

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN HIPOTESIS PENELITIAN

A. Kajian Teori

1. *Internet of Things (IoT)*

IoT (Internet of Things) merupakan sebuah ide teknologi yang mengaitkan berbagai alat fisik seperti sensor, mikrokontroler, mesin, peralatan rumah tangga, kendaraan, dan *gadget* elektronik lainnya dengan internet agar alat-alat ini dapat mengumpulkan informasi, berkomunikasi satu sama lain, dan beroperasi secara mandiri tanpa campur tangan manusia secara langsung. Menurut (Haryanto et al., 2024), konsep *Internet of Things (IoT)* melibatkan integrasi teknologi berupa sensor dan perangkat lunak ke pada objek atau benda tertentu untuk memungkinkan pertukaran data melalui jaringan internet. Tujuan dari hal ini adalah untuk memberikan kemampuan komunikasi, pengaturan, jaringan, dan pertukaran informasi dengan perangkat lain sementara tetap tersambung ke jaringan Internet.

Internet of Things terdiri dari empat bagian utama, yang meliputi lapisan pendeteksian mengambil data menggunakan sensor, lapisan jaringan mengirim data melalui internet dengan protokol seperti MQTT atau HTTP, lapisan layanan memproses data di server lokal atau *cloud*, dan lapisan aplikasi (menampilkan data kepada pengguna lewat *dashboard* atau aplikasi). Struktur bertingkat ini membuat *IoT* mudah digunakan untuk sistem pemantauan, termasuk pemantauan energi listrik. Penelitian oleh

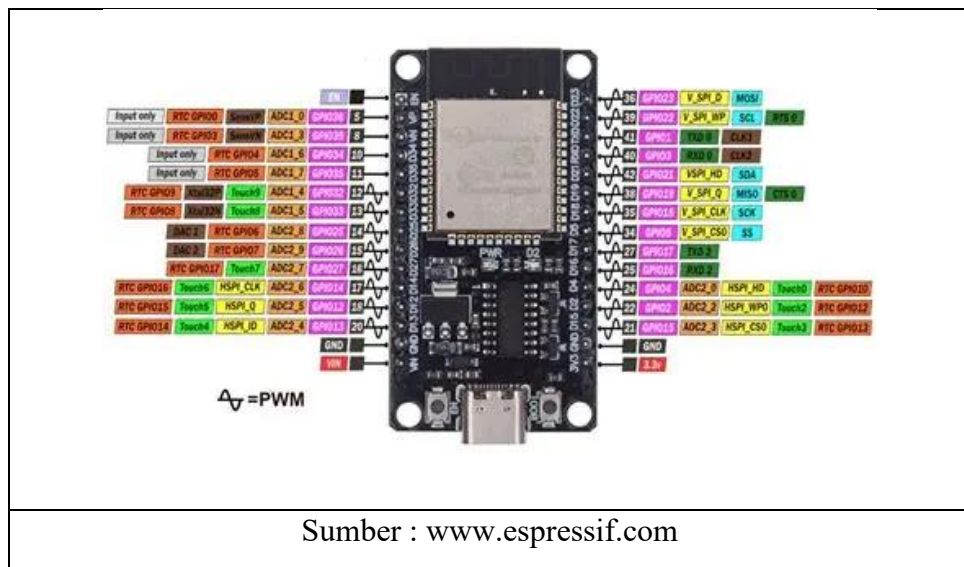
(Yuniarto et al., 2023), menunjukkan bahwa penggabungan *IoT* dengan mikrokontroler ESP32 memungkinkan pemantauan parameter listrik secara langsung pada beban tiga fase, serta memberi kemampuan untuk mengontrol dari jarak jauh melalui internet.

Internet of Things berperan sebagai jawaban utama untuk pengawasan penggunaan energi secara langsung. *IoT* memungkinkan pengguna untuk mengecek parameter seperti tegangan, arus, faktor daya, dan total konsumsi energi, serta memberikan pemberitahuan otomatis saat ada situasi yang tidak normal. (Kamila et al., 2024), Menyatakan bahwa sistem monitoring menggunakan *Internet of Things (IoT)* memungkinkan pengguna untuk memonitoring secara *real-time* menggunakan *smartphone* serta menampilkan konsumsi energi sehingga pengguna bisa mengurangi pemborosan listrik.

