

BAB II

LANDASAN TEORI

2.2 Tinjauan Pustaka

Penelitian pertama dilakukan oleh Khaeri, Pratama, dan Handayani (2025) dalam penelitian berjudul *Rancang Bangun Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis IoT untuk Pemantauan dan Analisis Konsumsi Daya* mengembangkan sistem monitoring menggunakan ESP32, sensor PZEM-004T, dan Firebase Realtime Database. Parameter yang dipantau meliputi tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, dan faktor daya. Data hasil pengukuran ditampilkan melalui website serta dilengkapi pencatatan harian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirim dan menampilkan data secara real-time dengan tingkat keberhasilan pengiriman sebesar 100%.

Persamaan dengan penelitian ini terletak pada penggunaan ESP32, PZEM-004T, Firebase, dan monitoring secara real-time. Perbedaannya, penelitian terdahulu menggunakan tampilan website dan diterapkan pada konsumsi listrik rumah tangga, sedangkan penelitian ini menggunakan aplikasi Android berbasis Kodular untuk memantau listrik tiga fasa pada gedung..[4]

Penelitian kedua dilakukan oleh Muhtadi, Ranolat, dan Pujianto (2025) melalui penelitian berjudul *Sistem Monitoring Energi Listrik 3 Fasa Berbasis IoT dan Firebase* merancang sistem monitoring tiga fasa menggunakan ESP32, power meter PM1200 Schneider, konverter RS485 to TTL, dan Firebase Realtime Database. Hasil pengujian menunjukkan keberhasilan pengiriman data sebesar 100% dengan latensi kurang dari dua detik. Sistem tersebut dinilai mampu melakukan monitoring energi listrik tiga fasa secara stabil dan real-time.

Persamaan dengan penelitian ini terdapat pada penggunaan ESP32, Firebase, objek listrik tiga fasa, serta proses monitoring berbasis IoT. Perbedaannya terletak pada perangkat pengukuran. Penelitian terdahulu menggunakan power

meter PM1200, sedangkan penelitian ini menggunakan tiga sensor PZEM-004T yang dipasang pada fasa R, S, dan T..[5]

Penelitian ketiga dilakukan oleh Yasa, Purbhawa, Yasa, Teresna, Nugroho, dan Winardi (2023) dalam penelitian berjudul Prototype Pemantauan Konsumsi Energi Listrik pada Firebase Menggunakan PZEM-004T. Penelitian tersebut mengembangkan prototipe pemantauan konsumsi energi listrik menggunakan ESP32 dan sensor PZEM-004T. Data tegangan, arus, daya, faktor daya, dan waktu pengukuran dikirim ke Firebase serta dapat ditampilkan melalui aplikasi Android. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata akurasi tegangan sebesar 99,25%, arus 99,82%, daya 97,50%, dan faktor daya 98,78%.[15]

Persamaan dengan penelitian ini terletak pada penggunaan ESP32, sensor PZEM-004T, Firebase, aplikasi Android, dan proses monitoring secara real-time. Perbedaannya, penelitian terdahulu berfokus pada pencatatan konsumsi listrik satu fasa untuk kebutuhan pelanggan, sedangkan penelitian ini memantau sistem listrik tiga fasa pada gedung menggunakan tiga sensor PZEM-004T serta menyediakan grafik, histori berdasarkan tanggal, dan ekspor data ke format CSV.[6]

Penelitian keempat dilakukan oleh Magfirah dan Widhiantoro (2024) melalui penelitian berjudul Sistem Monitoring Biaya Konsumsi Listrik Rumah Tangga Berbasis IoT. Sistem menggunakan sensor PZEM-004T yang terhubung dengan ESP32 untuk mengukur tegangan, arus, daya, energi, dan biaya konsumsi listrik. Data hasil pengukuran ditampilkan pada LCD dan dikirim ke Firebase agar dapat diakses melalui aplikasi mobile. Aplikasi juga dilengkapi fitur pengunduhan data serta perhitungan biaya listrik harian, bulanan, dan tahunan. Hasil pengujian memperoleh tingkat akurasi pengukuran tegangan sebesar 98,5% dan arus sebesar 99,89%.

