



**SISTEM *MONITORING DAN KONTROL BEBAN*  
LISTRIK 1 PHASA BERBASIS TEKNOLOGI  
*INTERNET OF THINGS (IOT)***

**SKRIPSI**

**Oleh:**

Samuel Pablo Saputra Simanjuntak  
20210800013

Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Sains dan Teknologi

**UNIVERSITAS BUDDHI DHARMA  
TANGERANG**

**2025**



**SISTEM *MONITORING DAN KONTROL BEBAN*  
LISTRIK 1 PHASA BERBASIS TEKNOLOGI  
*INTERNET OF THINGS (IOT)***

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Buddhi Dharma

Jenjang Pendidikan Strata 1

Oleh:

Samuel Pablo Saputra Simanjuntak

20210800013

Fakultas Sains dan Teknologi

**UNIVERSITAS BUDDHI DHARMA  
TANGERANG**

**2025**

## **LEMBAR PERSEMBAHAN**

Puji dan dengan mengucap puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, Skripsi ini kupersembahkan untuk,

1. Bapak dan Mama tercinta, yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat yang tiada henti.
2. Naomy Saskia Veronica yang selalu sabar dan mendukung segala usaha skripsi saya.
3. Hiu Stela Lucia, atas dukungan dalam pembuatan skripsi ini.
4. Teman-teman *Engineering Parador Property Management*, atas kerja sama dan inspirasi selama ini.
5. Bapak Assoc. Prof. Jacob Febryadi Nithanel Dethan, S.T., M.Eng.Sc., PhD selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi selama proses penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Junaidi Akbar, S.Pd., M.Pd.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Buddhi Dharma, atas segala fasilitas dan dukungan yang telah diberikan.
7. Rekan-rekan Universitas Buddhi Dharma yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas kebersamaan, dukungan, dan bantuan yang berarti selama masa studi.

**UNIVERSITAS BUDDHI DHARMA**  
**LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini,

NIM : 20210800013  
Nama : Samuel Pablo Saputra Simanjuntak  
Jenjang Studi : Strata 1  
Program Studi : Teknik Elektro  
Peminatan : Smart Power Engineering

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat Gelar Akademik Sarjana atau kelengkapan studi, baik di Universitas Buddhi Dharma maupun di Perguruan Tinggi lainnya.
2. Skripsi ini saya buat sendiri tanpa bantuan dari pihak lain, kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam Skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dan dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan Daftar Pustaka.
4. Dalam Skripsi ini tidak terdapat pemalsuan (kebohongan), seperti buku, artikel, jurnal, data sekunder, pengolahan data, dan pemalsuan tanda tangan dosen atau Ketua Program Studi Universitas Buddhi Dharma yang dibuktikan dengan keasliannya.
5. Lembar pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya, tanpa paksaan dan apabila di kemudian hari atau pada waktu lainnya terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima Sanksi Akademik berupa pencabutan Gelar Akademik yang telah saya peroleh karena Skripsi ini serta sanksi lainnya sesuai dengan peraturan dan norma yang berlaku.

Tangerang, 4 Agustus 2025  
Yang membuat pernyataan,



Samuel Pablo Saputra Simanjuntak  
NIM. 20210800013

**UNIVERSITAS BUDDHI DHARMA**  
**LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

Yang bertanda tangan di bawah ini,

NIM : 20210800013  
Nama : Samuel Pablo Saputra Simanjuntak  
Jenjang Studi : Strata 1  
Program Studi : Teknik Elektro  
Peminatan : *Smart Power Engineering*

Dengan ini menyetujui untuk memberikan izin kepada pihak Universitas Buddhi Dharma, Hak Bebas Royalti Non - Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah kami yang berjudul: "**Sistem Monitoring dan Kontrol Beban Listrik 1 Phasa Berbasis Teknologi Internet of Things (IoT)**", beserta alat yang diperlukan (apabila ada).

Dengan Hak Bebas Royalti Non - Eksklusif ini pihak Universitas Buddhi Dharma berhak menyimpan, mengalih - media atau format - kan, mengelolanya dalam pangkalan data (*database*), mendistribusikannya dan menampilkan atau mempublikasikannya di *internet* atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis pertama atau pencipta karya ilmiah tersebut. Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Universitas Buddhi Dharma, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Tangerang, 4 Agustus 2025  
Yang membuat pernyataan,



Samuel Pablo Saputra Simanjuntak  
NIM. 20210800013

**UNIVERSITAS BUDDHI DHARMA**  
**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING SKRIPSI**

**SISTEM *MONITORING DAN KONTROL BEBAN LISTRIK 1 PHASA BERBASIS TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS (IOT)***



Assoc. Prof. Jacob Febryadi Nithanel Dethan, S.T., M.Eng.Sc., PhD

NUPTK. 5538767668137002

**UNIVERSITAS BUDDHI DHARMA**  
**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**SISTEM MONITORING DAN KONTROL BEBAN  
LISTRIK 1 PHASA BERBASIS TEKNOLOGI  
INTERNET OF THINGS (IOT)**



Dekan

Dr. Yakub, M.M., M.Kom.

NUPTK. 1836747648130172

Ketua Program Studi,

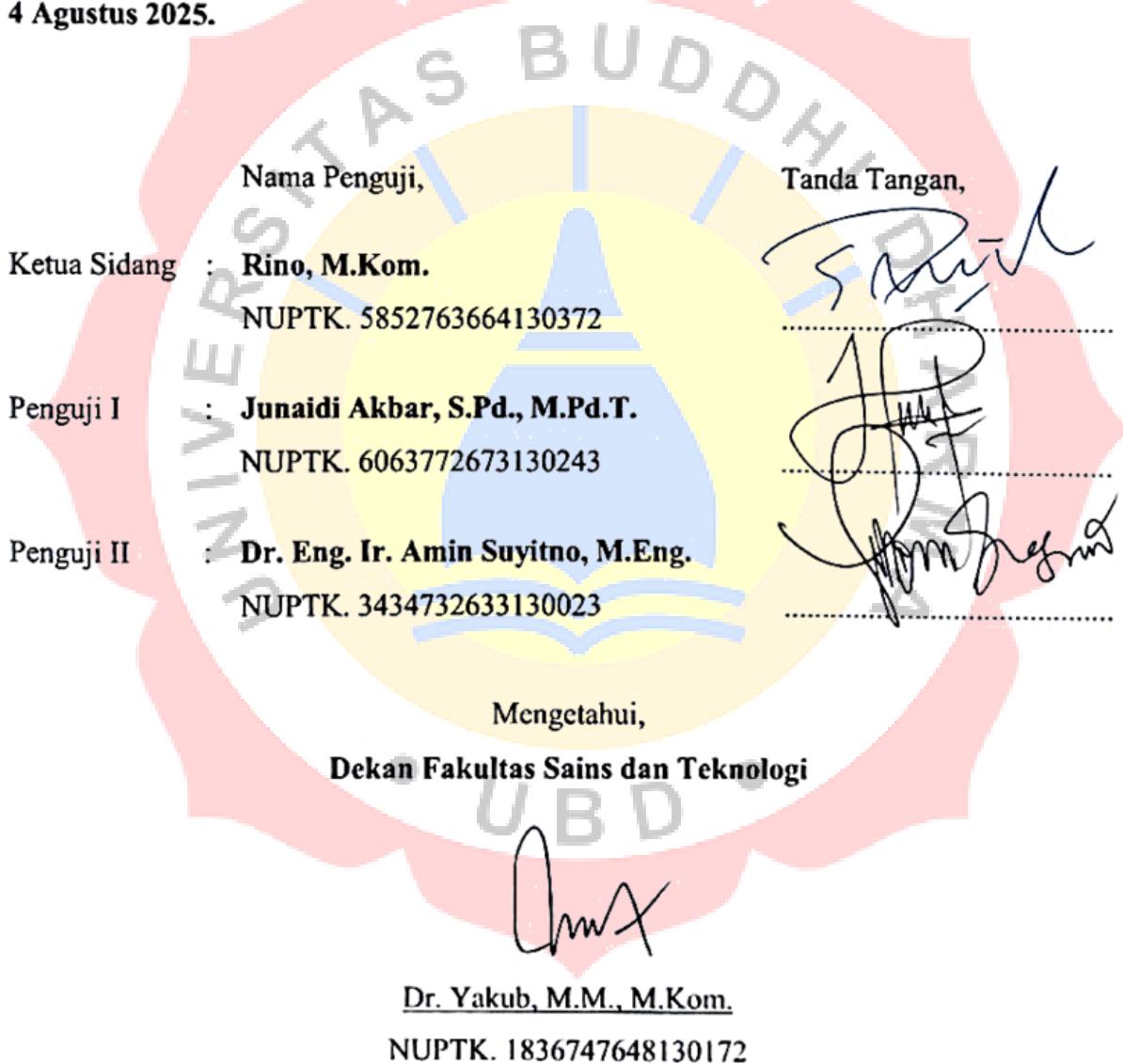
Junaidi Akbar, S.Pd., M.Pd.T.

NUPTK. 6063772673130243

## LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

Nama : Samuel Pablo Saputra Simanjuntak  
NIM : 20210800013  
Fakultas : Fakultas Sains dan Teknologi  
Jenjang Studi : Strata 1  
Program Studi : Teknik Elektro  
Peminatan : *Smart Power Engineering*  
Judul Skripsi : Sistem *Monitoring* dan Kontrol Beban Listrik 1 Phasa Berbasis  
Teknologi *Internet of Things* (IoT)

Dinyatakan **LULUS** setelah mempertahankan di depan Tim Penguji pada hari **Senin, 4 Agustus 2025.**



## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan Rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga dapat menyusun dan menyelesaikan Skripsi ini dengan Judul “**Sistem Monitoring dan Kontrol Beban Listrik 1 Phasa Berbasis Teknologi Internet of Things (IoT)**”. Tujuan utama dari pembuatan Skripsi ini adalah sebagai salah satu syarat kelengkapan dalam menyelesaikan Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Buddhi Dharma. Dalam penyusunan Skripsi ini penulis banyak menerima bantuan dan dorongan baik moril maupun materiil dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada,

1. Ibu Dr. Limajatini, S.E., M.M., B.K.P., sebagai Rektor Universitas Buddhi Dharma.
2. Bapak Dr. Yakub, M.M., M.Kom., sebagai Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
3. Bapak Junaidi Akbar, S.Pd., M.Pd.T., sebagai Ketua Program Studi Teknik Elektro dan Anggota Penguji I yang telah memberikan saran dan kritikan demi kesempurnaan Skripsi ini.
4. Bapak Assoc. Prof. Jacob Febryadi Nithanel Dethan S.T., M.Eng.Sc., Ph.D., sebagai Pembimbing yang telah membantu dan memberikan dukungan serta harapan untuk menyelesaikan penulisan Skripsi ini.
5. Bapak Rino, M.Kom. sebagai Ketua Penguji yang telah memberikan saran dan kritikan demi kesempurnaan Skripsi ini.
6. Bapak Dr. Eng. Ir. Amin Suyitno, M.Eng., sebagai Anggota Penguji II yang telah memberikan saran dan kritikan demi kesempurnaan Skripsi ini.
7. Orang tua, Kakak dan Adik yang selalu memberikan dukungan baik moril dan materiil serta doa sehingga Skripsi ini dapat selesai.
8. Naomy Saskia Veronica yang telah mendukung dan memberikan semangat dalam mengerjakan Skripsi.
9. Teman-teman *engineering* Parador Property Management, Hiu Stella Lucia, dan teman-teman lain yang tidak bisa saya ucapkan satu persatu, atas segala bantuan dan dukungannya dalam proses penggerjaan Skripsi ini.

Serta semua pihak yang terlalu banyak untuk disebutkan satu-persatu sehingga terwujudnya penulisan ini. Penulis menyadari bahwa penulisan Skripsi ini masih belum sempurna, untuk itu penulis mohon kritik dan saran yang bersifat membangun demi

kesempurnaan penulisan di masa yang akan datang. Akhir kata semoga Skripsi ini dapat berguna bagi penulis khususnya bagi para pembaca yang berminat pada umumnya.

Tangerang, Agustus 2025

**Penulis**



**Sistem Monitoring dan Kontrol Beban Listrik 1 Phasa Berbasis Teknologi Internet of Things (IoT)**

79 Halaman + xvi / 16 Tabel / 23 Gambar / 13 Lampiran

## ABSTRAK

Meningkatnya permintaan listrik di sektor residensial menuntut solusi manajemen energi yang lebih efisien dan cerdas. Penelitian ini mengembangkan sistem cerdas untuk pemantauan dan kontrol beban listrik satu phasa berbasis teknologi *Internet of Things* (IoT). Sistem ini mengintegrasikan sensor PZEM-004T untuk memantau tegangan, arus, daya, energi, dan faktor daya secara *real-time*, yang dikombinasikan dengan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 untuk memproses dan mengirim data melalui jaringan Wi-Fi ke *platform* Blynk pada perangkat *mobile*. Modul *relay* digunakan untuk mengontrol beberapa beban listrik secara jarak jauh melalui *smartphone*. Sistem ini mendapat *supply* daya dari adaptor 12V 5A dan distabilkan menggunakan DC-DC *buck converter* agar operasi berjalan optimal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pemantauan parameter listrik dengan akurasi tinggi dan mengontrol beban dengan efisien secara jarak jauh. Implementasi ini membuktikan bahwa sistem cerdas berbasis IoT dapat mengurangi pemborosan energi, meningkatkan kendali pengguna, dan mendorong praktik penggunaan energi yang berkelanjutan. Sistem memberikan visualisasi *real-time*, kontrol jarak jauh, dan fitur notifikasi kepada pengguna, menjadikannya solusi praktis dan ekonomis untuk manajemen energi rumah pintar. Penelitian ini mendukung pengembangan teknologi *smart grid* dan meningkatkan kesadaran akan pentingnya efisiensi pemantauan energi di kalangan pengguna rumah tangga. Keberhasilan implementasi sistem ini membuka peluang besar untuk aplikasi lebih lanjut dalam skala yang lebih luas, berkontribusi pada pencapaian tujuan keberlanjutan energi global.

**Kata Kunci:** *Internet of Things*, Kontrol Jarak Jauh, Listrik Satu Phasa, Pemantauan Energi.

**Single-Phase Electrical Load Monitoring and Control System Based on Internet of Things (IoT) Technology**  
79 Pages + xvi / 16 Tables / 23 Figures / 13 Appendices

## ABSTRACT

The increasing demand for electricity in the residential sector requires more efficient and intelligent energy management solutions. This research develops a smart system for monitoring and controlling single-phase electrical loads based on Internet of Things (IoT) technology. The system integrates the PZEM-004T sensor to monitor voltage, current, power, energy, and power factor in real-time, combined with the NodeMCU ESP8266 microcontroller to process and transmit data via a Wi-Fi network to the Blynk platform on mobile devices. A relay module is used to remotely control multiple electrical loads via a smartphone. The system is powered by a 12V 5A adapter and stabilized using a DC-DC buck converter to ensure optimal operation. Test results show that the system can monitor electrical parameters with high accuracy and efficiently control loads remotely. This implementation demonstrates that IoT-based smart systems can reduce energy waste, enhance user control, and promote sustainable energy usage practices. The system provides real-time visualization, remote control, and notification features to users, making it a practical and economical solution for smart home energy management. This research supports the development of smart grid technology and raises awareness of the importance of energy monitoring efficiency among household users. The successful implementation of this system opens up significant opportunities for further applications on a larger scale, contributing to the achievement of global energy sustainability goals.