Teknologi *IoT* menjadi fokus utama dalam penelitian ini karena kemampuannya untuk menghubungkan sensor PZEM004T, mikrokontroler ESP32, tampilan *TFT*, aplikasi *Blynk*, dan sistem relay dalam satu ekosistem yang dapat memantau dan mengontrol energi secara terintegrasi. Kombinasi ini mendukung tujuan penelitian untuk menciptakan sistem yang dapat menunjukkan penggunaan listrik secara langsung, menghitung biaya listrik, menampilkan data berdasarkan periode, serta memberikan perlindungan otomatis ketika batas penggunaan terlampaui. Oleh karena itu, konsep *IoT* tidak hanya menjadi dasar teori, tetapi juga berperan penting dalam

merancang sistem pemantauan listrik berbasis *IoT* yang efisien, dapat beradaptasi, dan mudah diakses oleh pengguna.

2. ESP32



Gambar 2. 1 Esp32

ESP32 merupakan modul mikrokontroler yang banyak digunakan dalam aplikasi *Internet of Things* karena dilengkapi dengan kemampuan *Wi-Fi*, *Bluetooth*, serta kapasitas pemrosesan yang cukup untuk mengakses sensor, menganalisis data, mengontrol relay, dan mentransfer informasi ke *cloud*. (Arrahma et al., 2023), Menyatakan bahwa Mikrokontroler Esp32 memiliki keunggulan seperti harganya yang murah dan konsumsi daya yang sangat rendah, dengan adanya WiFi bawaan pada chip mikrokontroler, serta dukungan untuk kedua jenis *Bluetooth* dan fitur penghematan daya, membuatnya lebih fleksibel. Dalam sistem pemantauan daya, ESP32 biasanya melakukan pengambilan informasi dari sensor contohnya PZEM-004T, menghitung parameter tambahan, menampilkan hasil di layar lokal, dan mengirim pembaruan ke aplikasi *Blynk*. Penelitian penerapan lokal

menunjukkan keunggulan ESP32 dalam proses pengukuran dan transmisi data secara *real time*.

Kemampuan ESP32 untuk terhubung ke jaringan *Wi-Fi* membuatnya menjadi alat komunikasi yang efektif dalam sistem pengawasan listrik. Di samping itu, alat ini juga kompatibel dengan berbagai protokol seperti UART, SPI, dan I2C, sehingga mudah terhubung dengan sensor daya seperti PZEM004T untuk mencatat tegangan, arus, daya, dan energi listrik. Penelitian yang dilakukan oleh menunjukkan bahwa menggabungkan ESP32 dengan sensor daya dapat memberikan hasil pembacaan konsumsi listrik yang tepat serta memungkinkan pengiriman data secara langsung ke aplikasi *IoT*, seperti Telegram atau *Blynk*, yang dapat digunakan untuk memonitor dari jauh. Hasil ini mendukung penggunaan ESP32 sebagai elemen utama dalam sistem pemantauan listrik berbasis *IoT*.

3. Sensor PZEM004t



Sumber : allegro.pl

Gambar 2. 2 Sensor PZEM004T

Sensor PZEM-004T merupakan modul elektronik yang dikembangkan khusus untuk melakukan pengukuran berbagai parameter kelistrikan secara *real-time* dalam rangkaian listrik AC. Secara umum, perangkat ini bekerja sebagai subsistem akuisisi data yang mampu membaca tegangan listrik V, arus listrik A, daya aktif W, energi terpakai kWh, frekuensi Hz, serta faktor daya, kemudian mengirimkan informasi tersebut ke unit pemrosesan seperti mikrokontroler. Data yang diperoleh oleh sensor ini menjadi dasar bagi sistem informasi pemantauan untuk menampilkan gambaran konsumsi energi listrik secara aktual dan terus-menerus. Dalam konteks pengembangan sistem pemantauan listrik berbasis Internet of Things IoT dengan ESP32 dan aplikasi *Blynk*, PZEM-004T berfungsi sebagai komponen utama yang menyediakan data *real-time* untuk dianalisis, divisualkan, serta digunakan dalam penyesuaian durasi pemantauan atau pengendalian perangkat listrik secara otomatis.

Penelitian yang dipublikasi oleh (Yadie et al., 2025), dijelaskan bahwa modul PZEM-004T mampu mengukur parameter listrik seperti tegangan, arus, daya aktif, faktor daya, dan energi, serta hasil pembacaan sensor ini berhasil dikirimkan ke platform *Blynk* untuk monitoring jarak jauh melalui smartphone, dengan tingkat akurasi pengukuran *error* kurang dari 5% pada semua parameter pengukuran. (Yadie et al., 2025), Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa PZEM-004T dapat berfungsi sebagai alat ukur listrik yang handal dalam sistem monitoring energi berbasis mikrokontroler dan

IoT, khususnya ketika dikombinasikan dengan antarmuka visual seperti *Blynk* yang dapat diakses secara *real-time* oleh pengguna.

