

SKRIPSI

PERANCANGAN SISTEM KONTROL BEBAN BERBASIS *VOICE COMMAND DENGAN MONITORING KONSUMSI* **LISTRIK REAL-TIME BERBASIS IoT**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

MHD IQBAL
2107220004



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Mhd Iqbal

NPM : 2107220004

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Perancangan Sistem Kontrol Beban Berbasis *Voice Command* dengan Sistem Monitoring Konsumsi Listrik *Real-Time* Berbasis IoT

Bidang ilmu : Sistem Kendali

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

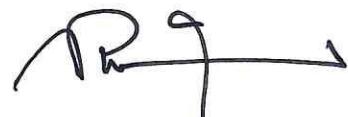
Medan, 19 Agustus 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I

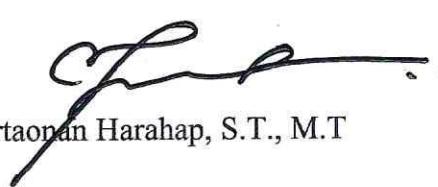
Noorly Evalina, S.T., M.T

Dosen Pembanding I / Penguji



Dr. Rimbawati, S.T., M.T

Dosen Pembanding II / Peguji



Partaonan Harahap, S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro

Ketua,



Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Mhd Iqbal

Tempat /Tanggal Lahir : Medan /26 November 2003

NPM : 2107220004

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejurnya, bahwa laporan Skripsi saya yang berjudul:

“Perancangan Sistem Kontrol Beban Berbasis *Voice Command* dengan Monitoring Konsumsi Listrik *Real-Time* Berbasis IoT”,

Bukan merupakan plagiarism, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Skripsi saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/ kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 19 Agustus 2025

Saya yang menyatakan,



ABSTRAK

Kebutuhan listrik yang terus meningkat menuntut adanya sistem pengelolaan energi yang lebih efisien dan terintegrasi. Penggunaan listrik yang berlebihan tanpa pemantauan yang baik sering menimbulkan pemborosan dan tingginya biaya pemakaian. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang mampu memantau konsumsi listrik sekaligus mengendalikan beban secara cerdas melalui teknologi modern. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol beban berbasis voice command yang terintegrasi dengan sistem monitoring konsumsi listrik real-time berbasis Internet of Things (IoT). Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, sensor PZEM-004T untuk mengukur tegangan, arus, daya, dan energi, serta Google Assistant melalui IFTTT dan Adafruit MQTT sebagai media perintah suara. Data hasil monitoring ditampilkan pada LCD dan aplikasi Blynk di smartphone secara nirkabel. Metodologi penelitian meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, integrasi sistem IoT, serta pengujian akurasi dan responsivitas perintah suara. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menampilkan data secara real-time dengan tingkat akurasi tinggi, serta merespons perintah suara dengan cepat dan stabil. Fitur perhitungan biaya listrik juga berfungsi optimal dalam membantu pengguna mengatur konsumsi energi. Dengan menggabungkan teknologi IoT dan voice command, sistem ini mampu memberikan solusi efisien, praktis, dan fleksibel untuk pengelolaan energi listrik rumah tangga, khususnya pada lingkungan kos atau rumah sewa.

Kata Kunci: Internet of Things, Voice Command, ESP32, PZEM-004T, Blynk, Adafruit MQTT

ABSTRAC

The ever-increasing demand for electricity requires a more efficient and integrated energy management system. Excessive electricity usage without proper monitoring often leads to waste and high usage costs. Therefore, a system is needed that can monitor electricity consumption and intelligently control the load using modern technology. This study aims to design and implement a voice command-based load control system integrated with a real-time electricity consumption monitoring system based on the Internet of Things (IoT). This system uses an ESP32 microcontroller as the main controller, a PZEM-004T sensor to measure voltage, current, power, and energy, and Google Assistant via IFTTT and Adafruit MQTT as the voice command medium. The monitoring data is displayed on an LCD and the Blynk application on a smartphone wirelessly. The research methodology includes hardware and software design, IoT system integration, and testing the accuracy and responsiveness of voice commands. Test results show that the system is capable of displaying data in real-time with a high degree of accuracy, as well as responding to voice commands quickly and stably. The electricity cost calculation feature also functions optimally in helping users manage energy consumption. By combining IoT and voice command technology, this system is able to provide an efficient, practical, and flexible solution for managing household electricity, especially in boarding houses or rented homes.