**Keywords:** Internet of Things, Remote Control, Single-Phase Electric, Energy Monitoring.

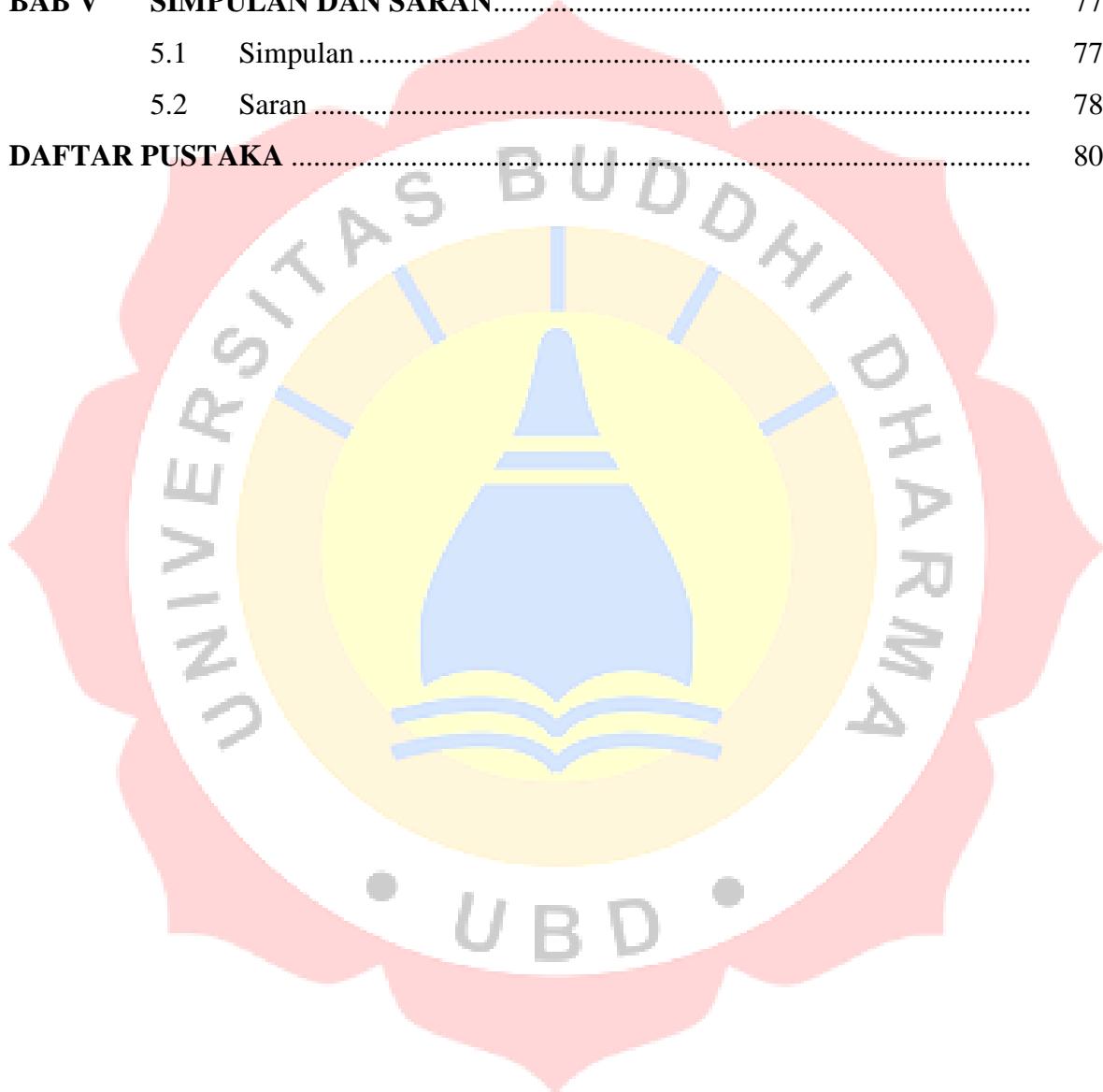


## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>LEMBAR PERSEMPAHAN.....</b>	i
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....</b>	
Error! Bookmark not defined.	
<b>LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....</b>	
Error! Bookmark not defined.	
<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING SKRIPSI.....</b>	iv
<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....</b>	
Error! Bookmark not defined.	
<b>LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI .....</b>	
Error! Bookmark not defined.	
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	iv
<b>ABSTRAK .....</b>	ix
<b>ABSTRACT.....</b>	x
<b>DAFTAR ISI .....</b>	xi
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian .....	4
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	4
1.4.1 Tujuan Penelitian.....	4
1.4.2 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II LANDASAN TEORI .....</b>	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.1.1 Listrik Satu <i>Phasa</i> .....	7
2.1.2 Teknologi IoT.....	8
2.1.3 Pemantauan dan Kontrol .....	10
2.1.4 PZEM 004T .....	11

2.1.5	ESP8266.....	14
2.1.6	BLYNK .....	16
2.1.7	Arduino IDE .....	20
2.2	Penelitian yang Relevan.....	23
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>31</b>
3.1	Diagram Penelitian .....	31
3.2	Studi Literatur .....	32
3.2.1	Teknologi <i>Internet of Things</i> (IoT) .....	32
3.2.2	Sistem <i>Monitoring</i> dan Kontrol Beban Listrik Satu Phasa..	32
3.2.3	Komponen Utama Sistem.....	32
3.3	Waktu dan Tempat Penelitian.....	37
3.3.1	Waktu Penelitian .....	37
3.3.2	Tempat Penelitian.....	37
3.4	Parameter Penelitian .....	38
3.5	Model yang Digunakan.....	39
3.6	Rancangan Penelitian.....	40
3.6.1	Rancangan Penelitian .....	40
3.6.2	Instrumen Penelitian.....	42
3.7	Teknik atau Metode Pengujian dan Pengambilan Data .....	45
3.7.1	Pengujian <i>Hardware</i> .....	45
3.7.2	Pengujian <i>Software</i> .....	45
3.7.3	Pengujian Integrasi Sistem .....	46
3.8	Analisis Data.....	46
3.9	Kerangka Pemikiran .....	47
3.10	Jadwal Penelitian .....	48
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>49</b>
4.1	Tahapan Hasil Penelitian .....	49
4.1.1	Studi Literatur .....	49
4.1.2	Pembuatan Perangkat Keras.....	49
4.1.3	Pembuatan <i>Monitoring</i> Perangkat Lunak.....	51
4.2	Hasil Desain .....	52
4.2.1	Desain Perangkat Keras .....	52
4.2.2	Desain Perangkat Lunak ( <i>Dashboard IoT</i> ) .....	53
4.3	Implementasi Hasil Desain .....	55

4.4	Data Hasil Pengujian, Implementasi dan Uji Coba Program.....	56
4.4.1	Pengujian Keakuratan Pengukuran Energi.....	56
4.4.2	Pengukuran Konsumsi Energi Beban Puncak .....	57
4.4.3	Pengukuran Konsumsi Energi Luar Beban Puncak .....	60
4.4.4	Klasifikasi Kategori Beban .....	63
4.4.5	Hasil Pengujian Konsumsi Daya dan Energi Tiap Beban....	66
<b>BAB V</b>	<b>SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>77</b>
5.1	Simpulan .....	77
5.2	Saran .....	78
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>80</b>



## DAFTAR TABEL

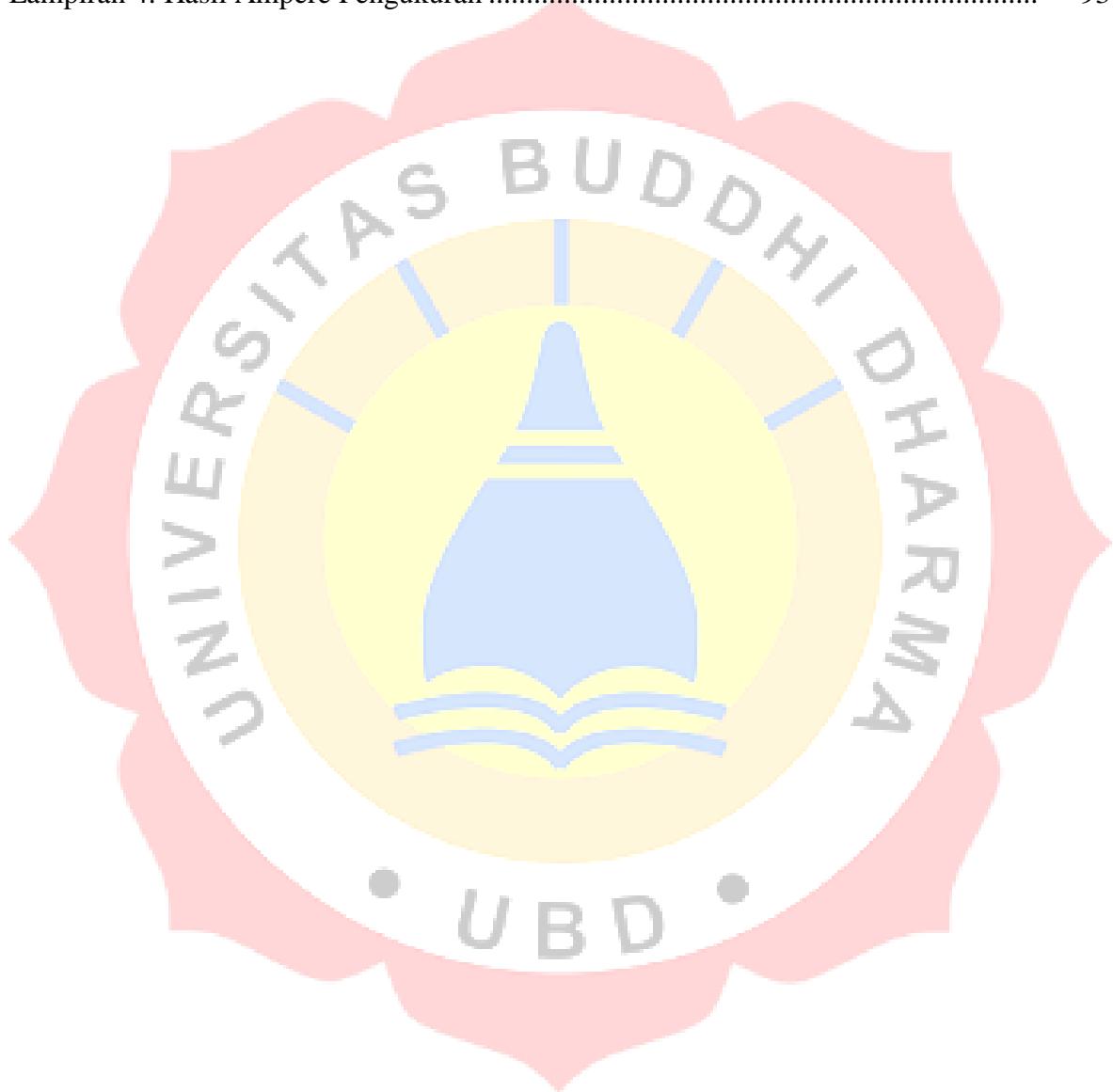
	<b>Halaman</b>
Tabel 3.1 Konfigurasi Pin NodeMCU ESP8266 .....	33
Tabel 3.2 Spesifikasi NodeMCU ESP8266.....	33
Tabel 3.3 Konfigurasi Pin PZEM-004T .....	34
Tabel 3.4 Spesifikasi PZEM-004T .....	34
Tabel 3.5 Konfigurasi Pin Modul <i>Relay Empat Channel</i> .....	35
Tabel 3.6 Spesifikasi Modul <i>Relay Empat Channel</i> .....	35
Tabel 3.7 <i>Power Supply 12V 5A</i> .....	36
Tabel 3.8 Konfigurasi Pin/Terminal Modul XL4015	36
Tabel 3.9 Spesifikasi Modul XL4015.....	37
Tabel 3.10 <i>Gantt Chart</i> Jadwal Penelitian.....	48
Tabel 4.1 Tabel Perbandingan Hasil Pengukuran Alat.....	56
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Beban Puncak.....	58
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Luar Beban Puncak .....	61
Tabel 4.4 Klasifikasi Kategori Beban.....	63
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Parameter Listrik.....	66
Tabel 4.6 Keberhasilan <i>Relay</i> Terhadap Kontrol Beban .....	76

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1 PZEM-004T .....	11
Gambar 2.2 ESP8266 .....	14
Gambar 2.3 Aplikasi Blynk .....	16
Gambar 2.4 Tampilan Arduino.....	20
Gambar 3.1 Diagram Penelitian .....	31
Gambar 3.2 Model Blynk dalam Penerapan IoT .....	40
Gambar 3.3 Rancangan Penelitian.....	41
Gambar 3.4 Kerangka Penelitian.....	47
Gambar 4.1 Rancangan pada Perangkat Keras.....	49
Gambar 4.2 <i>Wiring Diagram</i> Perangkat Keras .....	50
Gambar 4.3 <i>Flowchart</i> Pembuatan Perangkat Lunak.....	51
Gambar 4.4 Hasil Perakitan Perangkat Keras .....	53
Gambar 4.5 Tampilan Antarmuka Sistem <i>Monitoring</i> dan Kontrol pada Blynk <i>Web Dashboard</i> .....	54
Gambar 4.6 Tampilan Antarmuka Sistem <i>Monitoring</i> dan Kontrol pada Bylnk untuk Android .....	54
Gambar 4.7 Hasil Voltage Pengukuran Pompa Air.....	55
Gambar 4.8 Hasil Ampere Pengukuran Pompa Air .....	56
Gambar 4.9 Hasil Pengukuran pada Aplikasi Blynk Pompa Air .....	56
Gambar 4.10 Tegangan Tiap Beban .....	67
Gambar 4.11 Arus Listrik Tiap Beban .....	68
Gambar 4.12 Konsumsi Daya Tiap Beban .....	70
Gambar 4.13 Energi Terpakai Tiap Beban .....	71
Gambar 4.14 Frekuensi Tiap Beban .....	73
Gambar 4.15 Faktor Daya Tiap Beban .....	74

## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
Lampiran 1. Listing Program.....	87
Lampiran 2. Perhitungan Excel .....	89
Lampiran 3. Pengukuran pada Aplikasi Blynk.....	90
Lampiran 4. Hasil Ampere Pengukuran .....	93



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Meningkatnya penggunaan energi listrik di dunia menjadi sorotan utama dalam beberapa tahun terakhir, ditambah dampaknya terhadap ekosistem lingkungan dan ekonomi (Sinaga et al., 2021). Dalam sektor bangunan menyumbang sekitar 30% dari total konsumsi energi listrik yang ada di dunia (Nugroho et al., 2022). Indonesia, pertumbuhan konsumsi listrik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan populasi, dengan rata-rata pertumbuhan 4.5% pertahun (Yana et al., 2021).

Penggunaan daya yang digunakan oleh pelanggan PLN pada sektor rumah tangga sangat tinggi (Irvandi, 2022). Berdasarkan data dari Statistik Ketenagalistrikan tahun 2016 yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, jumlah pengguna jasa PLN pada sektor rumah tangga pada tahun sekitar 59.243.672. Penjualan pada bidang energi listrik ke pelanggan tersebut mencapai sekitar 93.634,63 GWh.

Sistem pemantauan dan kontrol beban listrik tradisional seringkali tidak mampu memberikan informasi *real-time* dan kontrol yang presisi (Luthfi & Junianto, 2023). Teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi potensial untuk masalah dengan cara mengumpulkan, menganalisis, dan mengendalikan data konsumsi energi secara *real-time* dan terpusat (Amane et al., 2023).

Perkembangan pada teknologi IoT telah membawa transformasi yang cukup signifikan dalam beberapa aspek kehidupan, termasuk manajemen energi listrik. Sistem konvensional umumnya tidak memberikan visibilitas langsung terhadap pemakaian listrik, sehingga cukup

sulit bagi pengguna untuk melakukan manajemen energi yang efektif (Yusuf & Sodik, 2023).