Berdasarkan uraian teori dan pendapat ahli di atas, sensor PZEM-004T dapat didefinisikan secara konseptual sebagai perangkat pemantauan kelistrikan multifungsi yang mampu mengukur dan menyediakan parameter listrik penting secara *real-time*, yang kemudian dapat dikombinasikan dengan mikrokontroler ESP32 dan platform visualisasi IoT seperti *Blynk* untuk membangun sistem monitoring konsumsi energi listrik yang akurat, responsif, dan dapat diakses dari jarak jauh. Integrasi PZEM-004T dalam sistem informasi pemantauan listrik *real-time* memungkinkan penyampaian data yang komprehensif tentang konsumsi energi, mendukung pengambilan keputusan pengguna dalam pengaturan durasi pemantauan, pengendalian beban, serta pengelolaan penggunaan energi yang lebih efisien dan hemat biaya.

4. *Blynk*

Platform *Blynk* merupakan sebuah aplikasi berbasis *Internet of Things* (IoT) yang digunakan untuk memantau dan mengendalikan perangkat elektronik dari jarak jauh melalui koneksi internet. Secara umum, *Blynk* menyediakan antarmuka visual berupa dashboard pada perangkat pintar seperti smartphone atau tablet yang memungkinkan pengguna untuk melihat data sensor, status aktuator, dan variabel sistem secara *real-time*. Platform ini juga mendukung komunikasi dua arah antara perangkat mikrokontroler ESP32 dengan aplikasi, sehingga data yang dikirim oleh

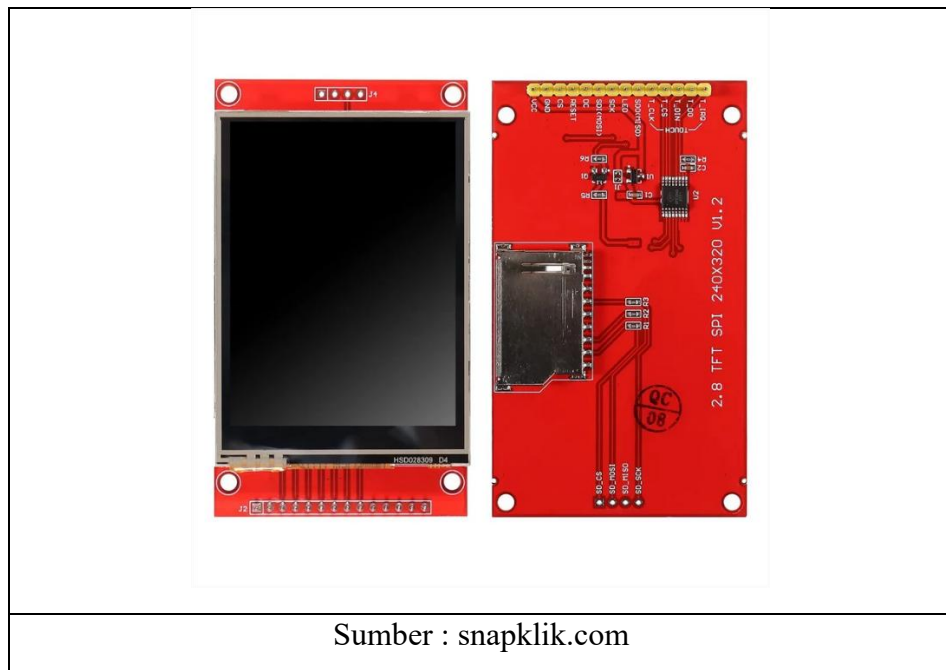
sensor di perangkat dapat divisualisasikan secara langsung dan pengguna dapat mengirim perintah kontrol kembali ke perangkat. Dengan fitur visualisasi data berupa grafik, tombol kontrol, dan indikator digital, *Blynk* mempermudah pengguna dalam menganalisis pola penggunaan energi, merencanakan strategi penghematan, serta menyesuaikan durasi pemantauan sesuai kebutuhan operasional.