Kata Kunci: *Internet of Things, Voice Command, ESP32, PZEM-004T, Blynk, Adafruit MQTT*

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Laporan Skripsi ini yang berjudul “Perancangan Sistem Kontrol Beban Berbasis *Voice Command* dengan Monitoring Konsumsi Listrik *Real-Time* Berbasis IoT” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Skripsi ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Agussani, M.A.P., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan studi di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan; Bapak Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Wakil Dekan Bidang Akademik; serta Bapak Affandi, S.T., M.T., selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan dan Alumni Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah memberikan pelayanan yang baik kepada semua mahasiswa untuk kelancaran studi.
3. Ibu Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Benny Oktraldi, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Noorly Evalina, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, motivasi, arahan, serta dorongan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

6. Ibu Dr. Rimbawati, S.T., M.T., selaku Dosen Pembanding I dan Pengaji, yang telah memberikan kritik dan saran yang konstruktif demi kesempurnaan penulisan proposal hingga skripsi.
7. Bapak Partaonan Harahap, S.T., M.T., selaku Dosen Pembanding II dan Pengaji, yang juga telah memberikan kritik dan saran yang konstruktif demi kesempurnaan penulisan proposal hingga skripsi.
8. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T., selaku dosen pengampu yang senantiasa memberikan masukan dan motivasi dalam penyusunan usulan penelitian hingga skripsi.
9. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, yang telah banyak memberikan ilmu keteknikalektroan kepada penulis.
10. Seluruh Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Yang paling utama, kepada almarhum Bapak Suratman. Banyak hal menyakitkan yang penulis lalui, tanpa sosok Bapak, penulis merasa babak belur dihajar kenyataan yang terkadang tidak sejalan. Namun penulis berusaha sekuat tenaga dan semampu yang ada untuk menyelesaikan pendidikan ini tanpa kehadiran Bapak di sisi. Itu semua tidak mengurangi rasa bangga dan terima kasih atas kehidupan yang telah Bapak berikan. Kepada Ibu penulis, Rajemah, yang cantik dan baik hati, terima kasih atas doa, kasih sayang, serta dukungan yang tiada henti hingga penulis dapat menempuh pendidikan sampai jenjang S-1.
12. Keluarga besar penulis, yakni saudara-saudari: Andri, Dedi Soetomo, Zulhijar, Khairul Huda, Heri Najri Setiawan, Putri Anggraini, Tri Suci Harianie, Nita Hardiantie, dan Dewi Wardah Rahmadhani. Terima kasih atas dukungan, baik materi maupun non-materi, serta semangat yang selalu menguatkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
13. Teman-teman penulis yang sangat berarti, yaitu Ade Naufal Nufairi, Fariz Handicha, Rayhan Qolbi, Tengku Alif Bima Yudha Mahesa, dan lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Terima kasih telah hadir dan menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis, memberikan kontribusi sejak

awal hingga akhir penulisan, memberi semangat, dukungan, hiburan, serta mendengarkan keluh kesah, baik dalam suka maupun duka.

14. Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, khususnya teman-teman angkatan 2021. Terima kasih atas kebersamaan dan persahabatan dalam suka dan duka, baik di kampus maupun di lapangan.
15. Terakhir, penulis mengucapkan terima kasih kepada diri sendiri, Mhd. Iqbal, karena telah berusaha keras dan berjuang sejauh ini. Penulis mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan dan tidak pernah menyerah sesulit apa pun prosesnya. Hal ini merupakan pencapaian yang patut dibanggakan.
I wanna thank me for just being me at all times.

Laporan skripsi ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif sebagai bahan pembelajaran berkesinambungan di masa mendatang. Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang Teknik Elektro.

Medan, 19 Agustus 2025

Mhd Iqbal

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
ABSTRAK.....	iii
<i>ABSTRAC</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematis Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan.....	6
2.2 Landasan Teori	8
2.2.1 <i>Voice Command System</i>	8
2.2.2 Sistem Monitoring Listrik	10
2.2.3 Sistem Pemutus Tegangan	12
2.2.4 Karakteristik Sumber PLN	13
2.2.5 Arus listrik	14
2.2.6 Beban Listrik	17

2.2.7 Tarif Listrik.....	18
2.2.8 Mikrokontroller.....	20
2.2.9 NodeMCUEsp32	24
2.2.10 Buzzer	25
2.2.11 Sensor PZEM-004T	25
2.2.12 LCD 12 × 6	26
2.2.13 Modul Relay 4 Channel	27
2.2.14 Arduino Ide	28
2.2.15 Aplikasi Blynk	29
2.2.16 Aplikasi <i>IFTTT</i>	30
2.2.17 Google Asistant	30
2.2.18 Adafruit IO.....	31
BAB 3 METODE PENELITIAN	33
3.1 Waktu dan Tempat.....	33
3.2 Bahan dan Alat	33
3.3 Tahap Penelitian	38
3.4 Perancangan Alat	39
3.4.1 Diagram Blok Sistem.....	40
3.4.2 Wiring Diagram	41
3.4.3 Flowchart Diagram Alir Penelitian.....	42
3.4.4 Flowchart Sistem Kerja Alat	44
3.5 Tahapan Pengujian.....	47
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	Error! Bookmark not defined.
4.1 Perancangan Sistem Voice Command untuk Kontrol Beban dengan Monitoring Konsumsi Listrik Real-time Berbasis IoT	Error! Bookmark not defined.