Persamaan dengan penelitian ini terdapat pada penggunaan ESP32, PZEM-004T, Firebase, aplikasi mobile, penyimpanan data, serta fitur unduh hasil monitoring. Perbedaannya, penelitian terdahulu diterapkan pada listrik rumah

tangga satu fasa dan menitikberatkan pada perhitungan biaya pemakaian listrik, sedangkan penelitian ini diterapkan pada instalasi listrik gedung tiga fasa dengan pemantauan enam parameter kelistrikan pada setiap fasa.[7]

Penelitian kelima dilakukan oleh Suwanda (2025) dalam penelitian berjudul Sistem Monitoring Listrik Tiga Fasa Berbasis Panel LED P10. Sistem tersebut menggunakan tiga sensor PZEM-004T untuk memperoleh data dari setiap fasa, Arduino Mega ATmega2560 sebagai pengolah data, dan tiga panel LED P10 sebagai media penampilan nilai tegangan, arus, dan frekuensi. Pengujian pada Gedung Laboratorium Politeknik Negeri Ketapang menunjukkan rata-rata kesalahan pengukuran tegangan sebesar 0,0013% dan arus sebesar 0,057%, sehingga sistem dinilai mampu menampilkan data listrik tiga fasa secara real-time dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Persamaan dengan penelitian ini terletak pada objek monitoring listrik tiga fasa dan penggunaan tiga sensor PZEM-004T untuk mengukur setiap fasa. Perbedaannya, penelitian terdahulu menggunakan Arduino Mega dan panel LED P10 sehingga pemantauan hanya dilakukan secara lokal. Penelitian ini menggunakan ESP32, jaringan Wi-Fi, Firebase Realtime Database, dan aplikasi Android agar data dapat dipantau dari jarak jauh serta tersimpan sebagai data historis.[8]

Berdasarkan kelima penelitian tersebut, sistem monitoring listrik berbasis Internet of Things terbukti mampu melakukan pengukuran, pengiriman, penyimpanan, dan penyajian data secara real-time. Penelitian terdahulu telah memanfaatkan ESP32, PZEM-004T, Firebase, aplikasi mobile, Namun, sebagian penelitian masih berfokus pada listrik rumah tangga satu fasa, pemantauan lokal, atau belum menggabungkan penyimpanan histori dan ekspor data pada sistem listrik tiga fasa. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem yang mengintegrasikan tiga sensor PZEM-004T, ESP32, Firebase Realtime Database, dan aplikasi Android berbasis Kodular. Sistem dirancang untuk memantau tegangan, arus, daya aktif, energi, frekuensi, dan faktor daya pada fasa R, S, dan T, sekaligus menyajikan grafik, histori berdasarkan tanggal, serta fitur ekspor.

2.3 Dasar Teori

2.3.1 Pengertian Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang memungkinkan berbagai perangkat fisik saling terhubung melalui jaringan internet sehingga dapat melakukan pertukaran data secara otomatis tanpa memerlukan interaksi manusia secara langsung. Perangkat tersebut umumnya dilengkapi dengan sensor, aktuator, mikrokontroler, dan modul komunikasi yang memungkinkan proses pengumpulan, pengiriman, serta pengolahan data secara real-time [6].

Menurut Ashton, yang pertama kali memperkenalkan istilah *Internet of Things* pada tahun 1999, IoT merupakan suatu sistem yang menghubungkan objek-objek fisik ke internet sehingga mampu mengidentifikasi, memantau, dan mengendalikan suatu proses secara otomatis [7]. Seiring berkembangnya teknologi komunikasi dan komputasi awan (*cloud computing*), penerapan IoT semakin luas pada berbagai bidang, seperti industri, kesehatan, pertanian, transportasi, hingga sistem monitoring energi listrik.

Dalam penelitian ini, konsep Internet of Things diterapkan untuk memonitor parameter listrik gedung secara real-time. Sensor PZEM-004T berfungsi sebagai perangkat akuisisi data yang mengukur parameter listrik berupa tegangan, arus, daya aktif, energi listrik, frekuensi, dan faktor daya. Data tersebut diproses oleh mikrokontroler ESP32 kemudian dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi menuju Firebase Realtime Database. Selanjutnya aplikasi Android yang dibuat menggunakan Kodular mengambil data dari Firebase sehingga pengguna dapat memantau kondisi kelistrikan gedung secara langsung melalui smartphone.

2.3.2 Sistem Monitoring

Sistem monitoring merupakan suatu sistem yang dirancang untuk melakukan proses pengamatan, pengukuran, pencatatan, dan pelaporan

terhadap suatu objek atau proses secara terus-menerus. Tujuan utama sistem monitoring adalah memperoleh informasi mengenai kondisi suatu objek sehingga pengguna dapat mengetahui perubahan yang terjadi secara cepat dan mengambil tindakan apabila ditemukan kondisi yang tidak normal.[9]

Dalam perkembangan teknologi informasi, sistem monitoring tidak lagi dilakukan secara manual, tetapi telah memanfaatkan teknologi digital dan jaringan internet sehingga informasi dapat diperoleh secara *real-time*. Sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) memungkinkan perangkat sensor mengirimkan data secara otomatis ke server melalui jaringan internet. Data tersebut kemudian diolah sehingga dapat diakses dari berbagai lokasi .