Pendekatan *Blynk* sebagai platform visualisasi dan kontrol dibahas dalam studi evaluasi kinerja sistem *IoT*, di mana (Setianto et al., 2025), menyatakan bahwa sistem ini mampu menampilkan kondisi lingkungan secara *real-time*, seperti suhu dan kelembapan, baik pada serial monitor maupun aplikasi *Blynk* di perangkat seluler, sehingga memfasilitasi pemantauan data lingkungan secara langsung. Responsif dan efisien kepada pengguna adalah kemampuan yang di berikan blynk untuk menyampaikan data sensor.

Berdasarkan uraian di atas, dapat disintesis bahwa *Blynk* merupakan platform *IoT* yang menyediakan layanan visualisasi dan kontrol *real-time* yang penting dalam pengembangan sistem pemantauan listrik berbasis ESP32. Secara konseptual, *Blynk* memungkinkan integrasi data sensor dari perangkat *IoT* ke antarmuka pengguna dengan tampilan yang mudah dipahami, mendukung pengiriman perintah kontrol, serta menyediakan akses data pemantauan energi secara *real-time* melalui aplikasi *mobile*. Dengan demikian, *Blynk* menjadi komponen kunci dalam sistem

pemantauan listrik yang memerlukan visualisasi konsumsi energi dan kemampuan penyesuaian durasi pemantauan sesuai kebutuhan pengguna.

5. *TFT* ILI9341



Gambar 2. 3 TFT ILI 9341

Layar periferal merupakan komponen penting dalam sistem informasi tertanam karena berfungsi sebagai antarmuka visual bagi pengguna untuk memahami data yang diproses oleh suatu sistem. Dalam pengembangan sistem pemantauan listrik secara *real-time*, penggunaan layar *TFT* (*Thin-Film Transistor*) berbasis *driver* ILI9341 menjadi populer karena kemampuan tampilannya yang mendukung grafis penuh warna serta resolusi yang memadai untuk visualisasi data kompleks. Layar *TFT* ILI9341 umumnya terhubung ke mikrokontroler melalui antarmuka serial *SPI* (*Serial Peripheral Interface*) yang efisien dalam pengiriman data visual

dan kompatibel dengan berbagai papan pengembangan seperti ESP32. Berkat kemampuannya menampilkan grafik, teks, dan angka secara langsung, modul ILI9341 dapat menampilkan informasi konsumsi energi, grafik tren, serta pengaturan durasi pemantauan dalam satu tampilan yang mudah dipahami oleh pengguna akhir.

Beberapa penelitian telah mengeksplorasi integrasi ILI9341 *TFT LCD display* dalam sistem berbasis mikrokontroler untuk memvisualisasikan data secara *real-time*. Dalam artikel (Rachakonda et al., 2025), dijelaskan bahwa modul ILI9341 *TFT* berhasil dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32 melalui protokol SPI dan diuji untuk menampilkan teks, font, dan grafik dasar sebagai bagian dari tampilan digital yang mengambil informasi melalui koneksi *Wi-Fi*. Modul 2.4" ini mampu berkomunikasi dengan ESP32 untuk memverifikasi kestabilan transfer data grafis serta performa tampilan dalam kondisi beban tinggi seperti saat *refresh* grafis dan komunikasi *Wi-Fi* secara bersamaan. Modul seperti ini relevan untuk sistem pemantauan listrik karena kemampuan visualisasinya memungkinkan pengguna melihat data konsumsi energi, trend pemakaian, dan informasi penting lainnya secara langsung pada layar lokal tanpa selalu mengandalkan aplikasi jarak jauh.

Tampilan *TFT LCD* ILI9341 modul ini menyediakan layar berwarna dengan kontrol grafis yang cukup mudah dikonfigurasi melalui pustaka perangkat lunak yang tersedia secara luas serta dokumentasi yang memadai. Layar *TFT* ILI9341 dapat ditetapkan secara konseptual sebagai

perangkat visual antarmuka pengguna dalam sistem pemantauan listrik *real-time* yang berfungsi untuk menyediakan representasi grafis dari data pengukuran listrik yang diperoleh mikrokontroler seperti ESP32. Sebagai modul display dengan dukungan warna penuh dan antarmuka SPI yang efisien, ILI9341 memungkinkan penyajian informasi konsumsi energi, grafik tren daya, serta indikator pengaturan durasi pemantauan secara langsung dan interaktif kepada pengguna. Hal ini mendukung tujuan penelitian untuk menghadirkan sistem monitoring yang tidak hanya akurat dalam pengukuran tetapi juga informatif dan mudah diakses melalui tampilan lokal maupun aplikasi visual pada platform *IoT* seperti *Blynk*.