Hal ini diperkuat oleh studi yang menunjukkan bahwa penggunaan teknologi IoT dapat menurunkan konsumsi energi hingga 15% dengan pengawasan dan kontrol yang tepat (Kumar & Pandey, 2023; Poyyamozhi et al., 2024). Perkembangan IoT membuka peluang baru dalam pemantauan dan pengendalian sistem kelistrikan. Teknologi memungkinkan integrasi perangkat sensor dengan jaringan internet, sehingga data dapat dipantau dan dikendalikan dari jarak jauh secara *real-time*. Dalam konteks ini, penggunaan sensor PZEM-004T yang terintegrasi dengan modul ESP8266 menawarkan solusi yang efektif untuk mengukur berbagai parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, dan faktor daya secara akurat (Amalia et al., 2021).

Selain itu, implementasi sensor berbasis IoT pada beban listrik residensial telah terbukti meningkatkan responsivitas sistem pengelolaan energi (Selvam & Al-Humairi, 2023). Sistem cerdas berbasis IoT untuk pemantauan dan kontrol beban listrik 1 *phasa* memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi energi di sektor residensial dan komersial kecil (Tanoto, 2023). Selain itu, kemampuan kontrol otomatis dapat membantu mengurangi beban puncak dan meratakan kurva permintaan energi, yang pada gilirannya dapat mengurangi tekanan pada infrastruktur jaringan listrik. Namun, implementasi sistem cerdas berbasis IoT untuk manajemen energi masih menghadapi beberapa tantangan (Suryawijaya, 2023).

Beberapa tantangan utama tersebut termasuk keterbatasan konektivitas di daerah terpencil dan perlunya standarisasi protokol komunikasi antar perangkat IoT (Kizonde et al., 2023; Tripathy & Anuradha, 2018). Platform IoT seperti Blynk menyediakan antarmuka yang memudahkan pengguna dalam memvisualisasikan dan menganalisis data penggunaan listrik. Melalui aplikasi *mobile* yang terhubung dengan sistem, pengguna dapat memantau

konsumsi listrik, mengatur batasan penggunaan, dan menerima notifikasi Ketika terjadi masalah dalam kelistrikan (Berlianti & Fibriyanti, 2020).

Studi juga menunjukkan bahwa kemudahan akses melalui aplikasi *mobile* sangat menentukan tingkat adopsi sistem IoT di kalangan pengguna rumah tangga (Kumar & Pandey, 2023). Adopsi teknologi ini di negara berkembang seperti Indonesia masih terbatas karena faktor biaya dan kurangnya kesadaran. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi praktis dalam menghadirkan solusi teknologis untuk manajemen energi listrik yang lebih cerdas, efisien, dan berkelanjutan (Aidhi et al., 2023). Selain itu, edukasi pengguna dan kebijakan insentif pemerintah dianggap sangat penting dalam mendorong penerapan sistem IoT untuk pengelolaan energi di negara berkembang (Yanti et al., 2023).

## 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan di atas, dibutuhkan sistem *monitoring* tegangan, arus, daya, dan frekuensi dengan kecepatan untuk pengiriman data yang tinggi dan dapat diakses dimanapun secara jarak jauh. Beberapa yang menjadi identifikasi masalah adalah sebagai berikut :

1. Terbatasnya adopsi teknologi IoT untuk manajemen energi di Indonesia akibat kendala kesadaran masyarakat.
2. Sistem pemantauan dan kontrol beban listrik tradisional seringkali tidak mampu memberikan informasi *real-time* dan kontrol yang presisi.
3. Kurangnya visibilitas langsung terhadap pemakaian listrik dalam sistem konvensional, yang menyulitkan pengguna untuk melakukan manajemen energi yang efektif.

### 1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah diuraikan di atas, ruang lingkup yang digunakan sebagai berikut :

1. Penelitian ini untuk merancang dan mengimplementasikan sistem yang dapat mengontrol penggunaan daya listrik secara *real-time* melalui Sensor PZEM-004T dan modul *relay* yang terintegrasi dengan ESP8266.
2. Penelitian ini akan berfokus pada analisis dan implementasi sistem cerdas pemantauan dan kontrol beban listrik satu *phasa* yang menggunakan Teknologi IoT.
3. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi listrik, meminimalkan pemborosan, serta meningkatkan kontrol terhadap penggunaan daya secara *real-time*.

### 1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

#### 1.4.1 Tujuan Penelitian

1. Mengembangkan sistem IoT untuk pemantauan dan kontrol beban listrik.
2. Menganalisis kinerja sensor dan akurasi pengukuran.
3. Mengevaluasi keefektifan sistem dalam pengelolaan beban listrik.

#### 1.4.2 Manfaat Penelitian

1. Peningkatan efisiensi energi listrik.
2. Meningkatkan literasi teknologi masyarakat umum dalam memahami dan menerapkan konsep Internet of Things (IoT) pada sistem pengelolaan energi listrik rumah tangga secara lebih efisien, terukur, dan mudah diakses.

3. Mendukung pengembangan sistem monitoring energi listrik berbasis IoT yang adaptif dan terjangkau, sebagai solusi nyata dalam efisiensi energi dan pengendalian beban listrik secara jarak jauh melalui perangkat digital seperti smartphone.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam laporan tugas akhir ini disusun secara sistematis agar memudahkan pembaca dalam memahami alur penelitian yang dilakukan. Secara garis besar, laporan ini terdiri atas tiga bagian utama, yaitu bagian awal, bagian isi, dan bagian akhir. Adapun sistematika penulisan laporan tugas akhir yang berjudul "Sistem Cerdas Pemantauan dan Kontrol Beban Listrik 1 Phasa Berbasis Teknologi IoT" adalah sebagai berikut :

### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi beberapa sub bab penting, yaitu Latar Belakang, Identifikasi Masalah, Ruang Lingkup Penelitian, Tujuan & Manfaat Penelitian, dan Sistematika Penulisan. Keseluruhan isi dalam bab ini disusun untuk memberikan gambaran secara menyeluruh mengenai konteks, arah, dan tujuan dari penelitian yang dilakukan. Dengan adanya bab ini, diharapkan pembaca dapat memahami dasar pemikiran dilakukannya penelitian serta manfaat yang ingin dicapai

### BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini memuat Tinjauan Pustaka dan Penelitian yang Relevan. Tinjauan Pustaka mencakup teori-teori yang menjadi dasar dalam pelaksanaan penelitian, sedangkan Penelitian yang Relevan memberikan referensi dari hasil-hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan topik yang dibahas. Bab ini berfungsi sebagai pondasi teoritis untuk mendukung analisis dan pengembangan sistem pemantauan dan kontrol beban listrik pada instalasi rumah satu *phasa*.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan tentang Diagram Penelitian, Studi Literatur, Waktu & Tempat Penelitian, Parameter Penelitian, Model yang Digunakan, Rancangan Penelitian, Teknik atau Metode Pengujian & Pengambilan Data, Analisis Data, Kerangka Pemikiran dan Jadwal Penelitian.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menyajikan hasil dari implementasi sistem cerdas pemantauan dan kontrol beban listrik 1 *phasa* berbasis IoT. Disertakan pula hasil pengujian parameter seperti tegangan, arus, daya, energi, dan faktor daya, serta kinerja sistem kontrol melalui aplikasi IoT. Hasil tersebut kemudian dianalisis untuk mengevaluasi apakah sistem telah berjalan sesuai dengan tujuan dan harapan. Pembahasan dilakukan untuk menginterpretasi data dan mengaitkannya dengan teori yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

### **BAB V SIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan dari keseluruhan penelitian yang telah dilakukan, berdasarkan hasil pengujian dan analisis pada bab sebelumnya. Selain itu, disampaikan pula saran-saran yang dapat menjadi acuan untuk pengembangan sistem lebih lanjut agar lebih optimal dan aplikatif.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

##### **2.1.1 Listrik Satu *Phasa***

Sistem kelistrikan satu *phasa* adalah sistem distribusi daya listrik yang dimana hanya menggunakan satu siklus tegangan sinusoidal dengan satu kawat *phasa*, serta satu kawat netral, dan memiliki karakteristik tegangan yang bolak-balik (AC) dimana dengan standar tegangan 220 V dan frekuensi sekitar 50 (Aidhi et al., 2023).

Listrik satu *phasa* merupakan sistem listrik yang mentransmisikan daya menggunakan satu gelombang sinusoidal, dimana pada umumnya diaplikasikan pada instalasi rumah tangga serta peralatan elektronik dengan kapasitas golongan daya rendah hingga menengah (Jeckson et al., 2021). Sistem listrik pada satu *phasa* dapat didefinisikan sebagai sistem yang mendistribusi daya listrik menggunakan satu kawat *phasa* aktif, sehingga menghasilkan satu gelombang tegangan sinusoidal dengan karakteristik aliran berdaya tunggal, berbeda terbalik dengan sistem tiga *phasa* yang memiliki *multiple phasa* (Kurniawan et al., 2022).

Sistem satu *phasa* memiliki keuntungan dalam hal kesederhanaan instalasi dan biaya pemasangan yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem tiga *phasa*, sehingga sangat cocok digunakan pada lingkungan dengan kebutuhan daya terbatas seperti rumah tinggal dan usaha kecil (Paryoko & Zakariya, 2024). Selain itu, pengoperasiannya yang lebih mudah menjadikan sistem ini banyak digunakan di sektor residensial.

Walaupun sistem satu *phasa* lebih sederhana, sistem ini memiliki keterbatasan dalam hal kapasitas daya dan efisiensi transmisi, terutama ketika digunakan untuk beban dengan daya besar. Oleh karena itu, untuk kebutuhan industri dan komersial yang memerlukan daya

besar, sistem tiga *phasa* lebih dianjurkan (Prasetyo et al., 2025). Dalam sistem satu *phasa*, kestabilan tegangan sangat penting untuk menjaga performa peralatan elektronik agar berfungsi optimal dan tahan lama. Fluktuasi tegangan yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan pada perangkat, sehingga pemantauan dan pengendalian tegangan menjadi aspek krusial dalam sistem distribusi listrik satu *phasa* (Kiswantono & Fajri, 2024).

Selain itu, sistem kelistrikan satu *phasa* umumnya menggunakan konfigurasi instalasi listrik yang sederhana, termasuk penggunaan kabel netral sebagai jalur kembali arus. Namun, perlu diperhatikan bahwa ketidakseimbangan beban pada jaringan listrik dapat menyebabkan masalah seperti penurunan efisiensi dan gangguan pada sistem kelistrikan (Ginting et al., 2023). Dengan perkembangan teknologi, integrasi sistem kelistrikan satu *phasa* dengan teknologi pemantauan dan kontrol berbasis IoT menjadi tren yang menjanjikan. Hal ini memungkinkan pemantauan penggunaan energi secara *real-time* dan pengendalian beban listrik secara lebih efisien untuk mengurangi pemborosan energi dan biaya operasional (Limbong et al., 2024).

Maka penjelasan secara sederhana dari listrik satu *phasa* adalah sistem distribusi listrik yang menggunakan satu kawat *phasa* aktif dan satu kawat netral, dimana menghasilkan satu gelombang tegangan sinusoidal dengan standar tegangan 220 V dan frekuensi 50 Hz, umumnya digunakan untuk kebutuhan rumah tangga dan peralatan elektronik dengan kapasitas daya rendah hingga menengah (kurang dari 4400 watt).

### 2.1.2 Teknologi IoT

*Internet of Things* (IoT) adalah paradigma teknologi komunikasi dimana menghubungkan perangkat cerdas dengan jaringan internet, serta memungkinkan pertukaran data dan interaksi antar objek secara *real-time* tanpa campur tangan manusia langsung (Susanto et al., 2022). IoT adalah infrastruktur jaringan global dimana memungkinkan

konektivitas antara objek fisik dengan sistem digital, serta kemampuan untuk mengumpulkan, berbagi, dan memproses data melalui protokol komunikasi dan sensor yang cerdas (Anggoro, 2021). Teknologi IoT didefinisikan ekosistem komputasi yang terdistribusi dengan mengintegrasikan teknologi sensor, jaringan komunikasi, dan analitika data untuk menciptakan layanan yang cerdas serta responsif di dalam domain aplikasi (Prawiyogi & Anwar, 2023).

Pengembangan teknologi IoT telah membawa revolusi dalam berbagai sektor seperti industri, pertanian, kesehatan, dan rumah pintar, dengan memberikan kemampuan *monitoring* dan kontrol yang *real-time* dan presisi yang tinggi (Hatmoko et al., 2021). Hal ini memungkinkan peningkatan efisiensi operasional dan pengambilan keputusan yang lebih cepat berdasarkan data aktual. Selain itu, IoT juga menghadirkan tantangan dalam hal keamanan dan privasi data karena banyaknya perangkat yang terhubung dan besarnya volume data yang dikumpulkan. Oleh karena itu, mekanisme keamanan seperti enkripsi dan autentikasi menjadi sangat penting dalam menjaga integritas dan kerahasiaan data (Manuhutu et al., 2025).

Konsep arsitektur IoT terdiri dari beberapa lapisan utama yaitu lapisan persepsi (perangkat sensor), lapisan jaringan (komunikasi data), lapisan *middleware* (pemrosesan data), dan lapisan aplikasi yang berinteraksi langsung dengan pengguna akhir (Dewi, 2024). Struktur ini memastikan interoperabilitas dan skalabilitas sistem IoT secara menyeluruh.

Dalam implementasinya, protokol komunikasi IoT seperti MQTT, CoAP, dan HTTP digunakan secara luas untuk menghubungkan perangkat dengan *server cloud* atau *edge computing*, yang memungkinkan pemrosesan data secara cepat dan responsif (Safitri & Priambodo, 2023). Pilihan protokol ini disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi dan karakteristik jaringan. Pemanfaatan AI dan *machine learning* pada data IoT semakin memperkuat kemampuan sistem untuk melakukan prediksi, deteksi anomali, dan otomatisasi

proses bisnis, sehingga IoT tidak hanya berfungsi sebagai pengumpulan data tetapi juga sebagai sistem yang mampu mengambil keputusan secara cerdas (Pratama et al., 2023).

Maka teknologi IoT dapat disederhanakan menjadi teknologi yang komunikasi serta menghubungkan perangkat-perangkat cerdas melalui jaringan internet, dimana memungkinkan pertukaran dan pemrosesan data secara otomatis dan tidak diintervensi oleh manusia secara langsung dengan menggunakan sensor protokol komunikasi dan sistem komputasi yang terdistribusi.

### 2.1.3 Pemantauan dan Kontrol

Pemantauan dan kontrol adalah sistem teknologi yang memungkinkan pengawasan secara *real-time* jaringan listrik, dengan kemampuan mengumpulkan, menganalisis, dan merespons data secara otomatis untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan distribusi energi (Firmansyah et al., 2024). Pemantauan dan kontrol merupakan proses pengawasan dan pengendalian infrastruktur kelistrikan menggunakan teknologi informasi dan komunikasi untuk mengoptimalkan penggunaan energi, mengurangi kehilangan daya, dan meningkatkan responsivitas sistem kelistrikan (Putra et al., 2024).

Pemantauan dan kontrol adalah sistem manajemen energi yang mengintegrasikan teknologi digital dan jaringan komunikasi untuk memantau aliran listrik, mengidentifikasi gangguan, serta mengendalikan distribusi dan konsumsi energi secara efisien dan berkelanjutan (Uddin et al., 2023). Teknologi pemantauan dan kontrol kini memanfaatkan sistem IoT yang memungkinkan integrasi sensor dan perangkat pengendali dalam satu jaringan yang dapat diakses secara *real-time*, sehingga operator dapat melakukan pengambilan keputusan secara cepat dan tepat berdasarkan data aktual (Islam & Tilak, 2025). Selain itu, penerapan AI dalam sistem pemantauan dan kontrol membantu dalam prediksi kondisi sistem, deteksi dini gangguan, serta pengoptimalan penggunaan energi

secara otomatis, yang secara signifikan meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem kelistrikan (Rana, 2025).