2.3.3 Parameter Listrik

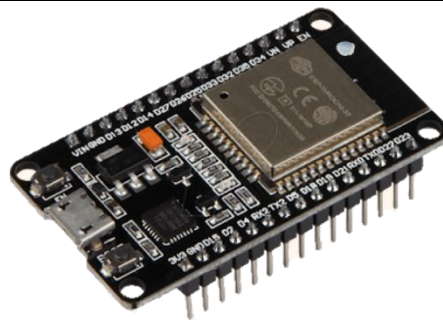
Parameter listrik adalah besaran-besaran yang digunakan untuk mengetahui kondisi suatu sistem kelistrikan. Pengukuran parameter listrik sangat penting untuk mengevaluasi performa instalasi listrik, mengetahui besarnya konsumsi energi, serta mendeteksi adanya gangguan pada sistem. Pada penelitian ini, parameter listrik diukur menggunakan tiga buah sensor PZEM-004T yang dipasang pada masing-masing fasa R, S, dan T. [1]

2.3.4 ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems sebagai pengembangan dari ESP8266. ESP32 memiliki kemampuan pemrosesan yang tinggi serta telah dilengkapi modul Wi-Fi dan Bluetooth sehingga sangat sesuai untuk aplikasi IoT.[10]

Tabel 2.1 Spesifikasi ESP32

Parameter	Spesifikasi
Tegangan	3,3V
Prosesor	Tensilica L108 32 Bit
Kecepatan Prosesor	Dual 240 MHz
Kapasitas RAM	520KB
Jumlah GPIO	34
Pin ADC	7
Standar Wi-Fi	802.11 b/g/n/e/i
Bluetooth	BLE
Jumlah Koneksi TCP	16
Jumlah SPI	3
Jumlah I2S	2
Jumlah I2C	2
Jumlah UART	3

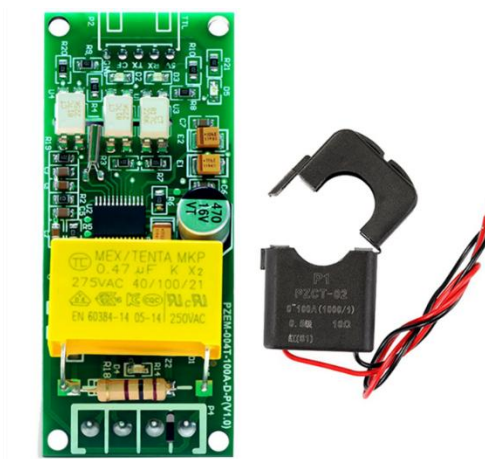
Gambar 2.1 *ESP32*

2.3.5 Sensor PZEM-004T

PZEM-004T adalah modul sensor pintar untuk mengukur parameter listrik AC (arus bolak-balik) seperti tegangan, arus, daya aktif, frekuensi, faktor daya, dan energi (kWh). Umumnya digunakan pada sistem IoT seperti kWh meter digital atau smart home.[1]

Tabel 2.2 Spesifikasi PZEM-004T

Parameter	Spesifikasi
Tegangan	80-260 VAC
Arus	Max CT 100A
Frekuensi	45-65 Hz
Akurasi Pengukuran	Kelas 1.0 (error<1%)
Komunikasi	UART TTL



Gambar 2.2 PZEM-004T

2.3.6 Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengedit, mengompilasi, dan mengunggah program ke berbagai papan mikrokontroler, termasuk Arduino, ESP8266, dan ESP32. Arduino IDE dikembangkan dengan tujuan mempermudah proses pengembangan sistem tertanam (embedded Sistem) melalui antarmuka yang sederhana dan mudah digunakan.[11]

Pada penelitian ini, Arduino IDE digunakan sebagai media pemrograman mikrokontroler ESP32 untuk mengendalikan proses pembacaan data dari sensor PZEM-004T, serta pengiriman data menuju Firebase Realtime Database melalui jaringan Wi-Fi.



