, dan *teknologi Internet of Things (IoT)*.

5. Menghasilkan sistem monitoring listrik satu fasa berbasis IoT yang mampu menampilkan parameter kelistrikan secara real-time serta memberikan informasi kondisi sistem kepada pengguna.
6. Membantu pengguna dalam mendeteksi secara dini potensi gangguan *overload* dan *power fluctuation* sehingga dapat dilakukan tindakan pencegahan sebelum terjadi gangguan yang lebih serius.
7. Menyediakan solusi monitoring kelistrikan yang relatif sederhana, ekonomis, dan mudah diterapkan pada instalasi listrik rumah tangga, laboratorium, maupun usaha kecil.
8. Menjadi dasar pengembangan sistem monitoring dan peringatan dini kelistrikan yang lebih adaptif melalui penerapan metode *Simple Moving Average*, *Threshold*, dan Fuzzy Sugeno.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ada pada penelitian ini meliputi beberapa poin, antara lain adalah sebagai berikut:

1. Sistem monitoring yang dikembangkan hanya diterapkan pada instalasi listrik satu fasa tegangan rendah.
2. Parameter kelistrikan yang diamati arus, daya dan daya aktif, yang diperoleh menggunakan sensor PZEM-004T.
3. Gangguan yang dianalisis pada penelitian ini terbatas pada kondisi *overload* dan *power fluctuation*, sedangkan gangguan kualitas daya lainnya seperti harmonisa, sag, swell, flicker, transien, dan gangguan hubung singkat tidak dibahas.
4. Deteksi *overload* dilakukan berdasarkan parameter arus yang dibandingkan dengan nilai ambang batas (*threshold*) yang telah ditentukan.
5. Deteksi *power fluctuation* dilakukan berdasarkan analisis deviasi daya aktif terhadap nilai rata-rata bergerak (*Simple Moving Average / SMA*).
6. Karakteristik Beban yang digunakan pada pengujian adalah resistif.

7. Simulasi kondisi *overload* dengan penambahan beban resistif menggunakan modul Dimmer AC sebagai pengatur daya.
8. Simulasi kondisi power fluctuation dilakukan menggunakan modul dimmer untuk membuat perubahan daya aktif.
9. Metode pengolahan data yang digunakan terbatas pada kombinasi *Threshold*, *Simple Moving Average* (SMA), dan *Fuzzy Sugeno* tanpa membahas metode *machine learning* atau *deep learning*.
10. Sistem hanya berfungsi sebagai monitoring dan peringatan dini (*early warning system*) serta tidak melakukan tindakan proteksi otomatis seperti pemutusan beban atau pemutusan sumber listrik.
11. Batas Arus Pada Penelitian ini Menggunakan MCB 4A sekaligus menjadi proteksi alat.
12. Monitoring jarak jauh dilakukan menggunakan platform *Internet of Things* (IoT) berbasis *Blynk* dan memerlukan koneksi internet yang stabil.
13. Evaluasi kinerja sistem difokuskan pada kemampuan deteksi dini, akurasi klasifikasi kondisi sistem, tingkat *false alarm*, waktu respons sistem (*response time*), dan kemampuan adaptasi terhadap variasi beban.
14. Penelitian difokuskan pada tahap perancangan, implementasi, dan pengujian prototipe dalam skala laboratorium sehingga hasil pengujian dapat berbeda apabila diterapkan pada instalasi listrik dengan karakteristik beban yang lebih kompleks.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan skripsi ini terdiri atas lima bab yang disusun secara sistematis untuk mempermudah pembahasan penelitian. Adapun sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan. Pada bab ini dijelaskan permasalahan terkait gangguan *overload* dan *power fluctuation* pada sistem listrik satu fasa serta

pentingnya pengembangan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan metode SMA, *Threshold*, dan *Fuzzy Sugeno*.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisi teori-teori yang mendukung penelitian, meliputi konsep sistem tenaga listrik satu fasa, kualitas daya listrik, *overload*, fluktuasi daya, sensor PZEM-004T, mikrokontroler ESP32, *Internet of Things* (IoT), aplikasi *Blynk*, metode *Simple Moving Average* (SMA), metode *Threshold*, metode *Fuzzy Sugeno*, serta penelitian terdahulu yang relevan.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan penelitian yang dilakukan, meliputi lokasi dan waktu penelitian, kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak, perancangan sistem, perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, perancangan metode SMA, *Threshold*, dan *Fuzzy Sugeno*, perancangan antarmuka monitoring, serta skenario pengujian sistem untuk mendeteksi kondisi *overload* dan *power fluctuation*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil implementasi dan pengujian sistem yang telah dirancang. Pembahasan meliputi hasil pengujian sensor PZEM-004T, pengujian metode SMA, pengujian deteksi *power fluctuation*, pengujian deteksi *overload*, pengujian metode *Fuzzy Sugeno*, pengujian indikator LED dan buzzer, pengujian monitoring berbasis IoT, serta analisis kinerja sistem berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, serta saran yang dapat digunakan sebagai pengembangan penelitian pada masa yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

Bagian ini berisi seluruh referensi yang digunakan sebagai dasar teori, sumber data, serta acuan dalam penyusunan skripsi sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah yang berlaku.