Dalam skala yang lebih besar, teknologi pemantauan dan kontrol juga mendukung konsep *smart grid*, dimana jaringan listrik yang cerdas mampu beradaptasi dengan perubahan permintaan dan pasokan energi secara dinamis, sehingga mendukung keberlanjutan dan efisiensi energi nasional (Zang et al., 2024). Implementasi sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi energi, tetapi juga menurunkan biaya operasional dan perawatan, karena gangguan dapat diidentifikasi dan ditangani secara proaktif sebelum menimbulkan kerusakan yang lebih parah (Kang et al., 2024). Perkembangan teknologi komunikasi nirkabel dan protokol data yang handal juga menjadi kunci dalam pengembangan sistem pemantauan dan kontrol modern, memungkinkan transmisi data yang cepat dan aman bahkan di area yang sulit dijangkau (Prasetyo et al., 2025)

Pemantauan dan kontrol dapat disimpulkan sebagai sistem teknologi canggih yang memungkinkan pengawasan, analisis, dan pengendalian jaringan listrik secara *real-time* menggunakan teknologi digital dengan tujuan meningkatkan efisiensi, keandalan, dan responsivitas distribusi energi.

#### 2.1.4 PZEM 004T



Gambar 2.1 PZEM-004T

Modul PZEM-004T adalah perangkat pengukur energi listrik yang banyak diaplikasikan dalam pemantauan beban listrik, terutama pada sistem yang berbasis IoT untuk rumah dan bangunan komersial dengan skala kecil hingga menengah. Modul ini mampu mengukur berbagai parameter listrik penting seperti tegangan, arus, daya aktif, energi, dan faktor daya dengan tingkat ketelitian yang sesuai untuk kebutuhan pemantauan konsumsi listrik harian (Poyyamozhi et al., 2024). Keunggulan utama dari modul ini terletak pada penggunaan sensor arus tipe *Current Transformer* (CT), yang memungkinkan pengukuran dilakukan tanpa harus memutus aliran listrik utama, sehingga proses instalasi menjadi lebih aman dan tidak mengganggu jaringan kelistrikan yang ada.

Teknologi yang diaplikasikan dalam modul ini melibatkan mikrokontroler internal yang terintegrasi dengan sensor tegangan dan arus, serta menggunakan protokol komunikasi serial UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) untuk pengiriman data. Protokol ini kompatibel dengan berbagai mikrokontroler populer seperti Arduino, ESP8266, dan Raspberry Pi, sehingga modul PZEM-004T mudah untuk diintegrasikan dalam sistem IoT guna memonitor energi secara langsung (Robbani et al., 2024). Data yang diperoleh dari modul dapat diteruskan ke *server cloud* atau aplikasi *mobile* untuk dianalisis, sehingga memberikan informasi yang rinci mengenai pola penggunaan energi dan mendukung pengambilan keputusan dalam penghematan energi.

Penggunaan PZEM-004T dalam sistem *monitoring* beban listrik rumah tangga yang terhubung dengan IoT memungkinkan pengguna untuk melakukan pengawasan konsumsi listrik secara berkelanjutan dan interaktif. Modul ini membantu dalam mengenali pola penggunaan energi listrik, mengidentifikasi penggunaan daya yang tidak wajar, dan memfasilitasi pengendalian beban secara jarak jauh melalui aplikasi berbasis *smartphone*. Dengan fitur-fitur tersebut, pemilik rumah dapat mengoptimalkan penggunaan listrik

sekaligus menekan pemborosan energi, yang berdampak positif pada pengurangan biaya listrik serta dampak lingkungan (Sianturi, 2024).

Meski demikian, modul PZEM-004T memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam penggunaannya. Salah satu keterbatasan utama adalah kapasitas pengukuran arus maksimum yang biasanya terbatas hingga 100 A, sehingga modul ini kurang ideal untuk digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan daya sangat besar atau pada sistem distribusi listrik skala industri (Panulisan et al., 2023). Selain itu, protokol UART yang dipakai merupakan komunikasi serial *point-to-point* yang dapat membatasi kemampuan skalabilitas dalam jaringan IoT yang kompleks dan membutuhkan banyak *node*. Oleh karena itu, untuk sistem dengan skala besar atau *smart grid*, dibutuhkan sensor dan protokol komunikasi yang lebih canggih dan fleksibel.

Secara keseluruhan, PZEM-004T merupakan pilihan yang ekonomis dan efektif untuk pemantauan energi berbasis IoT di lingkungan rumah tangga maupun usaha kecil. Modul ini mendukung pengelolaan energi yang pintar dan berkelanjutan dengan menyediakan data *real-time* yang akurat dan memungkinkan pengendalian beban secara otomatis. Dengan perkembangan teknologi IoT yang semakin pesat dan penerapan AI, penggunaan modul ini diharapkan semakin optimal dalam mendukung konsep *smart home* serta sistem manajemen energi pintar di masa depan.

PZEM memiliki beberapa fitur untuk mendapatkan hasil dari sensor listrik, sebagai berikut :

#### 1. Metode Pengukuran

PZEM-004T memakai metode pengukuran yang non-intrusif, dimana artinya tidak perlu memotong atau membuka sirkuit listrik untuk mengukur arus listrik dan mengukur tegangan listrik. Pada metode ini menggunakan perangkat *magnetic* sebagai pengukur arus dan *divider* tegangan sehingga aman dan mudah digunakan.

## 2. Range Pengukuran

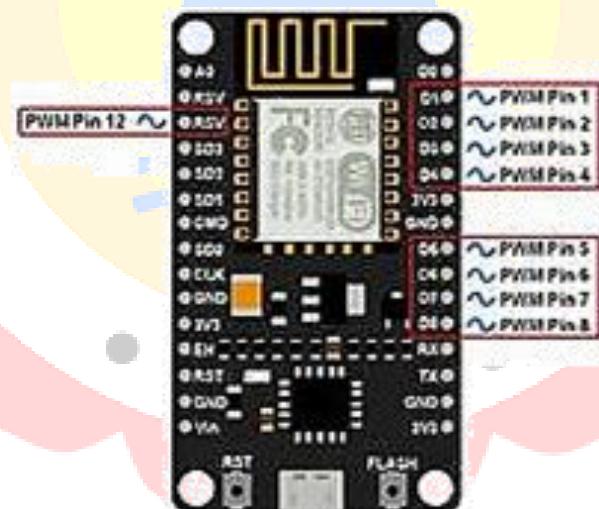
PZEM-004T memiliki kemampuan mengukur arus AC hingga 100 A dan tegangan AC hingga 220 V. Rentang ini memungkinkan pengukuran daya listrik.

## 3. Output Data

PZEM-004T mempunyai *output* data yang bisa diakses dengan cara komunikasi serial TTL. Data yang dikirim berupa nilai arus, tegangan, daya aktif, daya reaktif serta faktor daya.

PZEM-004T adalah sensor listrik yang dapat membantu peneliti dalam mengembangkan proyek *monitoring* daya listrik secara efisien dan efektif. Sebagai sensor PZEM-004T memungkinkan pengukuran daya listrik menggunakan metode non-intrusif, serta mampu melakukan pengukuran yang cukup luas.

### 2.1.5 ESP8266



Gambar 2.2 ESP8266

ESP8266 adalah sebuah modul Wi-Fi yang menggabungkan mikrokontroler dengan kemampuan komunikasi nirkabel, yang telah menjadi sangat populer dalam pengembangan aplikasi IoT. Modul ini menyediakan solusi yang ekonomis dan efisien untuk menghubungkan perangkat elektronik ke jaringan Wi-Fi, sehingga memungkinkan

pemantauan dan kontrol perangkat secara jarak jauh secara *real-time* (Mutiarani & Ritonga, 2025). Struktur internal ESP8266 terdiri dari *processor* Tensilica L106 32-bit, memori *flash* terintegrasi, serta dukungan standar Wi-Fi 802.11 b/g/n, yang memungkinkan transmisi data dengan kecepatan tinggi dan koneksi yang stabil.

Secara teknis, ESP8266 mendukung berbagai protokol komunikasi seperti TCP/IP, UDP, HTTP, dan MQTT, yang sangat penting dalam ekosistem IoT. Fleksibilitas pemrograman tersedia melalui bahasa C/C++ di *platform* Arduino IDE serta SDK resmi dari Espressif, yang memungkinkan pengembangan aplikasi yang kompleks dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik pengguna (Wijaya et al., 2025). Modul ini juga dilengkapi dengan sejumlah pin GPIO, ADC, dan antarmuka komunikasi seperti SPI dan I2C, sehingga sangat serbaguna untuk integrasi dengan sensor dan aktuator.

ESP8266 memiliki beragam aplikasi dalam sistem IoT, mulai dari otomasi rumah pintar, pemantauan energi, sistem keamanan, hingga pengelolaan lingkungan. Dalam konteks manajemen energi, modul ini sering digunakan untuk mengirimkan data konsumsi listrik secara *real-time* ke *server cloud* atau aplikasi *mobile*, sehingga memungkinkan pengguna untuk memonitor dan mengontrol penggunaan listrik dengan lebih efisien (Piu et al., 2025). Modul ini juga mendukung penerapan sistem cerdas yang dapat memberikan notifikasi dan melakukan otomatisasi berdasarkan kondisi yang terdeteksi.

Meski memiliki berbagai kelebihan, ESP8266 juga memiliki beberapa keterbatasan. Konsumsi daya modul ini relatif lebih tinggi dibandingkan dengan modul IoT terbaru seperti ESP32, serta jumlah pin GPIO yang terbatas dapat menjadi hambatan dalam beberapa aplikasi tertentu (Manurung et al., 2022). Selain itu, manajemen memori yang tepat diperlukan agar aplikasi yang berjalan di modul ini tetap stabil dan bebas dari gangguan seperti *crash* atau *hang*.

Secara umum, ESP8266 tetap menjadi pilihan populer dalam pengembangan solusi IoT dengan biaya rendah, performa handal, dan ekosistem pengembangan yang luas. Dengan perkembangan teknologi IoT yang terus maju serta dukungan komunitas yang aktif, penggunaan ESP8266 diperkirakan akan terus meningkat dan menjadi komponen penting dalam implementasi sistem pintar di masa depan.

#### 2.1.6 BLYNK



Gambar 2.3 Aplikasi Blynk

Blynk adalah sebuah *platform* IoT berbasis *cloud* yang dirancang untuk mempermudah proses pengembangan aplikasi *mobile* yang dapat terhubung dan berkomunikasi dengan berbagai perangkat keras seperti Arduino, ESP8266, Raspberry Pi, dan mikrokontroler lainnya melalui jaringan internet. Dengan memanfaatkan infrastruktur *cloud* yang dimilikinya, Blynk memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengendalikan perangkat secara *real-time*, tanpa harus membuat sistem komunikasi dari awal. Keunggulan ini menjadikan Blynk sebagai salah satu solusi praktis dan efisien dalam membangun proyek berbasis IoT.

Salah satu kelebihan utama dari *platform* ini adalah kemampuannya dalam menyederhanakan proses pembuatan antarmuka pengguna (*Graphical User Interface* atau *GUI*). Melalui metode *drag-and-drop* yang intuitif, Blynk menyediakan berbagai elemen visual seperti tombol, grafik, *slider*, hingga indikator digital, yang dapat dengan mudah ditempatkan dan dikustomisasi oleh pengguna. Hal ini memungkinkan siapa saja, bahkan yang memiliki keterbatasan dalam kemampuan pemrograman, untuk merancang antarmuka aplikasi *mobile* sesuai kebutuhan perangkat keras yang digunakan. Oleh karena itu, Blynk sangat cocok digunakan baik oleh pemula maupun profesional dalam pengembangan sistem IoT.

Dalam praktiknya, Blynk telah banyak digunakan dalam berbagai proyek IoT karena sifatnya yang fleksibel dan kompatibel dengan berbagai jenis perangkat. Selain itu, Blynk juga mendukung pengelolaan beberapa proyek dan perangkat secara bersamaan dalam satu aplikasi, yang tentu sangat membantu dalam skenario yang melibatkan banyak *node* atau sensor. *Platform* ini menyediakan dokumentasi yang cukup lengkap, komunitas pengguna yang aktif, serta berbagai contoh proyek yang bisa dijadikan referensi bagi pengguna baru. Berkat kemudahan dan fitur-fitur unggulan yang ditawarkan, Blynk terus menjadi salah satu *platform* IoT paling populer di kalangan pengembang perangkat pintar.

Beberapa fitur utama yang ditawarkan oleh *platform* Blynk mencakup berbagai kemampuan inti yang sangat berguna dalam pengembangan dan pengelolaan proyek berbasis IoT, antara lain :

### 1. *Widget Library*

Blynk menyediakan berbagai *widget* siap pakai yang dapat digunakan untuk membangun antarmuka aplikasi *mobile*, seperti tombol (*button*), *slider*, *switch*, grafik (*graph*), tampilan teks (*label*), serta sensor virtual. *Widget* ini memungkinkan pengguna untuk mengontrol dan memonitor perangkat keras secara interaktif dan responsif.

## 2. Server Cloud dan Private Server

Blynk menggunakan arsitektur *client-server* dimana data perangkat dan aplikasi *mobile* disinkronkan melalui *server cloud* yang handal. Selain itu, Blynk juga menyediakan opsi *private server* yang memungkinkan pengelolaan data dan keamanan secara mandiri untuk aplikasi dengan kebutuhan khusus.

## 3. Blynk Library dan SDK

Untuk integrasi perangkat keras, Blynk menyediakan *library* dan *Software Development Kit* (SDK) yang kompatibel dengan berbagai *platform* mikrokontroler dan bahasa pemrograman. *Library* ini memudahkan perangkat untuk berkomunikasi dengan *server* Blynk melalui protokol MQTT atau HTTP secara efisien.

## 4. Real-time Data Monitoring

Blynk mendukung pengiriman data secara *real-time* dari perangkat IoT ke aplikasi *mobile*, memungkinkan pemantauan kondisi perangkat, pengukuran sensor, dan status sistem dengan latensi yang rendah.

## 5. Multiple Project dan Device Management

*Platform* ini memungkinkan pengelolaan berbagai proyek dan perangkat dalam satu akun pengguna, memudahkan pengaturan serta kontrol sistem IoT yang kompleks atau tersebar di berbagai lokasi.

## 6. Notification dan Alerts

Blynk dapat mengirimkan notifikasi *push* kepada pengguna apabila terjadi kondisi tertentu seperti kesalahan sistem, ambang batas sensor terlampaui, atau peristiwa penting lainnya, sehingga mendukung sistem pengawasan dan pemeliharaan yang proaktif.

Secara umum, penggunaan Blynk sebagai *platform* untuk pengembangan proyek IoT mencakup beberapa langkah utama yang harus dilakukan oleh pengguna untuk dapat

menghubungkan dan mengendalikan perangkat secara *real-time*. Tahapan penggunaan Blynk secara umum adalah sebagai berikut :

#### 1. Pembuatan Proyek

Pengguna memulai dengan membuat proyek baru di aplikasi Blynk yang tersedia untuk *platform* iOS maupun Android. Dalam proyek ini, pengguna menentukan jenis perangkat keras yang digunakan dan memilih *widget* yang sesuai untuk membangun antarmuka pengguna.

#### 2. Konfigurasi Widget

Setiap *widget* dikonfigurasi dengan pin fisik atau virtual dari perangkat keras yang terhubung. Misalnya, tombol dapat dikaitkan dengan pin *output* pada mikrokontroler untuk mengendalikan *relay* atau motor.

