

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi listrik menjadi kebutuhan penting dalam kehidupan sehari-hari di era digital saat ini, baik untuk rumah tangga, pabrik, maupun kegiatan bisnis. Peningkatan permintaan listrik yang terus berlangsung dapat menyebabkan pemborosan energi dan meningkatnya biaya operasional jika tidak dipantau dengan baik. Pemborosan energi listrik sering terjadi akibat rendahnya kesadaran dan keterbatasan sistem monitoring yang efisien (Wijaya et al., 2025).

Perkembangan teknologi *Internet of Things* membuka peluang untuk menciptakan sistem pemantauan energi listrik yang bersifat otomatis dan dapat diakses secara real-time. Salah satu perangkat yang digunakan adalah mikrokontroler ESP32, karena kemampuannya untuk terhubung ke jaringan *Wi-Fi*, melakukan pengolahan data secara langsung, serta mengirimkan informasi ke aplikasi atau *platform* yang dapat diakses dari jarak jauh. Mikrokontroler ini dapat dipadukan dengan sensor listrik PZEM-004T untuk mengukur berbagai parameter listrik, termasuk tegangan, arus, daya, dan total konsumsi energi secara *real-time* (Suryanto et al., 2025).

Aplikasi *Blynk* adalah *platform* yang memungkinkan pengguna untuk memvisualisasikan data dari perangkat *IoT* secara langsung melalui antarmuka yang dapat diakses dari jarak jauh. *Platform* ini memungkinkan pemantauan nilai parameter listrik, grafik penggunaan energi, serta pengendalian perangkat

jika dibutuhkan. Integrasi ESP32 dengan *Blynk* diterapkan untuk memonitoring jarak jauh energi Listrik secara *real-time* dan untuk kontrol beban menggunakan relay (Gunawan, 2025).

PZEM-004T adalah sensor yang mampu mengukur parameter listrik secara langsung dengan tingkat akurasi yang tinggi. Menurut (Yadie et al., 2025), sensor ini memiliki tingkat kesalahan di bawah 5% untuk semua parameter pengukuran, salah satu pilihan yang dapat diandalkan untuk aplikasi monitoring energi rumah tangga. Hasil pengukuran dari sensor ini dikirimkan ke ESP32 untuk diolah dan ditampilkan dalam layar monitor serta aplikasi *Blynk*.

Penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem monitoring energi listrik berbasis IoT dengan berbagai pendekatan dan fitur. Pengembangan sistem kontrol dan monitoring beban listrik berbasis IoT oleh (Gunawan, 2025), yang mampu melakukan monitoring *real-time* dan kontrol beban melalui aplikasi *Blynk*, sistem tersebut hanya menggunakan LCD sebagai tampilan lokal dan tidak membahas mekanisme proteksi *over-current* secara mendalam. Perancangan alat kontrol dan monitoring penggunaan energi listrik berbasis IoT oleh (Aditya et al., 2025), dengan kesalahan pengukuran yang kecil dan sistem kontrol otomatis yang berfungsi dengan baik, tetapi sistem ini menggunakan input keypad untuk pengaturan batas energi tanpa dilengkapi visualisasi layar TFT. Penelitian (Khaeri et al., 2025), mengembangkan sistem monitoring energi listrik berbasis IoT untuk pemantauan dan analisis konsumsi daya yang menampilkan data *real-time* dan grafik historis, namun data

dikirimkan ke *platform Firebase* dan ditampilkan melalui web, bukan aplikasi Blynk, serta tidak memiliki tampilan monitor lokal. Penelitian yang dilakukan oleh (Alexcandra et al., 2024), mengembangkan sistem pemantauan dan pengendalian energi berbasis IoT untuk meningkatkan efisiensi energi dalam lingkungan cerdas dengan akurasi pengukuran daya yang baik, akan tetapi fokus penelitian lebih pada efisiensi energi secara umum dan tidak membahas kontrol multi-relay secara spesifik. Penelitian yang dilakukan (Pratama., et al 2025) membangun sistem monitoring dan controlling penggunaan listrik pada rumah kontrakan berbasis IoT dengan fitur otomatis cut-off melalui relay saat batas biaya yang ditentukan telah tercapai, namun integrasi sistem menggunakan Google Sheet dan sensor *multi room* bukan aplikasi Blynk dan layar TFT. Monitoring penggunaan listrik rumah tangga berbasis *IoT* oleh (Fatin., et al 2025) yang mendapatkan hasil akurasi tinggi dan *error* pengukuran di bawah 0,3%, akan tetapi tidak melibatkan kontrol relay empat channel maupun tampilan monitor lokal TFT. Pengembangan sistem monitoring listrik berbasis *IoT* menggunakan ESP8266 dan Blynk yang mampu menampilkan parameter tegangan, arus, daya, dan energi secara real-time, namun sistem tersebut masih memiliki keterbatasan signifikan, yaitu tidak dilengkapi fitur perhitungan biaya listrik dalam satuan Rupiah, tidak memiliki pengaturan durasi pemantauan harian, mingguan, maupun bulanan, tidak terdapat mekanisme proteksi otomatis saat terjadi kondisi overload, serta tidak memiliki tampilan monitor lokal karena hanya mengandalkan antarmuka Blynk (Budiarso., et al 2025).