4.1.1 Perancangan Sistem	Error! Bookmark not defined.
4.1.2 Implementasi Sistem.....	Error! Bookmark not defined.
4.2 Evaluasi Akurasi dan Responsivitas Sistem <i>Voice Command</i> serta Monitoring Konsumsi Listrik	Error! Bookmark not defined.
4.2.1 Pengujian Fungsional Relay	Error! Bookmark not defined.
4.2.2 Pengujian Sensor PZEM-004T	Error! Bookmark not defined.
4.3 Implementasi Sistem <i>Voice Command</i> dengan Monitoring Konsumsi Listrik <i>Real-time</i> dan Perhitungan Biaya Berbasis IoT	Error! Bookmark not defined.
4.3.1 <i>Implementasi Google Assistant</i> sebagai Kontrol Beban Berbasis <i>Voice Command</i>	Error! Bookmark not defined.
4.3.2 Implementasi Blynk sebagai Antarmuka Monitoring Nirkabel	Error! Bookmark not defined.
4.3.3 Implementasi Blynk sebagai Antarmuka Estimasi Biaya secara Nirkabel	Error! Bookmark not defined.
BAB 5 PENUTUP	Error! Bookmark not defined.
5.1 Kesimpulan	Error! Bookmark not defined.
5.2 Saran	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambar kWh meter analog	11
Gambar 2. 2 Gambar kWh meter digital	12
Gambar 2.3 Bagian-Bagian Relay	13
Gambar 2.4 Gelombang Arus Bolak-Balik	16
Gambar 2.5 Gelombang Arus Searah	16
Gambar 2.6 Diagram Struktur Mikrokontroller.....	21
Gambar 2.7 ESP32 DevkitC	25
Gambar 2.8 Buzzer	25
Gambar 2.9 Sensor PZEM-004T	26
Gambar 2.10 LCD 12 × 6	27
Gambar 2.11 Modul Relay 4 Channel	28
Gambar 2.12 Sofware Arduino Ide.....	28
Gambar 2.13 Blynk.....	29
Gambar 2.14 Google Asisstant	30
Gambar 2.15 Google Assistant	31
Gambar 2.16 Adafruit IO.....	32
Gambar 3.1 Alur Penelitian	39
Gambar 3.2 Diagram Blok Perancangan Sistem	40
Gambar 3.3 Wiring Diagram Alat	41
Gambar 3.4 Flowchart Diagram Alur Penelitian.....	43
Gambar 3.5 Flowchart Sistem Kerja Alat.....	45
Gambar 4.1 Alat Monitoring (a) Tampak Dalam Alat; (b) Tampak Luar Alat	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.2 Cuplikan Tampilan Pemrograman	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.3 Konfigurasi Feed pada Adafruit IO	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.4 Dashboard Kontrol Relay pada Adafruit IO	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.5 Halaman Dashboard Adafruit IO	Error! Bookmark not defined.

Gambar 4.6 Konfigurasi IFTTT Applet.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.7 Konfigurasi Google Home Rutinitas**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.8 Tampilan awal antarmuka dashboard Blynk pada perangkat seluler saat tahap implementasi**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.9 Grafik Pengujian Daya.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.10 Perbandingan Tegangan Hasil Alat Monitoring dan Alat Ukur**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Tegangan Alat Monitoring dengan Alat Ukur**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.12 Pengujian Arus Hasil Alat Monitoring dan Alat Ukur ... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Arus Hasil Alat Monitoring dan Alat Ukur**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.14 Tampilan LCD saat menampilkan nilai energi.**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.15 Grafik perbandingan energi teoritis dan energi terbaca oleh sistem.**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.16 Grafik Hasil Pengujian Google Assistant sebagai kontrol beban berbasis Voice Command**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.17 Antarmuka dashboard Blynk menampilkan parameter kelistrikan dan tombol reset energi secara Real-Time di perangkat seluler**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Nilai Parameter pada LCD dan Blynk**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.19 Pengujian Pengambilan Data Estimasi Biaya**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.20 Grafik Hasil Pengujian Pengambilan Data Estimasi Biaya**Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kireteria Pengujian Fungsional Relay.....	47
Tabel 3.2 Kireteria Pengujian Daya.....	48
Tabel 3.3 Kireteria Pengujian Tegangan	48
Tabel 3. 4 Kireteria Pengujian Arus	49
Tabel 3.5 Kireteria Pengujian Energi	49
Tabel 3.6 Kireteria Pengujian Pengambilan Data Estimasi Biaya	50
Tabel 3.7 Kireteria Pengujian Perbandingan Pembacaan Parameter pada LCD dengan Blynk	50
Tabel 4.1 Pengujian Fungsional Relay sebagai Kontrol Beban Berbasis Voice Command.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.2 Pengujian Daya.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Tegangan PZEM-004T dan Alat Ukur.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Arus PZEM-004T dan Alat Ukur.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.5 Pengujian Energi(kWh)	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Google Assistant sebagai Kontrol Beban Berbasis Voice Command	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.7 Perbandingan Pembacaan Parameter pada LCD dengan Blynk	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.8 Pengujian Pengambilan Data Estimasi Biaya	Error! Bookmark not defined.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berjalanannya waktu, jumlah penduduk dunia, terutama di Indonesia, terus bertambah. Laju pertumbuhan penduduk di Indonesia tergolong cepat, diiringi dengan perkembangan infrastruktur yang pesat. Listrik, sebagai kebutuhan dasar untuk kehidupan sehari-hari, menjadi semakin penting. Oleh karena itu, sejalan dengan kemajuan zaman, teknologi kelistrikan juga mengalami perkembangan pesat.