#### 3. Integrasi Perangkat

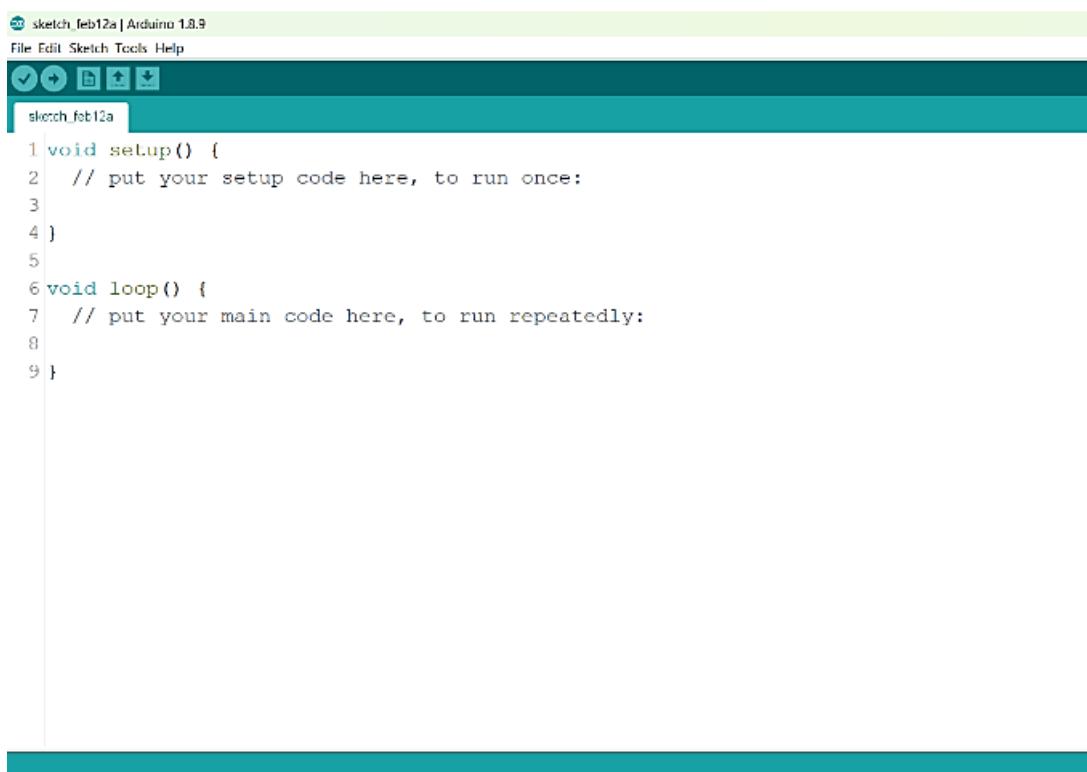
Pada sisi perangkat keras, pengguna mengimplementasikan kode program menggunakan *library* Blynk yang telah disediakan, yang berfungsi untuk menghubungkan perangkat dengan *server* Blynk dan mengelola komunikasi data.

#### 4. Pengujian dan Pemantauan

Setelah konfigurasi selesai, pengguna dapat langsung menjalankan aplikasi *mobile* untuk memantau data sensor dan mengendalikan perangkat secara *real-time* dari jarak jauh melalui jaringan internet.

Dengan kemudahan dalam desain antarmuka, dukungan protokol komunikasi yang fleksibel, serta kemampuan untuk memantau dan mengontrol perangkat IoT secara *real-time*, Blynk menjadi salah satu solusi populer dalam pengembangan aplikasi IoT yang menuntut implementasi cepat dan skalabilitas yang baik. *Platform* ini sangat cocok digunakan dalam berbagai bidang, termasuk otomasi rumah, sistem pemantauan energi, dan pengendalian perangkat industri kecil hingga menengah.

### 2.1.7 Arduino IDE



```

sketch_feb12a | Arduino 1.8.9
File Edit Sketch Tools Help
sketch_feb12a
1 void setup() {
2 // put your setup code here, to run once:
3
4 }
5
6 void loop() {
7 // put your main code here, to run repeatedly:
8
9 }

```

**Gambar 2.4 Tampilan Arduino**

Arduino *Integrated Development Environment* (IDE) adalah sebuah *platform* elektronik *open-source* yang mengintegrasikan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) dengan tujuan memudahkan pengembangan berbagai proyek elektronika dan komputasi fisik. *Platform* ini dirancang agar dapat diakses oleh pengguna dari berbagai latar belakang dan tingkat keahlian, mulai dari pemula yang baru mengenal dunia elektronika hingga para profesional yang membutuhkan fleksibilitas dan kemampuan lebih dalam pembuatan sistem kendali dan otomasi. Karena kemudahan penggunaan serta fleksibilitasnya, Arduino telah menjadi pondasi utama dan sangat populer dalam berbagai bidang pengembangan teknologi, termasuk robotika, otomasi rumah, kendali sistem industri, hingga pengembangan aplikasi IoT.

Arduino memungkinkan para pengembang untuk menciptakan perangkat interaktif yang dapat merespon berbagai jenis *input* yang diperoleh dari lingkungan sekitar

menggunakan sensor, seperti sensor suhu, cahaya, gerak, dan tekanan. Setelah menerima *input* tersebut, perangkat Arduino dapat mengolah data dan menghasilkan *output* yang sesuai melalui berbagai aktuator seperti motor, LED, *buzzer*, atau layar *display*. Kemampuan ini menjadikan Arduino sangat ideal untuk membangun *prototype* cepat maupun produk akhir yang membutuhkan interaksi antara dunia fisik dengan sistem komputasi.

Selain itu, Arduino IDE menyediakan lingkungan pemrograman yang sederhana dan intuitif yang memudahkan proses penulisan, pengujian, dan pengunggahan kode ke papan mikrokontroler Arduino. Lingkungan pengembangan ini juga didukung oleh komunitas global yang sangat besar, yang secara aktif berbagi berbagai pustaka (*library*), contoh program, serta dokumentasi yang mempermudah pengembangan dan penerapan solusi teknis dalam berbagai proyek. Dengan demikian, Arduino tidak hanya berperan sebagai alat pembelajaran, tetapi juga sebagai *platform* inovasi yang mendorong perkembangan teknologi modern dalam berbagai aspek kehidupan sehari-hari.

Adapun beberapa fitur utama yang menjadi keunggulan dan komponen penting dalam Arduino IDE adalah sebagai berikut :

### 1. Editor Kode yang *User-Friendly*

Arduino IDE menyediakan editor kode yang sederhana namun *powerful*, lengkap dengan fitur penyorotan sintaks, auto-indentasi, dan pesan kesalahan yang mudah dipahami. Ini membantu pengguna menulis, mengedit, dan mengelola kode program dengan efisien.

### 2. Pemrograman Berbasis Bahasa C/C++

Arduino IDE menggunakan bahasa pemrograman C dan C++ dengan pustaka khusus yang disederhanakan, sehingga memudahkan proses pengembangan program untuk mengendalikan perangkat keras.

### 3. Kompiler dan Pengunggah (*Uploader*)

IDE ini dilengkapi dengan kompiler yang menerjemahkan kode sumber menjadi bahasa mesin yang dapat dipahami oleh mikrokontroler Arduino, serta fitur untuk mengunggah program langsung ke *board* Arduino melalui kabel USB.

### 4. Dukungan Berbagai *Board* Arduino

Arduino IDE mendukung berbagai jenis *board* Arduino, mulai dari seri Uno, Mega, Nano, hingga *board* berbasis mikrokontroler lain yang kompatibel. Pengguna dapat memilih jenis *board* yang sesuai dengan proyek yang sedang dikembangkan.

### 5. Library dan Contoh Program

*Platform* ini menyediakan banyak pustaka (*library*) yang siap digunakan untuk mengendalikan sensor, motor, *display*, komunikasi serial, dan berbagai modul lainnya. Contoh program juga disediakan sebagai referensi belajar dan pengembangan.

### 6. Komunitas *Open-Source* yang Besar

Sebagai *platform open-source*, Arduino IDE didukung oleh komunitas global yang aktif, yang secara rutin mengembangkan pustaka baru, memberikan dukungan teknis, serta berbagi proyek dan tutorial.

Secara umum, cara penggunaan Arduino IDE dapat dijelaskan melalui beberapa tahapan penting sebagai berikut :

#### 1. Pemilihan *Board* dan *Port*

Pengguna pertama-tama memilih jenis *board* Arduino yang digunakan dan *port* komunikasi (biasanya USB) yang terhubung ke komputer.

#### 2. Penulisan Program

Kode program ditulis di editor Arduino IDE menggunakan bahasa C/C++ yang telah disesuaikan dengan fungsi-fungsi Arduino.

### 3. Kompilasi dan *Upload*

Setelah selesai menulis kode, program dikompilasi dan di *upload* ke *board* Arduino melalui koneksi USB.

### 4. *Monitoring* dan *Debugging*

Arduino IDE menyediakan serial monitor untuk memantau *output* data dari *board* secara *real-time*, membantu proses *debugging* dan pengujian perangkat.

Dengan kemudahan penggunaan, dukungan *hardware* yang luas, dan komunitas yang aktif, Arduino IDE menjadi salah satu *platform* utama dalam pengembangan *prototype* sistem elektronik dan aplikasi IoT, memfasilitasi inovasi dan pembelajaran dalam bidang teknologi *embedded* dan sistem kontrol.

## 2.2 Penelitian yang Relevan

*Prototype smart energy meter* dan sistem kontrol perangkat listrik berbasis IoT untuk rumah pintar dikembangkan menggunakan NodeMCU ESP8266 dan sensor PZEM-004Tv30. Sistem mampu memantau parameter kelistrikan secara *real-time*, menampilkan data di layar LCD, serta mengirim data ke *server cloud* untuk visualisasi melalui *web*. Pengujian menunjukkan akurasi pengukuran tegangan dengan tingkat kesalahan 0.73% dan kemampuan mengontrol perangkat listrik melalui *relay* yang dioperasikan lewat antarmuka *web*. Sistem ini berhasil meningkatkan efisiensi energi dan memudahkan pengelolaan konsumsi listrik secara *real-time* di lingkungan rumah pintar (Rahman et al., 2024).

Sistem *monitoring* dan kontrol daya listrik berbasis IoT untuk kincir air tambak udang di PT Growell Indonesia, Lampung dirancang untuk meningkatkan efisiensi energi dan produksi oksigen dalam tambak udang yang memerlukan pengelolaan daya listrik yang optimal. Sistem ini memonitor dan mengontrol penggunaan daya listrik secara *real-time* melalui sensor PZEM-004T dan modul *relay* yang terintegrasi dengan ESP8266. Data yang

dikumpulkan dikirim ke *server* dan ditampilkan pada *dashboard website*. Metode yang digunakan mencakup pengukuran daya listrik menggunakan sensor, pengiriman data melalui ESP8266, serta pengembangan *dashboard monitoring* berbasis *web*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi dan mengoptimalkan produksi oksigen di tambak udang, serta memberikan kontrol yang lebih baik terhadap penggunaan daya listrik (Setiawan et al., 2024).

Sistem *monitoring* lahan parkir di area *basement* Hotel Aston Inn Mataram menggunakan teknologi IoT. Sistem ini memanfaatkan sensor ultrasonik untuk mendeteksi ketersediaan slot parkir secara *real-time*. Data yang diperoleh dari sensor dikirim melalui mikrokontroler ESP32 ke *server* untuk dianalisis dan ditampilkan pada antarmuka *web*. Dengan demikian, pengunjung hotel dapat mengetahui ketersediaan parkir secara langsung melalui aplikasi berbasis *web*, yang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan lahan parkir dan kenyamanan pengunjung (Mulyadi et al., 2024).

Rancang bangun alat *monitoring output* panel surya menggunakan teknologi IoT dilakukan dengan memanfaatkan sensor ZMPT11, SCT013, DHT11, dan NodeMCU ESP8266. Alat ini mampu memantau tegangan, arus, suhu, dan kelembaban secara *real-time* melalui aplikasi Blynk yang terhubung ke *smartphone*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Selisih rata-rata antara alat yang dibuat dengan alat ukur standar berada di bawah toleransi 5%, menandakan tingkat akurasi yang baik. Pemantauan *output* panel surya dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien tanpa perlu hadir langsung di lokasi pemasangan alat (Dinata et al., 2024).

Sistem *monitoring* arus listrik berbasis *Internet of Things* (IoT) ini dirancang menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 yang terintegrasi dengan sensor PZEM-004T dan modul LCD I2C untuk memantau konsumsi daya listrik rumah tangga secara *real-time*. Sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur parameter listrik seperti Tegangan,

Arus, Daya, dan Energi, yang kemudian diproses oleh NodeMCU dan ditampilkan secara lokal melalui layar LCD, serta dikirimkan ke aplikasi Blynk pada *smartphone* untuk pemantauan jarak jauh. Pengujian dilakukan menggunakan berbagai jenis beban listrik, antara lain Setrika, Kipas Angin, Dispenser, dan *Rice Cooker*, guna memastikan keandalan pengukuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi, yaitu sekitar 96–98% jika dibandingkan dengan alat ukur standar. Kemampuan pemantauan secara *real-time* ini memudahkan pengguna untuk mengetahui besaran konsumsi listrik setiap saat, sehingga mereka dapat mengidentifikasi penggunaan daya yang berlebihan, mengambil langkah-langkah penghematan energi, dan mengoptimalkan biaya listrik. Dengan desain yang sederhana namun efektif, sistem ini dapat diterapkan tidak hanya pada rumah tangga, tetapi juga pada usaha kecil atau fasilitas lain yang membutuhkan kontrol penggunaan energi listrik secara efisien (Akhiruddin & Anugerah, 2023).

Sistem yang dikembangkan merupakan *Automatic Transfer Switch* (ATS) berbasis NodeMCU ESP8266 yang dilengkapi sensor PZEM-004T untuk memantau parameter listrik seperti Tegangan, Arus, Daya, dan Energi. ATS ini dirancang untuk secara otomatis memindahkan sumber daya listrik dari PLN ke sumber cadangan (misalnya genset atau inverter) ketika terjadi pemadaman, dan kembali ke PLN saat pasokan utama normal kembali. NodeMCU berfungsi mengirimkan data pemantauan secara *real-time* ke *platform Internet of Things* (IoT), sehingga pengguna dapat memantau kondisi listrik dari jarak jauh melalui aplikasi atau *browser*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan perpindahan sumber daya secara cepat dan akurat, sementara pembacaan parameter listrik oleh sensor PZEM-004T memiliki tingkat akurasi yang baik. Dengan kombinasi fitur otomatisasi dan pemantauan jarak jauh ini, sistem dinilai efektif, efisien, serta sangat membantu dalam menjaga kontinuitas pasokan listrik pada beban penting (Adiwiranto et al., 2022).

Sistem berbasis IoT memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengontrol perangkat listrik secara *real-time* melalui aplikasi Android. Sistem ini menggunakan mikrokontroler yang terhubung dengan modul *relay* dan sensor untuk mendeteksi tegangan, arus, serta daya listrik. Pengguna dapat mengaktifkan atau menonaktifkan perangkat elektronik baik melalui saklar fisik maupun melalui aplikasi. Hasil pengujian menunjukkan sistem dapat berfungsi dengan baik dalam melakukan pemantauan dan pengendalian daya listrik. Namun, disarankan adanya perbaikan dalam pembacaan arus untuk meningkatkan akurasi perhitungan daya. Sistem ini memberikan solusi efisien dalam pengelolaan konsumsi energi di rumah atau bangunan lainnya (Pratika et al., 2021).

Sistem *monitoring* daya listrik berbasis IoT pada Laboratorium Instalasi Listrik Institut Teknologi Nasional Yogyakarta (ITNY). Sistem ini menggunakan sensor PZEM-004T dan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 untuk mengukur parameter listrik seperti tegangan, arus, dan daya secara *real-time*. Data hasil pengukuran dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi ke aplikasi Blynk agar dapat dipantau secara jarak jauh melalui perangkat seluler. Hasilnya, sistem mampu memberikan informasi yang akurat dan *real-time* mengenai konsumsi daya listrik, sehingga mendukung efisiensi penggunaan energi dan deteksi dini terhadap potensi gangguan listrik di laboratorium (Widyastuti et al., 2020).