6. Relay



Gambar 2. 4 Relay 4 Channel

Sistem otomasi dan pemantauan energi berbasis *Internet of Things* (*IoT*), modul relay berperan sebagai aktuator utama yang memungkinkan mikrokontroler untuk mengendalikan perangkat listrik *ON/OFF* secara elektris. Relay merupakan suatu saklar elektromagnetik yang dapat

membuka atau menutup sirkuit listrik di beban eksternal ketika terdapat sinyal logika dari suatu pengendali digital. Relay memungkinkan pengontrolan beban listrik yang bertegangan lebih tinggi melalui sinyal kendali tegangan mikro *low voltage* ketika diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti ESP32, sehingga mikrokontroler tidak langsung menanggung beban arus utama yang besar. Integrasi ini memungkinkan perancangan sistem monitoring dan kontrol energi yang responsif serta bisa diterapkan pada *smart home*, *smart grid*, maupun pengendalian peralatan rumah tangga dalam rentang *real-time*.

Kontrol relay dalam bidang *IoT* didukung oleh studi yang dilakukan oleh (Rahayu et al., 2025), yang menjadikan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kontrol utama untuk modul relay 4 *channel*. Modul relay berfungsi sebagai output sistem yang diaktifkan berdasarkan sinyal digital yang diberikan oleh ESP32 melalui fungsi *digitalWrite()* untuk menyambungkan atau memutus arus listrik yang terhubung pada setiap *channel*. Sistem ini bisa menerima perintah dari aplikasi Blynk, kemudian mengubah sinyal digital menjadi tindakan hidup/mati pada setiap saluran relay, sehingga memungkinkan pengelolaan berbagai perangkat listrik secara mandiri dan *real-time* dengan waktu respons kurang dari 2 detik. Penggabungan ESP32 dan relay memberikan kontrol konsumsi energi yang sangat fleksibel dan respons yang baik dalam aplikasi rumah pintar.

Berdasarkan kajian literatur di atas, definisi konseptual modul relay 4 *channel* dalam penelitian ini adalah sebuah perangkat aktuator berbasis

elektromagnetik yang dikendalikan secara digital oleh mikrokontroler ESP32 untuk mengatur aliran listrik ke beberapa beban secara terpisah. Modul ini memfasilitasi pengambilan keputusan kontrol listrik dalam sistem monitoring energi selaras dengan aplikasi *IoT* seperti *Blynk*, sehingga memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengaktifkan atau menonaktifkan berbagai perangkat listrik dari jarak jauh secara *real-time*. Perangkat ini menjadi ujung tombak kendali beban listrik dalam sistem pemantauan konsumsi listrik berbasis *IoT* yang diusulkan.

7. Perhitungan Biaya (Rp)

Perhitungan biaya energi listrik merupakan proses numerik yang menghubungkan jumlah energi listrik yang dikonsumsi dengan tarif listrik per satuan energi sehingga menghasilkan nilai biaya yang harus dibayar. Secara umum, energi listrik yang dikonsumsi oleh suatu peralatan listrik dapat diukur dalam satuan kilowatt-jam kWh, yaitu hasil perkalian antara besaran daya Watt yang digunakan dan durasi waktu operasi jam peralatan tersebut, lalu dibagi 1000 untuk konversi ke kWh. Setelah nilai energi dalam kWh diperoleh, langkah selanjutnya dalam perhitungan biaya adalah mengalikan nilai energi tersebut dengan tarif listrik dari penyedia layanan listrik, sehingga diperoleh jumlah rupiah yang harus dibayarkan oleh konsumen atas penggunaan energi listrik dalam periode tertentu. Prinsip dasar ini merupakan komponen penting dalam sistem pemantauan energi berbasis *IoT* yang memperlihatkan konsumsi energi dan estimasi biayanya secara *real-time* kepada pengguna sistem.

Penelitian oleh (Magfirah et al., 2024), dalam jurnal Sistem Monitoring Biaya Konsumsi Listrik Rumah Tangga Berbasis *IoT* menjelaskan bahwa “data yang dikumpulkan ditampilkan pada LCD dan ditransmisikan ke *firebase*, yang sinkron dengan aplikasi, memungkinkan pengguna untuk memantau biaya konsumsi listrik. Aplikasi juga dilengkapi dengan fungsi untuk mengunduh data dan menghitung biaya listrik selama berbagai periode”. Studi ini menunjukkan implementasi perhitungan biaya listrik di mana sistem memproses energi listrik yang terukur melalui sensor kemudian dikonversi menjadi estimasi biaya dalam Rupiah berdasarkan tarif listrik yang berlaku. Dengan pendekatan ini, pengguna dapat melihat biaya listrik harian, bulanan, atau tahunan yang dihasilkan oleh konsumsi energi yang terukur secara otomatis oleh sistem monitoring berbasis *IoT* (Magfirah et al., 2024).