Gambar 2.3 Arduino IDE

2.3.7 Firebase Realtime Database

firebase Realtime Database merupakan layanan NoSQL Cloud Database yang dikembangkan oleh Google untuk menyimpan, mengelola, dan melakukan sinkronisasi data secara real-time melalui jaringan internet. Berbeda dengan basis data relasional yang menggunakan tabel, Firebase Realtime Database menyimpan data dalam bentuk struktur JavaScript Object Notation (JSON) sehingga lebih fleksibel dan mudah diintegrasikan dengan aplikasi berbasis web, Android, maupun perangkat Internet of Things (IoT) [12].

Salah satu keunggulan utama Firebase Realtime Database adalah kemampuan sinkronisasi data secara otomatis (*real-time synchronization*). Ketika terjadi perubahan data pada database, seluruh perangkat yang terhubung akan menerima pembaruan data secara langsung tanpa memerlukan proses *refresh*. Hal ini menjadikan Firebase Realtime Database sangat sesuai digunakan pada sistem monitoring yang membutuhkan informasi secara cepat dan berkesinambungan .

2.3.7.1 Cara Kerja Firebase Realtime Database

Proses kerja Firebase Realtime Database pada penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. ESP32 membaca data dari sensor PZEM-004T V3.0.

2. Data disusun ke dalam format JSON.
3. ESP32 melakukan autentikasi ke Firebase.
4. Data dikirim menuju Firebase Realtime Database menggunakan jaringan Wi-Fi.
5. Firebase menyimpan data pada node yang telah ditentukan.
6. Kodular melakukan pembacaan data (*Get Value*) dari Firebase.
7. Ketika data berubah, Firebase secara otomatis mengirimkan data terbaru ke aplikasi Android.
8. Aplikasi memperbarui tampilan nilai parameter listrik secara otomatis. Dengan mekanisme tersebut, waktu pembaruan data relatif cepat sehingga mendukung proses monitoring secara real-time.



Gambar 2.4 Firebase

2.3.8 Aplikasi Android

Aplikasi Android adalah perangkat lunak yang dirancang untuk berjalan pada sistem operasi Android dan berfungsi untuk membantu pengguna dalam melakukan berbagai aktivitas, mulai dari komunikasi, hiburan, pendidikan, hingga monitoring sistem berbasis Internet of Things (IoT). Dengan memanfaatkan koneksi internet, aplikasi Android mampu berkomunikasi dengan server maupun perangkat IoT sehingga pengguna dapat memperoleh informasi secara cepat dan mudah[13].

Dalam penelitian ini, aplikasi Android berfungsi sebagai antarmuka pengguna (User Interface) untuk menampilkan informasi hasil monitoring

parameter listrik gedung. Aplikasi yang dikembangkan memiliki beberapa fungsi utama, yaitu:

1. Menampilkan data parameter listrik secara real-time.
2. Menampilkan nilai tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, dan faktor daya pada setiap fasa (R, S, dan T).
3. Menampilkan waktu pembaruan (*timestamp*) data terakhir.
4. Menampilkan grafik perubahan parameter listrik.
5. Menampilkan riwayat data berdasarkan tanggal yang dipilih.
6. Mengekspor data historis ke dalam format CSV.
7. Mempermudah pengguna dalam melakukan monitoring tanpa harus berada di lokasi panel listrik.

Dengan adanya aplikasi Android, pengguna dapat memantau kondisi kelistrikan gedung menggunakan smartphone kapan saja dan di mana saja selama terhubung ke internet.

2.3.9 Kodular

Kodular merupakan platform pengembangan aplikasi Android berbasis visual programming yang memungkinkan pengguna membangun aplikasi tanpa harus menulis kode program secara konvensional. Kodular dikembangkan berdasarkan proyek MIT App Inventor dengan berbagai pengembangan fitur sehingga lebih mudah digunakan dalam pembuatan aplikasi Android yang kompleks. Pada Kodular, logika program disusun menggunakan blok-blok (*block programming*) yang saling dihubungkan sesuai fungsi yang diinginkan [14].