Sistem *monitoring* dan kontrol energi listrik tiga *phasa* menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor PZEM-004T mampu mengukur tegangan, arus, daya, faktor daya, dan frekuensi secara *real-time*. Data yang diperoleh dikirimkan melalui protokol MQTT ke *platform* IoT ThingsBoard, memungkinkan pemantauan dan pengendalian beban listrik secara jarak jauh. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem ini memiliki tingkat akurasi tinggi dengan persentase *error* pengukuran daya pada *Phasa R* sebesar 0,04%, *Phasa S* sebesar 0,96%, dan *Phasa T* sebesar 0,42%. Sistem ini efektif dalam meningkatkan

efisiensi energi dan memungkinkan kontrol beban secara *real-time*, termasuk fitur *on/off* jarak jauh untuk kondisi darurat (Yuniarto et al., 2023).

Sistem yang mampu memantau arus listrik dan mengendalikan *circuit breaker* secara otomatis dikembangkan untuk mencegah kerusakan akibat arus berlebih. Sistem ini menggunakan sensor arus dan tegangan, mikrokontroler Arduino, serta *circuit breaker* yang terhubung melalui teknologi IoT. Sensor PZEM-004T digunakan untuk mendeteksi tegangan dan arus, sementara Arduino memproses data tersebut dan mengendalikan *circuit breaker* jika terdeteksi arus yang melebihi batas aman. Dengan demikian, sistem ini memungkinkan pemantauan dan pengendalian arus listrik secara *real-time*, serta memberikan perlindungan terhadap peralatan listrik dari kerusakan akibat arus lebih (Tama & Winardi, 2022).

Perancangan dan pengimplementasian sistem pemantauan konsumsi energi listrik satu *phasa* berbasis sensor PZEM-004T dan NodeMCU ESP8266 yang mampu memberikan informasi penggunaan listrik secara *real-time* dan dapat diakses dari jarak jauh melalui jaringan Wi-Fi. Sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur parameter listrik utama, seperti Tegangan, Arus, Daya, dan Total Energi yang digunakan, dengan tingkat akurasi yang tinggi. NodeMCU ESP8266 berperan sebagai pengendali utama yang mengolah data dari sensor dan mengirimkannya ke *platform* pemantauan berbasis *web*, sehingga pengguna dapat memantau konsumsi listrik menggunakan perangkat seperti laptop atau *smartphone* di mana saja. Sistem ini dirancang agar mudah diintegrasikan pada instalasi listrik rumah tangga atau industri skala kecil, dengan antarmuka yang sederhana namun informatif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan data oleh sistem memiliki selisih yang sangat kecil dibandingkan alat ukur standar, membuktikan bahwa sistem ini memiliki akurasi yang baik. Dengan biaya pengembangan yang relatif rendah, kemudahan instalasi, dan kemampuan pemantauan jarak jauh, sistem ini dinilai sangat bermanfaat untuk

meningkatkan kesadaran dan efisiensi penggunaan energi listrik, sekaligus menjadi alternatif solusi pemantauan energi yang praktis dan modern (Manfaluthy et al., 2022).

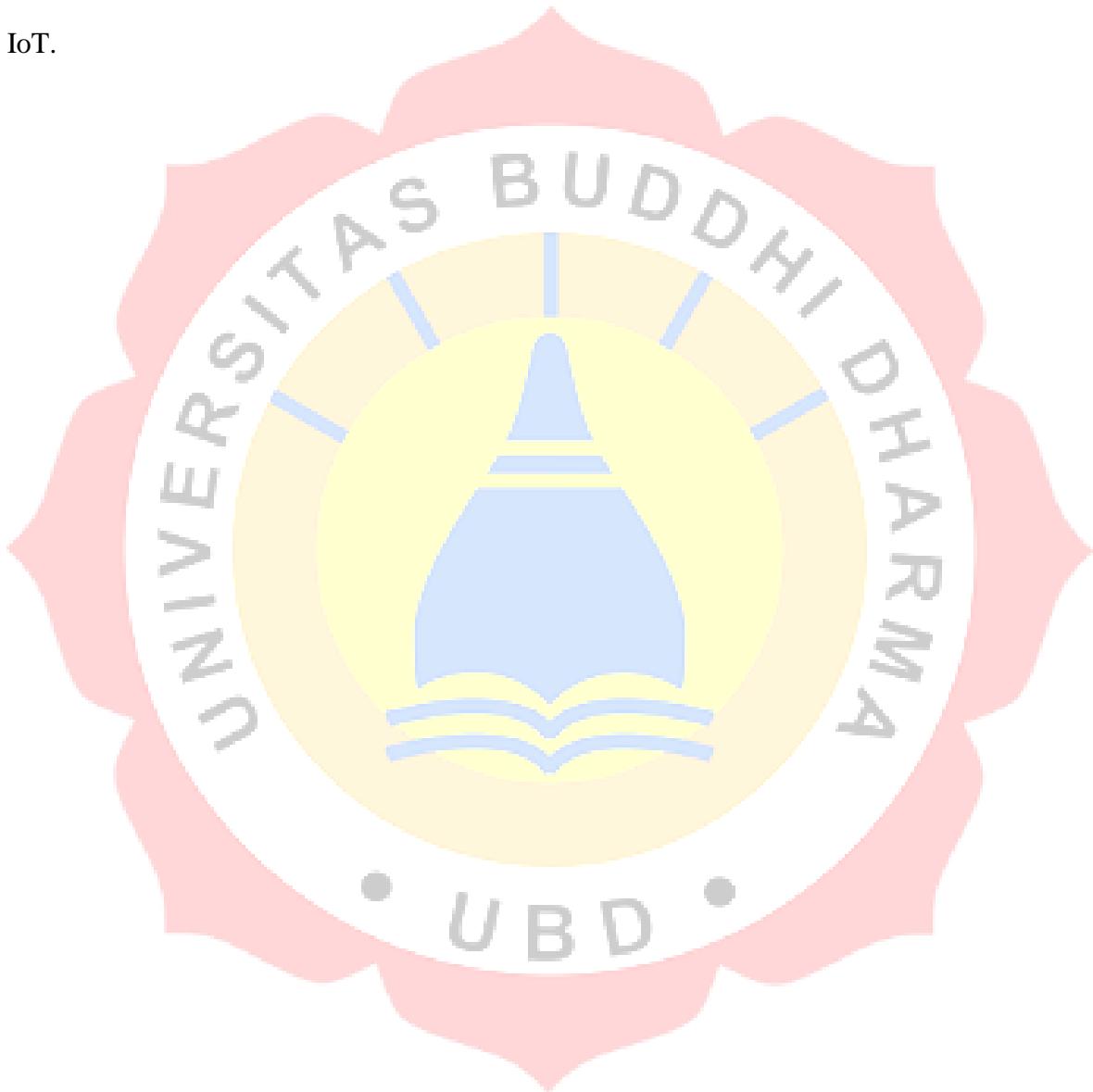
Sistem *monitoring* parameter listrik berbasis IoT berhasil dirancang menggunakan NodeMCU ESP8266 V3 dan sensor PZEM-004T V3 untuk mengukur berbagai parameter kelistrikan, seperti Tegangan, Arus, Daya Aktif, Faktor Daya, Frekuensi, dan Energi secara *real-time*, serta menghitung estimasi biaya penggunaan listrik berdasarkan tarif PLN. Data hasil pengukuran ditampilkan melalui LCD I2C dan dapat diakses dari jarak jauh melalui aplikasi Blynk pada *smartphone*, yang juga dilengkapi fitur kontrol *relay* untuk menghidupkan atau mematikan perangkat secara otomatis. Pengujian pada beban resistif, kapasitif, dan induktif menunjukkan hasil pengukuran yang akurat dan stabil, sehingga sistem ini tidak hanya bermanfaat untuk memantau kondisi kelistrikan, tetapi juga membantu pengguna dalam mengelola konsumsi energi, menghemat biaya listrik, dan melindungi peralatan elektronik dari kerusakan akibat lonjakan daya (Rangkuti & Martiano, 2025).

Sistem manajemen energi pintar berbasis IoT menggunakan sensor PZEM-004T, NodeMCU, *relay*, dan sensor PIR dikembangkan untuk memantau serta mengendalikan konsumsi energi listrik secara *real-time*. Sistem memungkinkan pengguna mengatur tarif listrik sesuai anggaran bulanan dan mengontrol beban secara otomatis berdasarkan keberadaan manusia yang terdeteksi oleh sensor PIR, sehingga dapat mengurangi penggunaan daya yang tidak perlu dan menekan biaya listrik. Data Tegangan, Arus, Daya, Faktor Daya, dan Frekuensi dikirim oleh NodeMCU ke *server* Firebase setiap 10 detik, dan dapat diakses melalui aplikasi *web* maupun *mobile*. Hasil pengujian menunjukkan sistem memiliki akurasi yang baik, mampu mendeteksi fluktuasi tegangan, mengidentifikasi waktu puncak konsumsi, serta membantu pengguna dalam mengelola beban listrik secara efisien untuk menghemat biaya (B & George, 2021).

Sistem *monitoring* energi listrik menggunakan NodeMCU ESP8266 dan sensor PZEM-004T berhasil dirancang untuk memantau dan mengendalikan penggunaan daya listrik secara *real-time*. Data konsumsi listrik dapat ditampilkan pada OLED dan dikirim ke *platform* ThingSpeak untuk pemantauan jarak jauh, serta memungkinkan pengguna memutus atau mengaktifkan aliran listrik melalui kontrol *web*. Pengujian menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi, dengan selisih hanya sekitar 0,1% antara daya terukur dan daya sebenarnya. Perbedaan kecil ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan antara daya yang tertera pada perangkat dengan daya aktual yang digunakan. Integrasi sensor PZEM-004T dengan ThingSpeak dan kontrol berbasis *web* terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi dan pengelolaan penggunaan energi listrik (Ahmad et al., 2024).

Sistem pemantauan konsumsi daya listrik berbasis *Internet of Things* (IoT) berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai pengendali utama dan sensor PZEM-004T untuk mengukur parameter listrik seperti Tegangan, Arus, Daya, dan Energi. Data hasil pengukuran ditampilkan secara langsung melalui LCD untuk pemantauan lokal, serta dikirimkan secara *real-time* ke aplikasi Blynk sehingga pengguna dapat memantau konsumsi daya dari jarak jauh melalui perangkat *mobile*. Sistem juga memiliki kemampuan menyimpan data penggunaan energi yang dapat dimanfaatkan untuk analisis pola konsumsi listrik, membantu pengguna dalam mengidentifikasi waktu dan perangkat yang menyebabkan konsumsi daya tinggi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan sensor memiliki tingkat akurasi yang tinggi dengan selisih minimal jika dibandingkan dengan alat ukur standar, sehingga dapat diandalkan untuk pemantauan energi. Dengan adanya sistem ini, pengguna dapat melakukan pengelolaan penggunaan listrik secara lebih efisien, meminimalkan pemborosan energi, dan mengoptimalkan biaya listrik, baik untuk keperluan rumah tangga maupun skala industri kecil (Nuryawan & Jannah, 2022).

Kesimpulan dari penelitian-penelitian relevan di atas, dapat disimpulkan bahwa skripsi ini akan mengembangkan sebuah sistem untuk *monitoring* dan kontrol beban listrik satu *phasa* berbasis IoT dengan beberapa keunggulan. Sistem yang akan dikembangkan menggabungkan kemampuan *monitoring* parameter listrik seperti Tegangan, Arus, Daya, dan Faktor Daya dengan sistem kontrol yang dapat diakses secara *remote* melalui *platform* IoT.

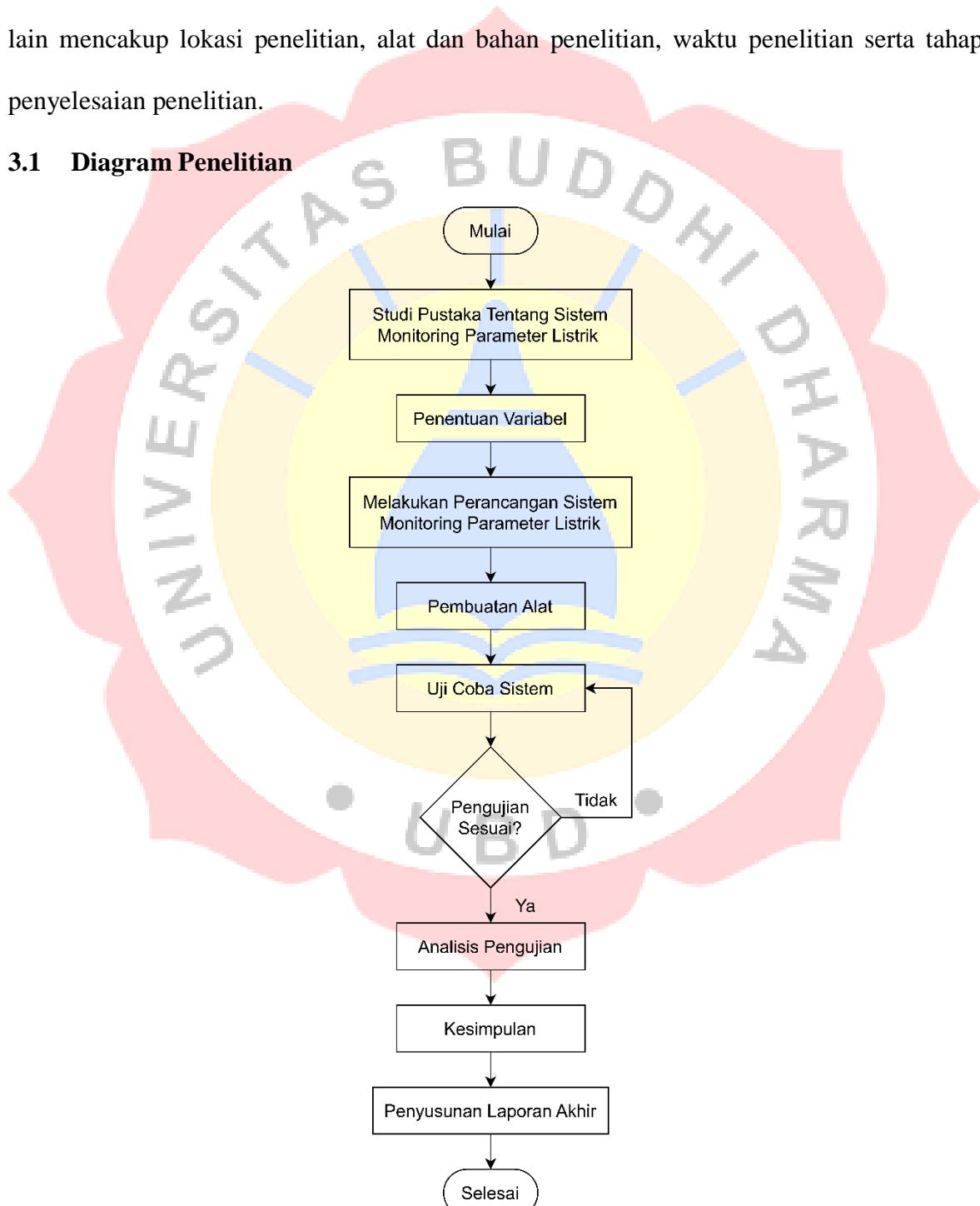


## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan menjelaskan cara yang akan digunakan dalam menyusun laporan penelitian. Metode penelitian yang digunakan dalam penyusunan antara lain mencakup lokasi penelitian, alat dan bahan penelitian, waktu penelitian serta tahap penyelesaian penelitian.