$$Rp = E \times \text{Tarif} / kWh \quad (2.1)$$

Penelitian (Haryanto et al., 2024), menyatakan sistem monitoring konsumsi listrik yang dibangun dengan sensor dan mikrokontroler juga menunjukkan kemampuan untuk menampilkan estimasi biaya listrik secara langsung kepada pengguna. Penelitian tersebut mencatat parameter konsumsi energi listrik peralatan rumah tangga serta estimasi biaya yang harus dibayarkan berdasarkan hasil pengukuran sensor, yang kemudian divisualisasikan melalui antarmuka sistem monitoring. Dengan demikian, implementasi perhitungan biaya energi listrik tidak hanya memberikan informasi nilai energi, tetapi juga memberikan konteks finansial yang

membantu pengguna memahami dampak konsumsi energi terhadap pengeluaran rumah tangga atau unit usaha yang dipantau.

Berdasarkan uraian tersebut, definisi konseptual variabel perhitungan biaya energi listrik Rp dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai proses pengolahan data energi listrik yang terukur dalam kWh dan konversinya ke nilai biaya dalam Rupiah dengan menggunakan tarif listrik per satuan kWh yang berlaku, sehingga sistem monitoring berbasis ESP32 dan *Blynk* tidak hanya menampilkan penggunaan energi secara *real-time* tetapi juga estimasi pengeluaran biaya yang informatif bagi pengguna. Konsep ini menjadi komponen variabel penelitian yang diukur secara kuantitatif dalam sistem pemantauan listrik *real-time* serta menjadi dasar dalam pengembangan fitur visualisasi pengeluaran energi dan penyesuaian durasi pemantauan pada sistem yang dibangun.

8. Periode *Monitoring* dan *Monitoring Real-Time*

Periode pemantauan dalam konteks sistem pemantauan listrik merujuk pada interval waktu di mana data konsumsi listrik dikumpulkan, diproses, dan disajikan kepada pengguna. Dalam sebuah sistem informasi yang terintegrasi dengan teknologi *IoT (Internet of Things)*, *monitoring* ini dilakukan secara otomatis, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang cepat dan tepat terhadap status penggunaan energi listrik. Sistem pemantauan yang efektif harus mampu menangkap perubahan nilai parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, dan energi dalam selang waktu tertentu secara berkala serta menampilkan hasilnya melalui

antarmuka visual yang mudah dipahami. Konsep ini tidak hanya berkaitan dengan frekuensi pembacaan data, tetapi juga mencakup kemampuan sistem untuk memperbarui informasi secara terus-menerus dan *real-time* sehingga memungkinkan pengguna mendapat gambaran terkini mengenai kondisi pemakaian listrik.

Penelitian yang dilakukan oleh (Munir & Wibisono, 2025), dijelaskan bahwa sistem ini memanfaatkan *Internet of Things (IoT)* untuk pemantauan konsumsi daya listrik secara *real-time*, sehingga memungkinkan pengguna untuk memantau penggunaan energi secara terus-menerus dan mengambil keputusan berdasarkan data terkini yang tersedia, sehingga parameter listrik yang terukur dari sensor dikirim secara langsung ke *platform* aplikasi melalui koneksi jaringan untuk ditampilkan kepada pengguna. (Padang & Syofian, 2020), Dalam studi tersebut dijelaskan bahwa pemantauan secara *real-time* memungkinkan pengguna untuk langsung melihat pola penggunaan energi, sehingga memudahkan pengelolaan energi dan mengambil tindakan cepat untuk mengurangi pemborosan serta meningkatkan efisiensi.

Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan secara konseptual bahwa periode pemantauan dan pemantauan *real-time* dalam sistem pemantauan listrik berbasis ESP32 dan *Blynk* merupakan proses pengambilan, pengiriman, dan penyajian data listrik secara berkala dan berkesinambungan melalui jaringan *IoT*. Periode pemantauan yang telah dirancang memastikan bahwa data dikumpulkan pada interval terjadwal,

sementara pemantauan *real-time* menjamin bahwa informasi selalu diperbarui dan dapat diakses oleh pengguna secara langsung tanpa penundaan yang berarti. Kombinasi keduanya mendukung efektivitas sistem dalam menyediakan informasi konsumsi energi secara akurat dan memastikan pengguna dapat melakukan tindakan pengelolaan energi yang responsif dan efisien.