Berdasarkan penelitian terdahulu terdapat kesenjangan yang perlu dikembangkan, yaitu belum adanya sistem monitoring daya listrik yang mengintegrasikan fitur perhitungan biaya otomatis dalam satuan Rupiah, pengaturan durasi pemantauan yang fleksibel harian, mingguan, dan bulanan, mekanisme proteksi cut-off otomatis saat terjadi kondisi overload, serta tampilan monitor lokal berbasis layar TFT dalam satu *platform*.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem monitoring listrik secara real-time yang menggunakan ESP32 sebagai komponen utama, aplikasi Blynk sebagai media visualisasi, dan layar TFT ILI9341 untuk tampilan *interface*. Sistem ini juga dilengkapi dengan modul relay 4 channel yang berfungsi sebagai pengendali beban sekaligus pemutus daya saat terjadi kondisi overload. Fokus dari penelitian terletak pada penyajian visual konsumsi energi serta kemampuan penyesuaian durasi pemantauan sesuai kebutuhan pengguna. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat memberikan solusi yang dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam pengawasan konsumsi listrik, terutama melalui penerapan fitur penghitungan biaya, pengaturan durasi pemantauan, dan mekanisme perlindungan otomatis, dibandingkan dengan sistem pemantauan *IoT* sebelumnya yang belum dilengkapi dengan fitur-fitur tersebut.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana mengembangkan sistem pemantauan listrik secara real-time menggunakan ESP32 dan Blynk dengan visualisasi pengeluaran energi, penyesuaian durasi pemantauan, proteksi otomatis cut-off saat overload, serta tampilan lokal TFT ILI9341?
2. Bagaimana tingkat kelayakan sistem monitoring daya listrik secara real-time menggunakan ESP32 yang dikembangkan dari aspek validasi ahli media, uji akurasi sensor PZEM-004T, serta respon masyarakat sebagai pengguna dalam kategori sangat layak untuk digunakan sebagai alat pemantauan dan proteksi konsumsi energi listrik?

C. Tujuan Penelitian

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan listrik secara real-time berbasis ESP32 dan platform Blynk yang dilengkapi dengan tampilan lokal TFT ILI9341, proteksi cut-off otomatis menggunakan relay 4 channel, visualisasi konsumsi energi, pengaturan periode pemantauan, dan perhitungan biaya listrik untuk meningkatkan pemahaman dan kontrol atas data penggunaan listrik.
2. Mengetahui tingkat kelayakan sistem monitoring daya listrik real-time berbasis ESP32 yang dikembangkan melalui uji validasi ahli media, uji akurasi sensor PZEM-004T terhadap alat ukur multimeter, serta uji respon masyarakat sebagai pengguna untuk mengetahui penerimaan dan

kebermanfaatan sistem dalam kategori sangat layak sebagai alat pemantauan dan proteksi konsumsi energi listrik.

D. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

Hasil penelitian ini di harapkan bisa menambah pengetahuan dan wawasan khususnya dalam bidang *Internet of Things (IoT)* yang berkaitan dengan monitoring dan kontrol daya listrik berbasis mikrokontroler ESP32. Penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai acuan dan dasar teoritis bagi penelitian selanjutnya khususnya yang ingin mengembangkan sistem cerdas dalam pengelolaan daya listrik.

2. Manfaat Praktis

a. Bagi Universitas PGRI Madiun

Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi serta materi pembelajaran bagi mahasiswa dan dosen dalam mendukung kegiatan praktikum maupun proyek yang berkaitan dengan sistem monitoring daya listrik berbasis IoT.

b. Bagi Masyarakat

Prototype yang dikembangkan ini diharapkan dapat membantu masyarakat meningkatkan keamanan dan efisiensi penggunaan listrik di rumah, sekaligus menjadi solusi alternatif untuk mengatasi pemborosan energi dan risiko kerusakan perangkat akibat gangguan kelistrikan. Dengan menyajikan informasi biaya listrik secara *real-time*, pengguna mendapatkan gambaran pengeluaran energi yang jelas,

sehingga mereka dapat merencanakan dan menyesuaikan pola pemakaian perangkat untuk mencegah pemborosan. Bagi masyarakat luas, terutama pengguna rumah tangga dan pelaku usaha kecil, sistem ini sangat membantu dalam mengendalikan biaya listrik secara lebih efektif.

c. Bagi Peneliti

Pengalaman ini diharapkan menjadi bekal berharga dalam merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem pemantauan daya listrik dengan antarmuka yang fleksibel serta interaktif

E. Spesifikasi Produk

1. *Mikrokontroler* Utama

- a. ESP32 *Dev Module*
- b. Fitur: *Dual-core* 32-bit, konektivitas *Wi-Fi* dan *Bluetooth*, mendukung komunikasi serial dan SPI
- c. Fungsi: Mengolah data dari sensor PZEM004T, mengirimkan data ke aplikasi *Blynk*, dan mengendalikan relay serta tampilan *TFT*

2. Sensor Daya

- a. PZEM004T v3.0
- b. Parameter terukur: Tegangan (V), Arus (A), Daya (W), Energi (kWh), Frekuensi (Hz), dan Faktor Daya (PF)
- c. Komunikasi: UART (Serial TTL)
- d. Fungsi: Mengukur parameter listrik secara *real-time* dan mengirimkan data ke ESP32.