Listrik telah menjadi kebutuhan utama bagi manusia di era sekarang. Sebagian besar perangkat menggunakan listrik sebagai sumber daya. Kebutuhan akan listrik terus meningkat setiap tahun, didorong oleh produsen yang semakin aktif menciptakan berbagai peralatan dengan fungsi yang beragam untuk memenuhi kebutuhan manusia. Peralatan ini meliputi elektronik rumah tangga, peralatan kantor, industri, hingga alat-alat olahraga dan perangkat pribadi seperti smartphone dan lainnya.

Perintah suara, juga dikenal sebagai "*voice command*", adalah teknologi pengenalan pola suara yang memungkinkan pengguna mengontrol perangkat melalui ucapan mereka. Sistem ini bekerja dengan mengkonversi input suara manusia menjadi data yang dapat dipahami komputer.

Internet of Things (IoT) adalah sebuah teknologi canggih yang pada dasarnya merujuk pada banyaknya perangkat dan sistem di seluruh dunia yang terhubung ke internet dan memiliki kemampuan untuk berbagi data. Dengan menggunakan *software* dan sensor, *IoT* memungkinkan perangkat untuk berkomunikasi, mengontrol, menghubungkan, dan berbagi data melalui perangkat lain sambil tetap terhubung ke internet. Ini memungkinkan kinerja yang lebih baik.

Internet of Things (IoT) telah memperluas dan mengembangkan penggunaan internet dengan memungkinkan akses dan interaksi yang mudah dengan berbagai perangkat, seperti aktuator, layar, kamera CCTV, sensor pemantauan, dan lainnya. Salah satu contoh pemantauan yang sering digunakan saat ini adalah untuk memantau kondisi perangkat, seperti penggunaan listrik sehari-hari. Penggunaan

listrik yang boros seringkali tidak disadari, namun dengan adanya *IoT*, pemantauan penggunaan listrik harian dapat dilakukan[1].

Pemantauan energi listrik menjadi penting karena penggunaan energi listrik saat ini kurang efisien dan sering kali berlebihan. Selain listrik pascabayar yang sudah ada sebelumnya, Indonesia telah menerapkan listrik prabayar. Layanan ini memiliki keunggulan dibandingkan teknologi sebelumnya, karena pelanggan dapat mengatur biaya konsumsi listrik, seperti melakukan pengisian pulsa melalui ponsel. Namun, kenyataannya pencatatan kWh (kilowatt-jam) tidak dapat dipantau secara real-time, yang sering menyebabkan penggunaan melebihi anggaran[2].

Sebagai solusi atas masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan konsep alat pemutus tegangan pada sistem monitoring penggunaan daya, tegangan, arus, dan biaya yang harus dibayarkan dengan perintah suara. Serta sistem ini dirancang untuk mengatasi masalah pemborosan energi dengan kemampuan memonitoring secara *nirkabel* dengan *fleksibel* melalui *smartphone/pc*. Alat ini dilengkapi dengan kemampuan untuk menghitung daya, tegangan, arus, dan juga memberikan perkiraan biaya yang harus dibayar oleh konsumen dan memutus tegangan jika penggunaan tegangan sudah melebihi batas yang ditentukan dengan konfigurasi perintah suara. Alat ini difokuskan untuk digunakan di rumah kontrakan dan kos, karena seringkali terdapat keluhan mengenai biaya listrik. Berdasarkan pemikiran ini, solusi yang diusulkan adalah pengembangan teknologi pemutusan tegangan melalui perintah suara dan monitoring konsumsi listrik, dengan judul Skripsi **“PERANCANGAN SISTEM KONTROL BEBAN BERBASIS VOICE COMMAND DENGAN MONITORING KONSUMSI LISTRIK REAL-TIME BERBASIS IoT”**.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan dijelaskan dalam Skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana cara merancang *Voice Command* sebagai kontrol beban yang dilengkapi dengan sistem monitoring konsumsi listrik real-time berbasis IoT?