#### 3.1 Diagram Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Penelitian

## 3.2 Studi Literatur

Pada sub bab ini dibahas berbagai teori dan referensi literatur yang berkaitan langsung dengan sistem yang dikembangkan, meliputi konsep dasar teknologi IoT, pemantauan daya listrik, serta fungsi dan prinsip kerja dari komponen utama yang digunakan.

### 3.2.1 Teknologi *Internet of Things* (IoT)

IoT merupakan konsep teknologi yang memungkinkan perangkat fisik saling terhubung dan berkomunikasi melalui jaringan internet. Dalam konteks sistem pemantauan dan kontrol beban listrik, IoT berperan penting dalam mengirimkan data secara *real-time* dari perangkat pengukuran ke pengguna melalui aplikasi berbasis *cloud*, serta mengaktifkan atau menonaktifkan beban dari jarak jauh. *Platform* seperti Blynk memungkinkan antarmuka pengguna yang sederhana untuk memvisualisasikan data dan mengontrol perangkat dengan cepat.

### 3.2.2 Sistem *Monitoring* dan Kontrol Beban Listrik Satu Phasa

*Monitoring* daya listrik merupakan proses pengukuran parameter-parameter listrik seperti tegangan, arus, daya aktif, daya energi, frekuensi, dan faktor daya. Sistem kontrol beban bertujuan untuk mengatur kapan beban listrik (seperti alat elektronik) diaktifkan atau dimatikan berdasarkan kondisi tertentu. Dengan mengintegrasikan sistem ini ke dalam *platform* IoT, pengguna dapat melakukan pengawasan dan kontrol beban listrik secara efisien dari mana saja melalui perangkat *mobile*.

### 3.2.3 Komponen Utama Sistem

Berikut ini merupakan beberapa komponen utama yang digunakan dalam sistem ini, antara lain :

## 1. ESP8266 (NodeMCU)

ESP8266 adalah mikrokontroler yang dilengkapi dengan modul Wi-Fi, memungkinkan koneksi langsung ke internet tanpa memerlukan perangkat tambahan. Dalam sistem ini, ESP8266 berfungsi sebagai pusat pemrosesan data dari sensor dan sebagai penghubung ke *platform* IoT (Blynk), serta sebagai pengendali aktuator (*relay*).

**Tabel 3.1 Konfigurasi Pin NodeMCU ESP8266**

Pin Fisik	Nama Pin GPIO	Fungsi Utama
3V3	<i>Power</i>	Sumber tegangan 3.3V untuk modul
GND	<i>Ground</i>	<i>Ground</i> atau referensi tegangan
RX0	GPIO3 (RX)	Pin penerima UART (digunakan untuk komunikasi serial dengan PC atau modul lain)
TX0	GPIO1 (TX)	Pin pengirim UART
D0	GPIO16	Pin GPIO yang dapat digunakan untuk berbagai fungsi, termasuk <i>wake-up</i> dari <i>deep sleep</i>
D1	GPIO5	Pin GPIO yang dapat digunakan untuk SPI, I2C, dan GPIO biasa
D2	GPIO4	Pin GPIO untuk berbagai fungsi seperti I2C (SDA), SPI, dan GPIO biasa
D3	GPIO0	Pin GPIO, biasanya digunakan untuk mode <i>boot</i> dan <i>flash</i>
D4	GPIO2	Pin GPIO, juga terkait dengan LED <i>onboard</i> (biasanya aktif <i>LOW</i> )
D5	GPIO14	Pin GPIO yang dapat digunakan untuk SPI dan GPIO biasa
D6	GPIO12	Pin GPIO yang dapat digunakan untuk SPI dan GPIO biasa, juga berpengaruh saat <i>boot</i>
D7	GPIO13	Pin GPIO yang dapat digunakan untuk SPI dan GPIO biasa
D8	GPIO15	Pin GPIO yang berpengaruh pada mode <i>boot</i> (harus <i>LOW</i> saat <i>boot</i> )
A0	ADC0	Pin <i>input</i> analog, mengukur tegangan 0-1V.
EN	<i>Enable</i>	Pin <i>enable chip</i> , harus diberi tegangan <i>HIGH</i> agar modul aktif.
RST	<i>Reset</i>	Pin <i>reset</i> modul, aktif <i>LOW</i> untuk me- <i>reset</i> modul.

**Tabel 3.2 Spesifikasi NodeMCU ESP8266**

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Operasi	3.0 - 3.6 V DC
Konsumsi Daya	70 - 170 mA (aktif)
Protokol Komunikasi	Wi-Fi 802.11 b/g/n, UART, SPI, I2C
GPIO Pins	11 (tergantung modul)

Parameter	Spesifikasi
ADC	1 channel (0-1V input)
Kecepatan CPU	80 MHz (dapat di-overclock hingga 160 MHz)
Memori Flash	512 KB hingga 4 MB (tergantung varian)
Protokol Wi-Fi	WPA/WPA2
Ukuran Modul	$\pm 24 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$

## 2. PZEM-004T

PZEM-004T adalah sensor energi listrik yang mampu mengukur Tegangan (V), Arus (A), Daya Aktif (W), Energi (kWh), Frekuensi (Hz), dan Faktor Daya ( $\cos \Phi$ ) secara akurat. Sensor ini menggunakan komunikasi serial TTL (*Transistor-Transistor Logic*) untuk mentransmisikan data ke mikrokontroler, dan sangat cocok untuk aplikasi pemantauan daya berbasis IoT.

**Tabel 3.3 Konfigurasi Pin PZEM-004T**

Pin	Nama Pin	Fungsi
VCC	<i>Power Supply</i>	Sumber tegangan untuk modul, biasanya 5 V DC
GND	<i>Ground</i>	Terminal <i>ground</i> atau referensi tegangan
RX	<i>Receive</i>	Pin untuk menerima data serial dari mikrokontroler (UART)
TX	<i>Transmit</i>	Pin untuk mengirim data serial ke mikrokontroler (UART)
SCL (jika ada)	<i>Serial Clock</i>	Pin untuk <i>clock</i> pada komunikasi I2C (tidak selalu tersedia pada semua modul)
SDA (jika ada)	<i>Serial Data</i>	Pin data pada komunikasi I2C (jika modul mendukung I2C)
CT ( <i>Current Transformer</i> )	Arus	Kabel sensor arus, biasanya berupa cincin ( <i>split core</i> ) untuk mengukur arus melalui kabel <i>phasa</i>

**Tabel 3.4 Spesifikasi PZEM-004T**

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Kerja ( <i>Supply</i> )	DC 5 V
Rentang Tegangan AC	80 V - 260 V (biasanya 100 V - 260 V)
Rentang Arus	0 - 100 A (dengan CT 100A)
Resolusi Tegangan	$\pm 0.1 \text{ V}$
Resolusi Arus	$\pm 0.01 \text{ A}$
Akurasi Pengukuran	$\pm 1\%$ dari nilai terukur
Protokol Komunikasi	UART (9600 baud rate standar)
Parameter yang diukur	Tegangan, arus, daya aktif, energi, faktor daya, frekuensi

Parameter	Spesifikasi
Dimensi Modul	$\pm 70 \times 30 \times 15$ mm (variasi tergantung model)
Suhu Operasi	-10°C sampai 60°C

Pada modul PZEM-004T yang paling umum, komunikasi data menggunakan protokol UART melalui pin RX dan TX. Tegangan *supply* stabil diperlukan agar modul dapat bekerja dengan akurat.

### 3. Relay Empat Channel (Logika HIGH)

Modul *relay* empat *channel* berfungsi sebagai saklar elektronik yang dikendalikan oleh ESP8266. Dengan logika aktif *HIGH*, *relay* akan menutup kontak (*ON*) ketika menerima sinyal logika tinggi dari mikrokontroler, sehingga dapat digunakan untuk mengendalikan beban listrik seperti Pompa, Kulkas, dan peralatan rumah tangga lainnya.

**Tabel 3.5 Konfigurasi Pin Modul Relay Empat Channel**

Pin	Nama Pin	Fungsi
VCC	<i>Power Supply</i>	Tegangan supply <i>modul relay</i> , biasanya 5 V DC
GND	<i>Ground</i>	<i>Ground</i> atau referensi tegangan
IN1	<i>Input Channel 1</i>	Sinyal kontrol untuk mengaktifkan <i>relay channel 1</i> ( <i>LOW</i> atau <i>HIGH</i> tergantung modul)
IN2	<i>Input Channel 2</i>	Sinyal kontrol untuk <i>relay channel 2</i>
IN3	<i>Input Channel 3</i>	Sinyal kontrol untuk <i>relay channel 3</i>
IN4	<i>Input Channel 4</i>	Sinyal kontrol untuk <i>relay channel 4</i>
NO ( <i>Normally Open</i> )	<i>Output Relay</i>	Terminal yang tidak terhubung ke COM ketika <i>relay</i> dalam kondisi non-aktif, terhubung saat aktif
NC ( <i>Normally Closed</i> )	<i>Output Relay</i>	Terminal yang terhubung ke COM saat <i>relay</i> non-aktif, terputus saat aktif
COM	<i>Common Output</i>	Terminal <i>common</i> dari <i>relay</i> , sebagai penghubung ke NO atau NC tergantung status <i>relay</i> .

**Tabel 3.6 Spesifikasi Modul Relay Empat Channel**

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Operasi Modul	5 V DC
Arus Kontrol	$\pm 15\text{-}20$ mA per <i>channel</i>
Tegangan <i>Relay Output</i>	Maksimum 250 V AC / 30 V DC
Arus Maksimum Beban	Maksimum 10 A per <i>channel</i>

Parameter	Spesifikasi
Tipe Relay	Elektromagnetik, kontak SPDT ( <i>Single Pole Double Throw</i> )
Indikator LED	LED indikator untuk setiap <i>channel relay</i> aktif
Dimensi Modul	$\pm 70 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ (variasi)
Isolasi Opto-isolator	Biasanya ada <i>optocoupler</i> untuk isolasi sinyal kontrol dengan beban

#### 4. Power Supply 12V 5A

Catu daya ini digunakan untuk memberikan tegangan stabil ke *relay* dan perangkat lainnya yang membutuhkan daya lebih besar dari yang disediakan oleh port USB ESP8266. Dengan kapasitas arus 5A, *power supply* ini mampu menunjang operasi sistem secara konsisten dan aman.

**Tabel 3.7 Power Supply 12V 5A**

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Output	12 V DC
Arus Maksimum Output	5 A
Daya Maksimum	60 W ( $12\text{V} \times 5\text{A}$ )
Tegangan Input	100 - 240 V AC (biasanya universal)
Frekuensi Input	50/60 Hz
Proteksi	<i>Ovvoltage, Overcurrent, Short Circuit</i>
Efisiensi	Sekitar 80-90%
Dimensi	Variatif sesuai model

#### 5. DC-DC Buck Converter XL4015

XL4015 merupakan modul penurun tegangan (*step-down converter*) yang digunakan untuk mengatur dan menstabilkan *output* tegangan sesuai kebutuhan perangkat. Modul ini memungkinkan konversi dari 12V ke 5V atau tegangan lainnya untuk keperluan mikrokontroler dan sensor.

**Tabel 3.8 Konfigurasi Pin/Terminal Modul XL4015**

Pin/Terminal	Nama	Fungsi
VIN+	<i>Input</i> Positif	Terminal <i>input</i> untuk tegangan DC positif (biasanya 4.5V hingga 38V).
VIN-	<i>Input</i> Negatif	Terminal <i>input</i> untuk <i>ground/negatif</i> sumber daya.

Pin/Terminal	Nama	Fungsi
VOUT+	<i>Output</i> Positif	Terminal <i>output</i> tegangan DC yang telah diturunkan.
VOUT-	<i>Output</i> Negatif	Terminal <i>output ground/negatif</i> .
Potensiometer	<i>Adjust (Adj)</i>	Komponen untuk mengatur tegangan <i>output</i> secara manual dengan memutar knop potensiometer.
LED Indikator	<i>Power On Indicator</i>	LED yang menyala saat modul menerima daya dan beroperasi.

**Tabel 3.9 Spesifikasi Modul XL4015**

Parameter	Spesifikasi
Tegangan <i>Input</i>	4.5 V - 38 V DC
Tegangan <i>Output</i>	1.25 V - 36 V (dapat disesuaikan)
Arus <i>Output</i> Maksimum	5 A (kontinu)
Frekuensi <i>Switching</i>	180 kHz
Efisiensi Konversi	Hingga 94%
Dimensi Modul	± 43 mm × 21 mm × 14 mm
Proteksi <i>Overcurrent</i>	Ya, dengan <i>shutdown</i> otomatis
Proteksi <i>Overtemperature</i>	Ya

### 3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

#### 3.3.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini direncanakan berlangsung selama kurang lebih dua bulan, dimulai pada awal Maret hingga April 2025. Perencanaan ini mencakup pengaturan jangka waktu pelaksanaan penelitian guna memastikan seluruh tahapan dapat diselesaikan secara optimal.

#### 3.3.2 Tempat Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di sebuah rumah sederhana yang terletak di Kampung Ceger, No. 28, RT 07/RW 02, Desa Lebak Wangi, Kecamatan Sepatan Timur, Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten, Indonesia, dengan kode pos 15323.

### **3.4 Parameter Penelitian**

Parameter merupakan ukuran seluruh populasi penelitian yang harus diperkirakan. Parameter juga merupakan indikator dari suatu distribusi pengukuran. Informasi yang dapat menjelaskan batas-batas atau bagian tertentu dari sebuah sistem. Suatu parameter dapat didefinisikan, sebagai kriteria yang digunakan untuk menilai atau mengukur sesuatu dalam penelitian. Parameter berfungsi sebagai batasan dan acuan yang jelas dalam melakukan pengukuran atau penilaian terhadap penelitian.

Dalam konteks penelitian skripsi, parameter berfungsi sebagai acuan yang membantu peneliti untuk :

1. Menentukan batasan-batasan penelitian secara jelas.
2. Mengukur keberhasilan penelitian.
3. Memvalidasi hasil penelitian.
4. Memberikan standarisasi dalam pengumpulan dan analisis data.

Dalam penelitian teknik seperti sistem pemantauan dan kontrol beban listrik, parameter dapat dibagi menjadi beberapa kategori :

1. Parameter Teknis, berkaitan dengan spesifikasi dan kinerja sistem.
2. Parameter Operasional, terkait dengan pengoperasian dan penggunaan sistem.
3. Parameter Kualitas, mengukur kualitas layanan dan performa sistem.

Berikut adalah parameter-parameter spesifik untuk penelitian Parameter Pengukuran Listrik:

1. Tegangan (V)
  - a. Rentang pengukuran adalah 180-240 VAC
  - b. Frekuensi sampling adalah 50 Hz
  - c. Stabilitas pengukuran dalam berbagai kondisi beban

## 2. Arus Listrik (A)

- a. Rentang pengukuran adalah 0-10 A
- b. Kemampuan pengukuran beban dinamis
- c. Respons terhadap perubahan arus mendadak

## 3. Daya Listrik (W)

- a. Rentang pengukuran 0-2400 W

## 4. Faktor Daya ( $\cos \phi$ )

## 5. Frekuensi

## 6. Energi

Parameter-parameter di atas disusun untuk memastikan sistem dapat berfungsi dengan optimal dan memenuhi kebutuhan peneliti. Setiap parameter memiliki nilai atau rentang spesifik yang harus dipenuhi untuk menjamin kualitas sistem. Dalam implementasinya, parameter-parameter ini akan menjadi acuan dalam pengembangan, pengujian, dan evaluasi sistem.