3. Modul Tampilan

- a. Layar *TFT 2.4 inch* (ILI9341)
- b. Resolusi: 240×320 piksel
- c. Komunikasi: SPI
- d. Fungsi: Menampilkan data tegangan, arus, daya, energi, biaya listrik (Rp), serta status relay dan batas periode secara visual dan interaktif.

4. Sistem Pengendalian Beban:

- a. 4 Relay Channel (5V/10A)
- b. Fungsi: Memutus dan menyambung beban listrik secara otomatis berdasarkan batas biaya atau daya yang ditetapkan.

5. Platform *IoT*:

- a. Blynk *Cloud* (versi terbaru, Blynk *IoT*)
- b. Fungsi:
 - 1) Menampilkan data monitoring secara *real-time* (V, A, W, Rp, periode).
 - 2) Mengatur periode pemantauan (harian, mingguan, bulanan).
 - 3) Menetapkan batas biaya maksimum (*cut-off limit*).
 - 4) Memberikan *notifikasi* saat batas tercapai dan sistem melakukan keputusan otomatis.

6. Catu Daya Sistem:

- a. *Input*: 5V DC via adaptor atau port USB
- b. Daya untuk relay dan modul disalurkan melalui regulator internal ESP32.

7. Fitur Utama Sistem:

- a. Monitoring parameter listrik secara *real-time* V, A, W, kWh.
- b. Perhitungan biaya listrik otomatis berdasarkan tarif per kWh iyang dapat diubah.
- c. Pengaturan periode pemantauan harian, mingguan, bulanan via *Blynk*.
- d. Proteksi otomatis *cut-off* saat batas biaya atau daya terlampaui.
- e. Tampilan data lengkap dan interaktif pada layar *TFT*.
- f. Notifikasi status sistem melalui aplikasi *Blynk*.
- g. Dapat dikendalikan dan dipantau dari jarak jauh melalui internet.

F. Pentingnya Pengembangan

Pengembangan sistem pemantauan Listrik secara langsung yang menggunakan ESP32 dan *Blynk* sangat penting dilakukan karena sistem tradisional yang banyak dipakai saat ini masih memiliki batasan dalam *efisiensi*, *fleksibilitas*, dan kemudahan mendapatkan informasi tentang penggunaan energi. Banyak alat pemantauan hanya menunjukkan data dasar seperti tegangan, arus, dan daya tanpa memberikan informasi mengenai biaya listrik (Rp) secara langsung atau kemampuan untuk mengubah waktu pemantauan. Hal ini membuat pengguna kesulitan untuk mengatur penggunaan listrik secara optimal dan menemukan pemborosan energi. Dengan adanya sistem ini, pengguna tidak hanya bisa memantau parameter listrik secara langsung, tetapi juga bisa melihat biaya energi secara *real-time*, mengatur waktu pemantauan sesuai kebutuhan harian, mingguan, atau bulanan, serta mendapatkan perlindungan otomatis *cut-off* saat batas biaya atau daya terlampaui. Tampilan interaktif melalui layar *TFT* dan koneksi dengan aplikasi

Blynk menjadikan sistem ini lebih informatif dan mudah untuk digunakan. Oleh karena itu, pengembangan ini sangat penting dalam mendukung penerapan teknologi *Internet of Things* untuk efisiensi energi, penghematan biaya listrik, dan mendorong penggunaan konsep rumah pintar *smart home* yang lebih berkelanjutan.

G. Definisi Istilah

Internet of Things merujuk pada suatu kerangka teknologi yang memungkinkan berbagai perangkat fisik terhubung satu sama lain melalui jaringan, sehingga masing-masing perangkat dapat bertukar informasi dan dikendalikan secara otomatis tanpa perlu interaksi manusia secara langsung. Dalam konteks penelitian ini, *IoT* berperan sebagai basis utama untuk merancang sistem pemantauan listrik yang beroperasi secara *real-time*, di mana parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, energi, dan biaya diukur oleh sensor PZEM-004T dan dikirim ke mikrokontroler ESP32 sebelum diteruskan ke aplikasi *Blynk* pada ponsel pengguna. Melalui penerapan sistem tersebut, pengguna tidak hanya dapat mengawasi konsumsi listrik dari jarak jauh, tetapi juga menetapkan jadwal pemeriksaan dan batasan daya guna mendukung penggunaan energi yang lebih efisien dan hemat.