- b. Bagaimana akurasi dan responsivitas sistem voice command dalam mengontrol beban listrik, serta seberapa akurat sistem dalam melakukan monitoring konsumsi listrik berbasis IoT?
- c. Bagaimana mengimplementasikan *Voice Command* sebagai kontrol beban dalam sistem monitoring konsumsi listrik *real-time* serta biaya yang harus dibayar menggunakan teknologi *Internet of Things*?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian Skripsi ini lebih fokus dan tetap sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, maka ruang lingkup penelitian ini ditetapkan sebagai berikut:

- a. Rancang bangun menggunakan mikrokontroller ESP32 sebagai pengendali utama.
- b. Rancang bangun menggunakan Relay sebagai alat untuk memutuskan penggunaan daya, tegangan dan arus yang digunakan.
- c. Rancang bangun menggunakan sensor PZEM-004T sebagai alat untuk mengukur penggunaan daya, tegangan, arus dan biaya penggunaan.
- d. Analisis data monitoring yang dilakukan berbasis *Internet of Things*.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka didapatkan tujuan dari penelitian Skripsi ini adalah:

- a. Untuk merancang sistem *Voice Command* yang dapat berfungsi sebagai kontrol beban dalam sistem monitoring konsumsi listrik secara *real-time* berbasis IoT.
- b. Untuk mengetahui tingkat akurasi dan responsivitas sistem voice command dalam mengontrol beban listrik, serta mengevaluasi akurasi pembacaan sensor dalam sistem monitoring konsumsi listrik berbasis *Internet of Things* (IoT).
- c. Untuk mengimplementasikan sistem *Voice Command* sebagai kontrol beban yang terintegrasi dengan sistem monitoring konsumsi listrik *real-time* serta perhitungan biaya menggunakan teknologi *Internet of Things*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari pembuatan Skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. Menjadi lebih mudah dan mudah bagi pengguna untuk mengontrol perangkat listrik melalui perintah suara, yang sangat membantu bagi semua pengguna, termasuk mereka yang memiliki keterbatasan mobilitas. Ini juga memungkinkan kontrol jarak jauh tanpa interaksi fisik.
- b. Meningkatkan efisiensi penggunaan energi dan penghematan biaya dengan melacak penggunaan daya, tegangan, arus, dan biaya secara real-time. Ini membantu pengguna membuat keputusan yang lebih baik tentang manajemen anggaran dan penggunaan listrik.
- c. Menggabungkan teknologi *voice command* dan *Internet of Things* untuk membantu kemajuan teknologi smart home. Ini dapat menjadi dasar pengembangan sistem kontrol perangkat elektronik dan referensi untuk penelitian di bidang ini.

1.6 Sisitematis Penulisan

Untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai penelitian ini, materi-materi yang dibahas dalam skripsi ini akan dikelompokkan ke dalam beberapa sub bab dengan penyusunan yang sistematis sebagai berikut:

1. BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini bertindak sebagai pengantar yang menyajikan gambaran umum tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, serta sistematika penulisan dalam penelitian ini.

2. BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat pembahasan teori dan referensi ilmiah yang berkaitan dengan topik penelitian, serta menjelaskan landasan ilmiah yang menjadi dasar penelitian. Dalam tinjauan pustaka, peneliti akan mengkaji berbagai literatur dari berbagai sumber untuk memperkuat argumen dan pemahaman mengenai masalah yang dibahas

3. BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan metode yang diterapkan dalam penelitian, termasuk tahapan yang diambil untuk mencapai tujuan penelitian. Metodologi penelitian meliputi pendekatan, teknik, dan prosedur yang digunakan dalam proses pengumpulan dan analisis data, sehingga hasil yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

4. BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil-hasil penelitian yang diperoleh melalui analisis data, kemudian mengulas temuan tersebut secara mendetail untuk menjawab rumusan masalah dan mencapai tujuan penelitian.

5. BAB 5 PENUTUP

Bab ini adalah bagian penutup dari skripsi yang menyajikan kesimpulan dan rekomendasi berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan. Selain itu, bab ini juga merangkum temuan utama dan memberikan saran untuk penelitian di masa depan atau penerapan praktis.

6. DAFTAR PUSTAKA

7. LAMPIRAN

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Berbagai penelitian sebelumnya telah berfokus pada pengembangan sistem pemantauan dan pengendalian konsumsi energi listrik, terutama untuk meningkatkan efisiensi dan memudahkan manajemen beban daya di lingkungan rumah tangga.