### 3.5 Model yang Digunakan

Sistem cerdas pemantauan dan kontrol beban listrik satu *phasa* yang akan dikembangkan merupakan integrasi dari beberapa komponen *hardware* dan *software* yang saling terhubung melalui teknologi IoT. Model sistem ini dirancang untuk memberikan solusi pemantauan *real-time* dan kontrol jarak jauh terhadap penggunaan listrik. Sistem ini terdiri dari dua bagian utama yang saling terintegrasi :

#### 1. Unit Pengukuran Dan Kontrol

- a. Sensor PZEM-004T berfungsi sebagai pembaca parameter listrik meliputi tegangan, arus, daya, faktor daya, dan konsumsi energi.

b. Node MCU ESP8266 berperan sebagai mikrokontroler utama yang memproses data dari sensor dan mengelola komunikasi data.

## 2. Sistem Komunikasi

- a. Menggunakan *protocol Wi-Fi* untuk mengirimkan data ke *server*.
- b. Aplikasi *web/mobile* untuk *monitoring* dan kontrol.
- c. Tampilan *dashboard* dengan visualisasi data secara *real-time*.



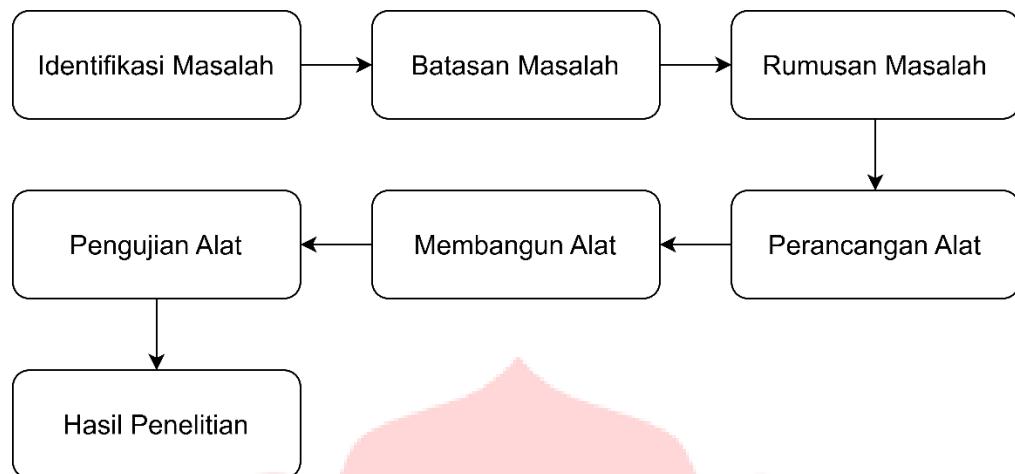
**Gambar 3.2 Model Blynk dalam Penerapan IoT**

(Hadi et al., 2022)

## 3.6 Rancangan Penelitian

### 3.6.1 Rancangan Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode rancang bangun yang berfungsi sebagai kerangka kerja dalam sebuah penelitian. Perancangan alat IoT adalah pendekatan yang baik serta sangat efisien dan bisa berubah ubah seiring berjalananya waktu. Bertujuan untuk memahami lebih baik lagi setiap perkembangan yang dihasilkan oleh penelitian ini. Rancangan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3 Rancangan Penelitian**

Adapun penjelasan mengenai tahapan-tahapan yang dilalui dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Identifikasi Masalah

Permasalahan yang sesuai dengan peneliti dan ruang lingkup masalah terlalu luas, sehingga yang menjadi fokus dalam penelitian agar penelitian dapat terlaksana dengan baik.

2. Batasan Masalah

Memberikan gambaran pada sebuah penelitian agar tercapainya ruang lingkup penelitian yang lebih khusus sehingga setiap tahap dalam sebuah metodologi penelitian dapat terlaksana secara sempurna.

3. Rumusan Masalah

Mengidentifikasi setiap *variable* yang akan menjadi objek dalam sebuah penelitian.

4. Perancangan Alat

Merancang alat sesuai kebutuhan peneliti agar tercapai semua keinginan pengguna baik *hardware* maupun *software* untuk sistem *monitoring*.

5. Membuat Alat

Mendesain alat *monitoring* listrik pada rumah tangga berbasis IoT melalui aplikasi Blynk yang sesuai dengan tahapan sebelumnya.

## 6. Pengujian Alat

Menguji sistem perangkat alat yang sudah dirancang agar dapat dievaluasi dengan cepat jika terjadi kesalahan.

## 7. Hasil Penelitian

Rancang bangun alat *monitoring* listrik pada rumah tangga berbasis IoT dengan aplikasi Blynk sudah selesai dirancang dan didesain dengan baik sesuai dengan langkah-langkah yang ada dalam sistem tersebut.

Pada penelitian ini digunakan metode yang berfokus pada tahap pengujian rancang bangun. Hal ini dilakukan untuk mengetahui manfaat alat bagi pengguna, baik dari segi kelayakan alat maupun media terhadap pemahaman konsep berbasis IoT dengan aplikasi Blynk. Perancangan alat dapat mengalami perubahan sesuai dengan tingkat pemahaman pengguna.

### 3.6.2 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian digunakan untuk memudahkan penelitian dalam pendataan dan mendapatkan nilai yang *real* pada peralatan listrik rumah tangga.

#### 3.6.2.1 Data *Monitoring* Listrik Satu Phasa

Data yang terdapat dalam monitoring dalam listrik satu phasa berupa waktu, jenis beban yang digunakan seperti Tegangan (V), Arus (A), Daya (W), Dan Energi (Kwh), Frekuensi (Hz), Faktor Daya (Pf).

## 1. Tegangan

Tegangan listrik (voltage) adalah perbedaan potensi listrik antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik. Tegangan listrik dapat dianalogikan seperti tekanan air dalam pipa, dimana semakin tinggi perbedaan tekanannya, semakin kuat aliran airnya. Berikut ini adalah Rumus Dasar Tegangan:

$$V = I \times R$$

Dimana:

$V$  = Tegangan (Volt)

$I$  = Arus Listrik (Ampere)

$R$  = Hambatan (Ohm)

## 2. Arus Listrik

Aliran muatan listrik yang mengalir melalui suatu pengantar dalam rangkaian listrik. Arus listrik diukur dalam satuan Ampere (A) dan dilambangkan dengan huruf  $I$ .

Berikut ini adalah Rumus Dasar Arus :

$$I = \frac{V}{R}$$

Dimana:

$V$  = Tegangan (Volt)

$I$  = Arus Listrik (Ampere)

$R$  = Hambatan (Ohm)

## 3. Daya Listrik

Laju energi listrik yang ditransfer dalam suatu rangkaian listrik. Daya listrik diukur dalam satuan Watt (W) dan merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus. Berikut adalah Rumus Dasar Daya Listrik:

a. Daya Aktif

$$P = V \times I \times \cos \varphi$$

Dimana:

$P$  = Daya Aktif

$V$  = Tegangan (Volt)

$I$  = Arus Listrik (Ampere)

$\cos \varphi$  = Faktor daya, menunjukkan efisiensi penggunaan daya

b. Daya Semu

Dimana:

$S$  = Daya Semu (Volt Ampere)

$V$  = Tegangan (Volt)

$I$  = Arus Listrik (Ampere)

c. Daya Reaktif

Dimana:

$Q$  = Daya Reaktif (Volt Ampere Reaktif)

$V$  = Tegangan (Volt)

$I$  = Arus Listrik (Ampere)

$\sin \varphi$  = Komponen dari arus yang tidak searah dengan tegangan

d. Faktor Daya

$$PF = \frac{P}{S} = \cos \varphi$$

Dimana:

$PF$  = Faktor Daya/*Power Factor*

$P$  = Daya Aktif (Watt)

$S$  = Daya Semu (VA)

$\cos \varphi$  = Nilai  $PF$ , yang menggambarkan efisiensi penggunaan energi listrik

### 3.7 Teknik atau Metode Pengujian dan Pengambilan Data

#### 3.7.1 Pengujian *Hardware*

1. Pengujian Sensor PZEM-004T
  - a. Pengujian akurasi pembacaan Tegangan AC (V)
  - b. Pengujian akurasi pembacaan Arus (A)
  - c. Pembacaan akurasi pembacaan Daya Aktif (W)
  - d. Pengujian akurasi pembacaan Faktor Daya ( $\cos \varphi$ )
  - e. Pengujian akurasi pembacaan Energi (kWh)
2. Pengujian NodeMcu ESP8266
  - a. Pengujian koneksi Wi-Fi
  - b. Pengujian komunikasi serial dengan PZEM-004T
  - c. Pengujian stabilitas perangkat
  - d. Pengujian jangkauan sinyal

#### 3.7.2 Pengujian *Software*

1. Pengujian koneksi Blynk
  - a. Pengujian pengiriman data ke *platform Blynk*
  - b. Pengujian interval waktu pengiriman data
  - c. Pengujian keberhasilan penyimpanan data
  - d. Pengujian tampilan data pada *dashboard Blynk*
2. Pengujian Sistem *Monitoring*
  - a. Pengujian akurasi data *real-time*

b. Pengujian visualisasi grafik

### 3.7.3 Pengujian Integrasi Sistem

1. Pengujian Beban Listrik

a. Pengujian dengan beban

b. Pengujian dengan kombinasi beban

2. Pengujian Performa Sistem

a. Pengujian dalam kondisi beban minimal

b. Pengujian dalam kondisi beban normal

c. Pengujian dalam kondisi beban maksimal

d. Pengujian ketahanan sistem (24 jam)

## 3.8 Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini berfokus pada evaluasi kinerja sistem pemantauan dan kontrol beban listrik satu *phasa* berbasis IoT. Data utama yang dianalisis berasal dari sensor PZEM-004T, meliputi parameter Tegangan, Arus, Faktor Daya, dan Energi Listrik. Pengumpulan data dilakukan melalui serangkaian pengujian terhadap komponen sistem dan integrasi keseluruhan.

Teknik analisis yang digunakan mencakup analisis kuantitatif untuk menghitung akurasi sensor dengan membandingkan hasil pembacaan terhadap alat ukur standar yang terkalibrasi. Perhitungan persentase *error* menggunakan rumus :

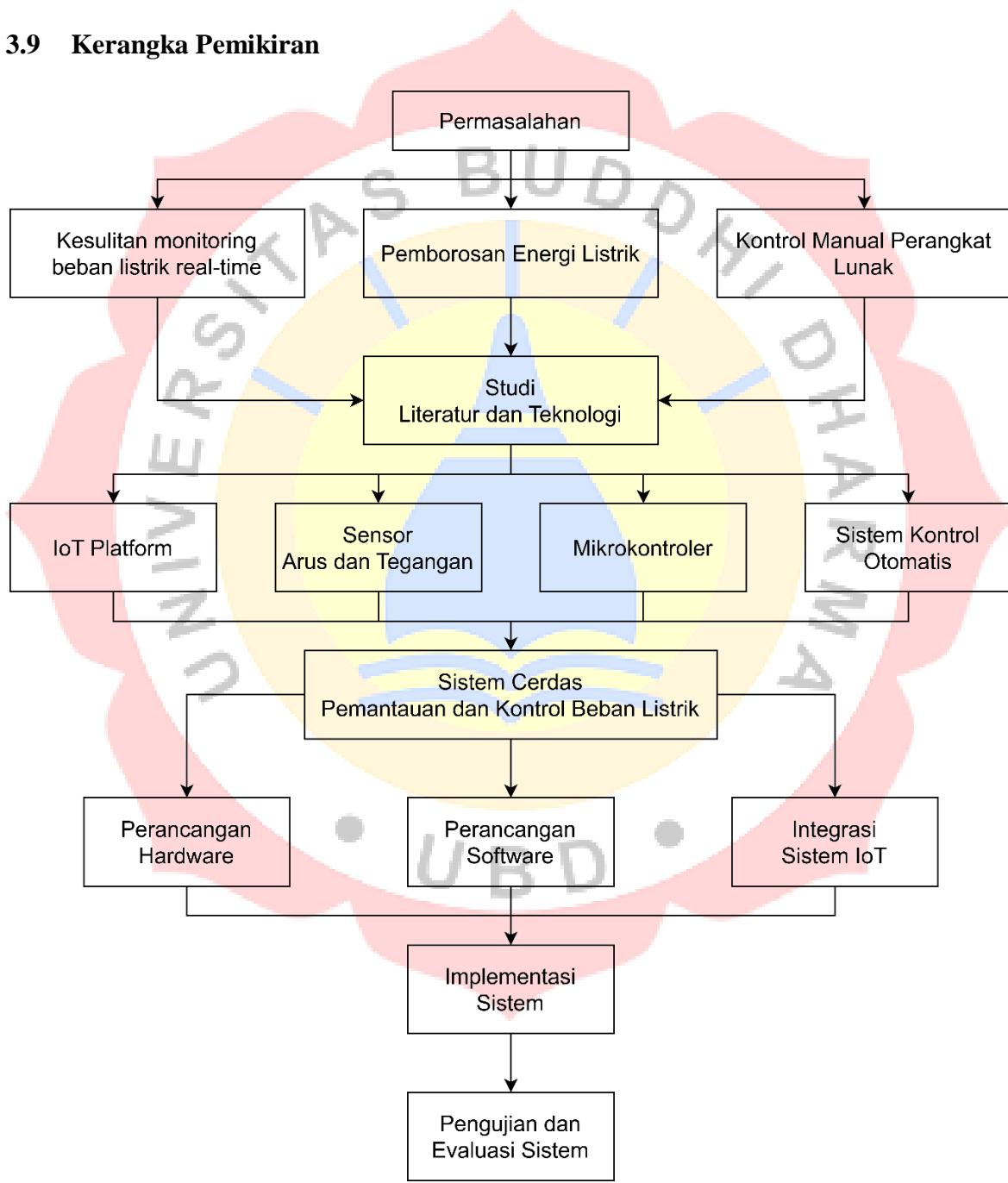
$$\text{error} (\%) = \frac{\text{Nilai Terukur} - \text{Nilai Sebenarnya}}{\text{Nilai Sebenarnya}} \times 100\%$$

Selain itu, dilakukan analisis performa sistem untuk mengevaluasi respons kontrol dan stabilitas komunikasi data pada jaringan IoT.

Validasi hasil penelitian dilakukan melalui pengujian berulang dalam berbagai kondisi beban, dan verifikasi hasil pengukuran dengan perhitungan teoritis. Data yang diperoleh

akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan interpretasi hasil penelitian. Analisis ini bertujuan memastikan sistem yang dikembangkan memenuhi spesifikasi yang direncanakan dan dapat berfungsi secara efektif dalam pemantauan dan kontrol beban listrik.

### 3.9 Kerangka Pemikiran



Gambar 3.4 Kerangka Penelitian

### **3.10 Jadwal Penelitian**

Tabel 3.10 di bawah ini menyajikan Gantt Chart yang menggambarkan jadwal penelitian yang dilakukan dalam rangka menyelesaikan skripsi ini. Penelitian ini dijadwalkan berlangsung dari 1 April 2025 hingga 31 Mei 2025, dan mencakup berbagai tahapan penting yang melibatkan Identifikasi Masalah, Studi Literatur, Perancangan Sistem, Pengumpulan Data, Implementasi, Pengujian Sistem, Analisis Hasil serta Dokumentasi. Tabel 3.10 memberikan gambaran yang jelas tentang urutan dan waktu yang dialokasikan untuk setiap kegiatan dalam penelitian ini.

**Tabel 3.10 Gantt Chart Jadwal Penelitian**

No	Kegiatan	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Identifikasi Masalah								
2	Studi Literatur								
3	Perancangan Sistem								
4	Pengumpulan Data								
5	Implementasi								
6	Pengujian Sistem								
7	Analisis Hasil								
8	Dokumentasi								

Dengan adanya jadwal penelitian yang terperinci dalam tabel ini, diharapkan pelaksanaan setiap tahap penelitian dapat berjalan dengan terstruktur dan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Penyusunan jadwal yang tepat sangat penting untuk memastikan semua kegiatan penelitian selesai dengan baik dan memberikan hasil yang valid serta dapat dipertanggungjawabkan.