B. Kajian Penelitian yang Relevan

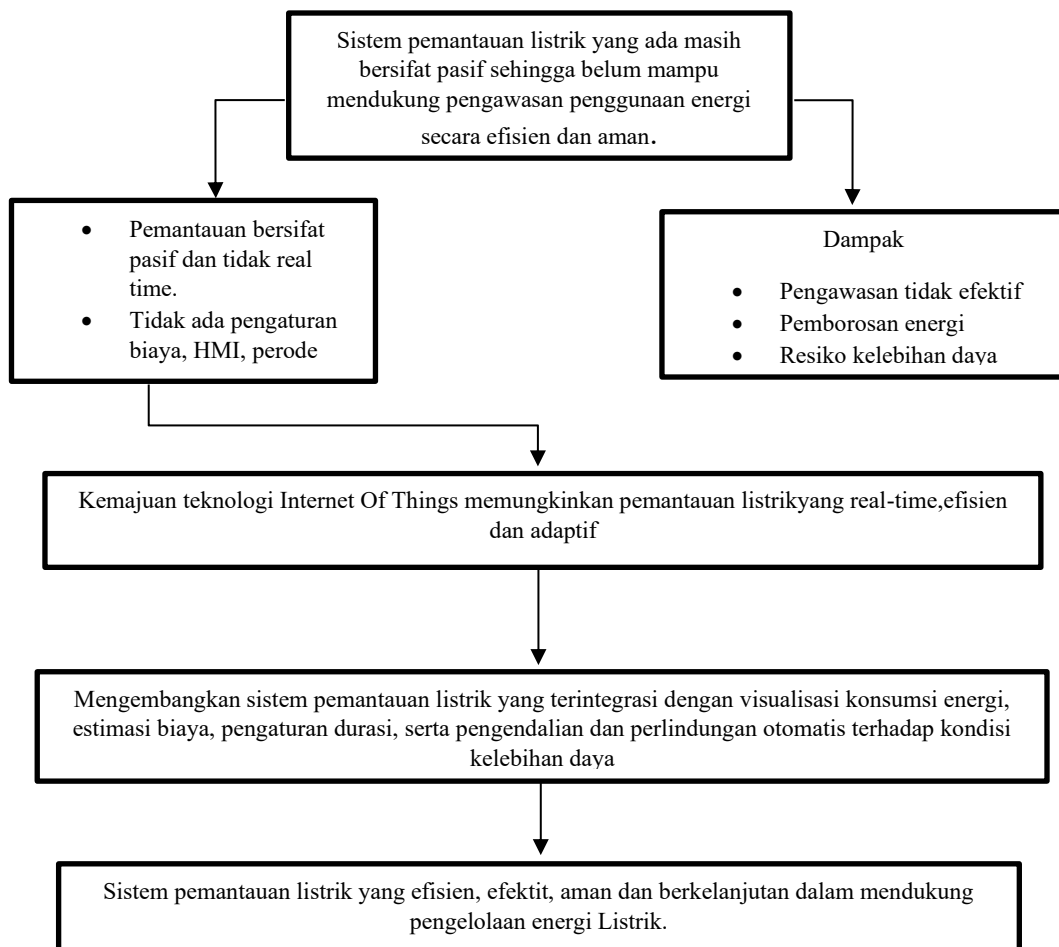
Tabel 2. 1 Kajian Penelitian yang Relevan