Studi dalam [3] menegaskan bahwa listrik merupakan kebutuhan dasar, khususnya untuk penerangan rumah. Mereka merancang sistem kontrol perangkat elektronik berbasis mikrokontroler yang dapat dioperasikan secara manual melalui saklar ON/OFF maupun dari ponsel pintar Android melalui koneksi internet dan Bluetooth. Sistem yang memanfaatkan modul Bluetooth HC-05, relay, dan Arduino Uno/ATmega328 ini mampu bekerja efektif dalam radius ± 15 meter. Pengujian menunjukkan kemampuan sistem dalam mengontrol lampu pijar 100 watt dengan rata-rata arus 0,46 A, daya 101,55 W, dan energi 12,25 J.

Penelitian lain [4] menawarkan konsep smart home berbasis media sosial, di mana pengendalian perangkat rumah tangga dilakukan melalui aplikasi Facebook Messenger. Sistem ini mengintegrasikan wit.ai untuk pengenalan perintah suara, yang kemudian diteruskan ke Heroku dan Firebase sebelum diproses oleh Raspberry Pi sebagai pengendali utama. Hasil pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan hingga 100% dalam mengenali dan mengeksekusi perintah suara untuk perangkat seperti lampu dan kipas.

Selanjutnya, [5] mengembangkan sistem kendali perangkat rumah tangga berbasis Android dengan koneksi WiFi menggunakan Wemos D1 sebagai pengendali utama. Sistem ini dirancang untuk mengatasi kelalaian pengguna dalam mematikan perangkat ketika meninggalkan rumah. Hasil uji coba menunjukkan pengiriman data secara real-time dengan tingkat keberhasilan 100% dan waktu tunda (delay) hanya 4–5 detik.

Pendekatan berbasis Internet of Things (IoT) juga diperlihatkan dalam penelitian [6], yang merancang sistem smart home dengan kendali suara menggunakan Google Assistant. Perintah suara diubah menjadi teks melalui IFTTT, dikirim ke broker MQTT, dan dijalankan oleh ESP32 DevKit. Sistem ini

ditujukan untuk memudahkan lansia dan penyandang disabilitas dalam mengendalikan perangkat rumah tangga, serta terbukti responsif terhadap perintah yang diberikan.

Pada sisi pemantauan energi, [7] memperkenalkan sistem monitoring listrik menggunakan sensor arus ACS712 dan sensor tegangan berbasis trafo step-down. Data pengukuran ditampilkan pada LCD 20x4 dengan tingkat galat sebesar 3% untuk arus dan 0,33% untuk tegangan. Data ini dimanfaatkan untuk menghitung konsumsi energi dalam kWh sekaligus mengestimasi biaya pemakaian listrik.

Studi [8] juga menghadirkan solusi pengendalian lampu berbasis suara menggunakan aplikasi Android. Sistem yang memanfaatkan Arduino Uno, modul relay, dan Bluetooth HC-05 ini mampu mengontrol lampu hingga jarak 15 meter tanpa hambatan, sehingga bermanfaat bagi pengguna lanjut usia dan penyandang disabilitas.

Sementara itu, penelitian pada [9] menyoroti kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap yang terhubung dengan jaringan PLN selama pandemi COVID-19. Penelitian ini menekankan peran monitoring energi berbasis IoT untuk meningkatkan efisiensi dan mendukung transisi menuju energi terbarukan.

Studi lanjutan [10] mengeksplorasi penggunaan inverter pada PLTS untuk mengoperasikan beban AC secara efisien. Pada tahun berikutnya, mereka mengembangkan sistem PLTS 200 WP dengan solar charge controller yang mampu mengoperasikan beban AC secara otomatis, mendukung distribusi dan pengendalian daya yang lebih hemat energi.

Pendekatan serupa juga dilakukan dalam [11], yang merancang sistem monitoring konsumsi energi listrik berbasis IoT menggunakan ESP32 dan sensor PZEM-004T. Sistem ini terintegrasi dengan platform Blynk untuk mengirimkan data real-time dan memberikan notifikasi ketika konsumsi listrik melewati ambang batas. Hasilnya, sistem terbukti efektif dalam membantu pengguna mengontrol beban listrik rumah tangga.

Selain itu, [12] mengusulkan pemanfaatan Google Voice Assistant untuk mengendalikan perangkat rumah tangga secara real-time. Sistem berbasis ESP8266, Firebase, dan Google Assistant ini mampu mengenali perintah suara dengan akurasi hingga 98%.

Terakhir, penelitian [13] mengembangkan sistem monitoring energi listrik berbasis IoT menggunakan NodeMCU dan sensor PZEM. Sistem ini menampilkan data melalui LCD dan aplikasi mobile, serta dilengkapi fitur pemutus daya otomatis ketika daya beban melebihi kapasitas yang ditentukan.

Dari keseluruhan penelitian tersebut, terlihat bahwa pengembangan sistem monitoring dan pengendalian konsumsi listrik mengalami kemajuan signifikan, baik melalui kendali suara, aplikasi mobile, maupun integrasi teknologi IoT. Meski demikian, integrasi menyeluruh dari ketiga aspek tersebut masih jarang ditemukan. Oleh karena itu, penelitian ini dihadirkan untuk menawarkan inovasi berupa sistem monitoring energi listrik berbasis IoT yang terintegrasi, memanfaatkan sensor PZEM-004T dan ESP32 dengan fitur kendali beban otomatis dan perintah suara, sehingga mampu bekerja secara real-time, efisien, dan menyeluruh.