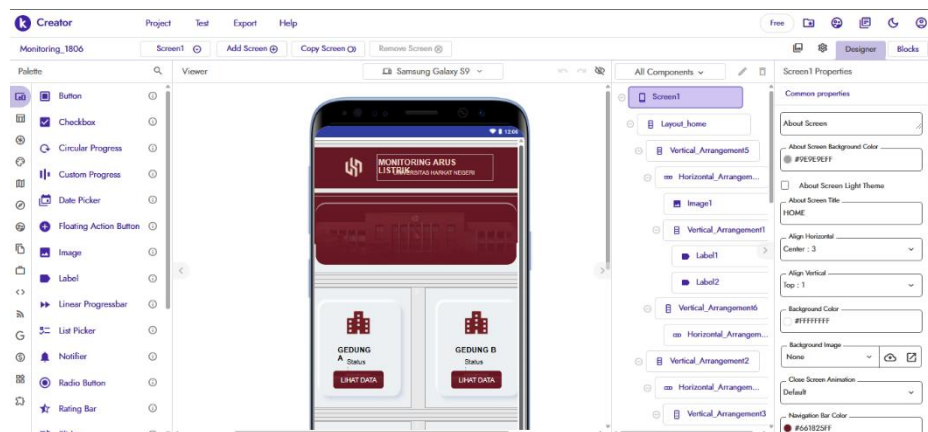
Kodular menyediakan berbagai komponen bawaan (*built-in components*), seperti antarmuka pengguna (*User Interface*), media, sensor, penyimpanan data, jaringan internet, serta komponen Firebase Database yang memudahkan integrasi dengan layanan cloud. Dengan pendekatan tersebut, proses pengembangan aplikasi menjadi lebih cepat dan mudah

dipahami, terutama bagi pengguna yang tidak memiliki pengalaman pemrograman tingkat lanjut.

Kodular menyediakan komponen Firebase Database yang memungkinkan aplikasi Android berkomunikasi langsung dengan Firebase Realtime Database. Integrasi dilakukan dengan memasukkan URL database dan token autentikasi yang telah dikonfigurasi pada Firebase[12]. Dalam penelitian ini, beberapa komponen utama Kodular yang digunakan.

Tabel 2.3 Komponen kodular

Label	Menampilkan nilai Parameter
Button	Mengakses menu
Horizontal Arrangement	Mengatur tat letak horizontal
Vertical Arangement	Mengatur tata letak vertikal
Firebase Database	Mengambil data dari Firebase Realtime database
Clock	Memperbarui data secara berkala
Date Picker	Memilih tanggal
Canvas	Menampilkan grafik
File	Menyimpan hasil ekspor CSV
Sharing	Membagikan file hasil ekspor



Gambar 2.5 Kodular

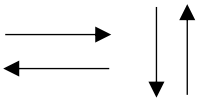
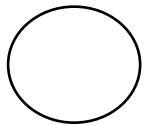
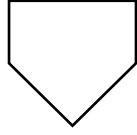
2.3.10 Flowchart

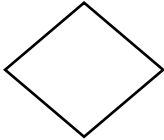
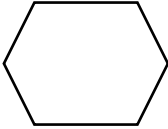
Flowchart (Diagram Alir) adalah penggambaran secara grafik dari langkah-langkah dan urutan prosedur dalam suatu program. Flowchart membantu analis dan pemrogram memecah masalah menjadi segmen yang lebih kecil dan membantu menganalisis alternatif efektif lainnya[15] .

Flowchart dikenal dua model, yaitu Sistem *Flowchart* dan Program *Flowchart*:

1. Sistem *Flowchart* yaitu diagram yang menunjukkan urutan prosedur dan proses dari beberapa proses dalam media tertentu.
2. Program *Flowchart* yaitu grafik yang menunjukkan urutan dan hubungan proses dalam suatu program. Dua jenis metode *representasi* program flowchart yaitu *conceptual flowchart* dan *detail flowchart*[15].

Tabel 2.4 Simbol *Flowchart*

No.	Gambar	Nama	Keterangan
1		Arus / Flow	Penghubung antara prosedur / proses
2		Connector	Simbol keluar / masuk prosedur atau proses dalam lembar / HALAMAN yang sama
3		Off-line Connector	Simbol keluar / masuk prosedur atau proses dalam lembar / HALAMAN yang lain.
4		Process	Simbol yang menunjukkan pengolahan yang dilakukan Komputer

5		Decision	Simbol untuk kondisi yang akan menghasilkan beberapa kemungkinan jawaban / aksi
6		Predefined Process	Simbol untuk mempersiapkan penyimpanan yang akan digunakan sebagai tempat pengolahan didalam storage
7		Connector	Simbol untuk permulaan atau akhir dari suatu program
8		Manual Input	Simbol untuk pemasukan data secara manual on-line keyboard
9		Input - Output	Simbol yang menyatakan proses input dan output tanpa tergantung dengan jenis peralatannya
10		Disk and On - line Storage	Simbol untuk menyatakan input berasal dari disk atau output di simpan ke disk
11		Document	Simbol yang menyatakan input berasal dari dokumen dalam bentuk kertas atau output di cetak di kertas