Nama	Hasil	Keterbatasan	Perbedaan dan Relevansi
(Gunawan, 2025), Sistemkontrol Dan Monitoring Beban Listrik Di Pondok Pesantren Al-Husna Pontianak Berbasis <i>IoT</i>	Sistem mampu monitoring <i>real-time</i> konsumsi listrik dan kontrol beban.	Fokus monitoring data listrik dan kendali via <i>Blynk</i> .	Tidak pakai tampilan <i>TFT</i> , pakai LCD; proteksi <i>over-current</i> tidak dibahas.
(Aditya et al., 2025), Rancang Bangun Alat Kontrol Dan Monitoring Penggunaan Energi Listrik Berbasis Internet Of Things	Kesalahan pengukuran kecil; sistem <i>real-time</i> dan control otomatis bekerja.	Sama: <i>IoT real-time</i> , kontrol dan <i>Blynk</i> .	Ada input keypad untuk batas energi; tidak ada visualisasi <i>TFT</i>
(Khaeri et al., 2025), Rancang Bangun Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis <i>IoT</i> Untuk Pemantauan dan Analisis Konsumsi Daya. Fatin Samsul	Menampilkan data <i>real-time</i> , grafik historis, membantu analisis pola konsumsi.	ESP32 untuk <i>real-time</i> monitoring energi.	Data dikirim ke Firebase & ditampilkan web (bukan <i>Blynk</i>) dan tidak ada TFT monitor.
(Alexcandra et al., 2024), Sistem Pemantauan Dan Pengendalian Energi Berbasis <i>IoT</i> Untuk Meningkatkan Efisiensi Energi Dalam Lingkungan Cerdas	Akurasi pengukuran daya baik; efisiensi energi meningkat.	Monitoring <i>real-time</i> dan kontrol konsumsi energi.	Fokus lebih pada efisiensi energi umumnya, bukan control multi-relay
(Pratama & Dewi, 2025), Monitoring and controlling the electricity usage of 2 Room rented house based on <i>IoT</i>	Otomatis cut-off lewat relay saat biaya limit tercapai.	<i>Real-time</i> + <i>IoT</i> + kontrol relay.	Integrasi Google Sheet & sensor multi-room; bukan <i>Blynk</i> + <i>TFT</i>

Nama	Hasil	Keterbatasan	Perbedaan dan Relevansi
(Fatin & Saputra, 2025), Monitoring Of Household Electricity Usage Based On The Internet Of Things	Akurasi tinggi ($<0.3\%$ <i>error</i>) & <i>real-time</i> monitoring.	ESP32 <i>real-time</i> + sensor PZEM-004T.	Tidak melibatkan kontrol relay 4-channel atau <i>TFT</i> .
(Budiarto et al., 2025), Sistem Monitoring Listrik Berbasis IoT menggunakan ESP8266 dan Blynk	Monitoring <i>real-time</i> parameter listrik (V, A, W, kWh) via Blynk	Tidak ada fitur biaya (Rp), tidak ada proteksi cut-off, tidak ada tampilan lokal, tidak ada pengaturan periode	Sistem ini menggunakan ESP32 (lebih powerful), tidak ada <i>TFT</i> ILI9341, relay 4 channel, fitur biaya, proteksi otomatis, dan pengaturan periode

C. Kerangka Berfikir

Meningkatnya kebutuhan energi listrik memerlukan sistem pemantauan dan pengendalian yang mampu menyajikan data konsumsi sekaligus mengatur penggunaan listrik secara aktif. Pemanfaatan teknologi *Internet of Things (IoT)* memungkinkan pengembangan sistem pemantauan listrik berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan sensor PZEM-004T untuk mengukur parameter kelistrikan secara *real-time*, meliputi tegangan, arus, daya, dan energi listrik. Data hasil pengukuran diolah menjadi informasi konsumsi dan estimasi biaya listrik, serta dikombinasikan dengan modul relay sebagai aktuator pengendalian beban secara manual maupun otomatis melalui mekanisme proteksi kelebihan daya. Sistem ini didukung oleh aplikasi Blynk dan layar *TFT* ILI9341 sebagai antarmuka pemantauan jarak jauh dan lokal guna meningkatkan efisiensi dan keandalan pengelolaan energi listrik.



Gambar 2. 5 Flowchart Kerangka Berfikir

D. Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian ini Adalah sistem *monitoring real-time* menggunakan ESP32 yang terintegrasi dengan aplikasi *Blynk*, relay 4 chanel, proteksi over current, serta tampilan *TFT ILI9341* dapat meningkatkan efektifitas pemantauan dan pengendalian penggunaan energi Listrik. Rumusan hipotesis penelitian ini yaitu:

H_0 : Pengembangan sistem monitoring Listrik real-time berbasis ESP32 dan Blynk tidak memberikan peningkatan yang signifikan dalam akurasi pemantauan konsumsi energi, serta keamanan sistem kelistrikan.

H₁: Pengembangan sistem monitoring Listrik real-time berbasis ESP32 dan Blynk mampu memberikan peningkatan yang signifikan dalam akurasi pemantauan konsumsi energi, serta keamanan sistem kelistrikan.

Peningkatan signifikan diukur melalui indikator: error sensor $< 5\%$ pada uji kalibrasi, waktu respons proteksi cut-off < 1 detik, persentase kelayakan validasi ahli $\geq 90\%$, dan persentase respon pengguna $\geq 90\%$.