2.2 Landasan Teori

Penulis membutuhkan teori yang telah disebutkan dan dievaluasi dalam penelitian sebelumnya terkait alat pemutus tegangan dengan perintah suara, serta alat monitoring pemakaian daya dan biaya listrik berbasis *IoT*. Teori-teori ini akan digunakan dalam penelitian ini agar hasilnya maksimal:

2.2.1 *Voice Command* System

Voice command, juga dikenal sebagai teknologi pengenalan suara (pengenalan kalimat atau kata), adalah sebuah sistem yang mengubah kalimat suara menjadi kode digital yang memungkinkan sistem melakukan berbagai tugas, seperti mengemudikan kendaraan, mematikan atau menghidupkan lampu, dan tugas lainnya. Beberapa sistem pengenalan suara biasanya menggunakan speaker pengenalan suara independen, sedangkan sistem pengenalan suara lainnya menggunakan pelatihan. Pelatihan melibatkan seorang pengguna membacakan teks tertentu, yang kemudian secara otomatis dimasukkan ke dalam sistem pengenalan suara[14].

2.2.1.1 Prinsip Kerja *Voice command*

Sistem *Voice Command* beroperasi melalui beberapa langkah penting yang memungkinkan perangkat memahami dan melaksanakan instruksi verbal pengguna. Berikut adalah penjelasan langkah-langkah tersebut:

1. Pengenalan Ucapan (Speech Recognition) pada tahap ini merupakan proses mengubah sinyal suara yang mengandung ucapan pengguna menjadi teks yang dapat diproses oleh sistem. Metode pengenalan ucapan menggunakan pola gelombang suara untuk menemukan kata atau frasa yang dikenal dalam basis data.
2. Pemahaman Bahasa Alami yaitu Setelah ucapan menjadi teks, sistem harus memahami arti kata-kata. Untuk memilih tindakan yang tepat, analisis konteks, struktur kalimat, dan niat pengguna diperlukan.
3. Pengelolaan Dialog (Dialog Management) adalah Sistem mengatur interaksi dengan pengguna dengan menangani percakapan terus-menerus, memberikan klarifikasi untuk perintah yang tidak jelas, dan mengatur alur dialog untuk memastikan bahwa respons yang relevan dan tepat waktu diberikan
4. Eksekusi Perintah ialah Sistem akan melakukan tindakan tertentu setelah memahami perintah, seperti mencari informasi, mengontrol perangkat keras, atau menjalankan aplikasi tertentu
5. Umpaman Balik Pengguna (User Feedback) merupakan proses untuk memastikan bahwa perintah telah diterima dan dilaksanakan dengan benar, sistem memberikan umpan balik kepada pengguna melalui tampilan visual, suara, atau tindakan lainnya.

2.2.2.2 Teknologi Pengenalan Suara

Ada banyak metode dalam teknologi pengenalan suara, termasuk *Deep Neural Networks* (DNN), *Convolutional Neural Networks* (CNN), *Recurrent Neural Networks* (RNN), dan model berbasis transformer seperti *BERT* dan *GPT*.

Dalam studi berjudul "Recent Advances in Speech Recognition Using Deep Learning Approaches" melakukan penelitian yang memberikan gambaran mendalam tentang kemajuan teknologi pengenalan suara berbasis pembelajaran

mendalam. Studi ini menekankan banyak elemen penting, seperti desain model, peningkatan akurasi, inovasi teknis, masalah yang dihadapi, dan saran untuk implementasi. Dalam hal desain, penelitian ini memperkenalkan model Transformer yang lebih baik daripada RNN konvensional. Untuk menangani sekuens audio dan mempercepat proses pelatihan, model ini menggunakan mekanisme self-attention. Untuk akurasi, metode ini berhasil mencapai tingkat ketepatan antara 95-98 persen dalam kondisi ideal dan mengurangi tingkat kesalahan kata (WER) hingga 5,1% pada dataset LibriSpeech. Selain itu, model ini menunjukkan peningkatan kinerja dalam lingkungan yang mengandung suara. Untuk meningkatkan ketepatan, metode pengenalan suara end-to-end, penggunaan kehilangan *Connectionist Temporal Classification* (CTC), dan penggabungan model bahasa adalah beberapa kemajuan teknologi yang digunakan. Namun, beberapa masalah utama ditemui dalam penelitian ini. Ini termasuk penurunan kinerja dalam lingkungan yang bising, kebutuhan komputasi yang tinggi untuk model yang kompleks, dan pelatihan memerlukan dataset berukuran besar. Penelitian ini menyarankan penggunaan model yang telah dilatih untuk digunakan secara praktis; model harus dioptimalkan untuk berjalan pada perangkat yang membutuhkan sumber daya terbatas; dan, untuk meningkatkan kinerja dalam kondisi berderau, metode pengurangan suara harus dimasukkan. Dengan hasilnya yang luas, penelitian ini akan menjadi referensi penting dalam pengembangan sistem command voice kontemporer, terutama untuk aplikasi kontrol perangkat elektronik.

2.2.2 Sistem Monitoring Listrik

Sistem monitoring adalah mekanisme yang dirancang untuk mengamati, mengukur, dan mencatat kinerja dan perilaku suatu sistem, proses, atau kegiatan dalam jangka waktu tertentu. Tujuan utama sistem pemantauan adalah untuk memastikan bahwa semua berjalan sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan, serta untuk menemukan dan mengatasi masalah yang mungkin muncul. Sistem ini dapat diterapkan dalam berbagai industri, seperti teknologi informasi, kesehatan, lingkungan, dan industri, untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas operasional.

Misalnya, dalam teknologi informasi, sistem monitoring dapat digunakan untuk memantau konsumsi listrik perangkat elektronik secara *Real-Time* dan membantu pengguna mengelola dan mengoptimalkan penggunaan energi. Dengan sistem ini, pengguna dapat mengetahui berapa banyak listrik yang digunakan oleh berbagai perangkat, menemukan pola penggunaan listrik, dan menemukan cara untuk menghemat listrik[15].



Gambar 2.1 Gambar kWh meter analog.

Sumber: [16]

Perusahaan Listrik Negara (PLN) telah menyediakan sistem monitoring melalui kWh meter listrik, dalam konteks sistem monitoring listrik, kWh meter berperan penting dalam mengukur konsumsi energi. Kwh meter analog, yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, menawarkan kesederhanaan dan ketahanan, namun memiliki keterbatasan dalam akurasi dan kemampuan real-time.



Gambar 2. 2 Gambar kWh meter digital

Sumber: [16]

Sebaliknya, kwh meter digital, dengan teknologi elektroniknya, memberikan pembacaan yang sangat akurat." Meskipun lebih rumit dan mahal, meter kilowatt-jam digital adalah pilihan yang sempurna untuk sistem pemantauan listrik yang lebih canggih karena memungkinkan pemantauan menyeluruh terhadap jumlah energi yang digunakan dan analisis pola penggunaan. kWh meter digital sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan mengoptimalkan penggunaan energi karena dapat diintegrasikan dengan sistem monitoring jarak jauh.

Sebagai bagian dari pengembangan teknologi yang bertujuan untuk mengurangi pemborosan energi yang disebabkan oleh kelalaian pengguna, peneliti membuat judul Skripsi ini sebagai solusi dari permasalahan tersebut. Alat ini dilengkapi dengan konfigurasi perintah suara yang memungkinkan penggunaanya pada jarak jauh, alat ini juga dilengkapi sistem pemantauan daya, tegangan, arus dan, biaya.

2.2.3 Sistem Pemutus Tegangan

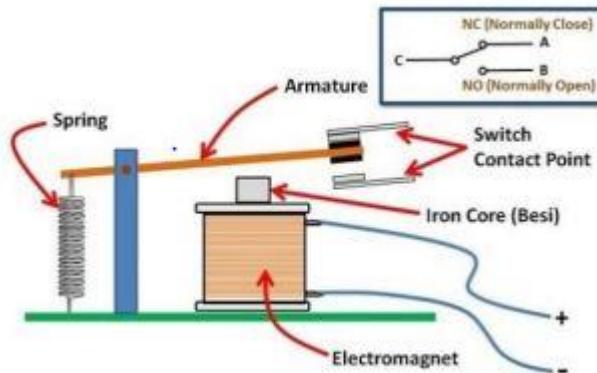
Sistem pemutus tegangan, atau lebih dikenal sebagai pemutus daya (*circuit breaker*), adalah bagian penting dari sistem kelistrikan. Berfungsi untuk memutus arus listrik ketika terjadi gangguan seperti arus hubung singkat atau kelebihan beban.

Pemutus daya biasanya digunakan dalam sistem transmisi tenaga listrik, terutama di gardu induk, untuk melindungi peralatan dari gangguan listrik. Mereka juga dapat dikendalikan dari jarak jauh, memungkinkan operator mengelola sistem kelistrikan dengan lebih efisien. Selain itu, pemutus daya juga digunakan dalam instalasi listrik rumah tangga dan komersial untuk melindungi peralatan dari kerusakan akibat arus berlebih. Dengan fungsi pentingnya dalam membantu melindungi peralatan dari gangguan listrik[17].

2.2.3.1 Relay sebagai Pemutus Tegangan

Relay adalah saklar (switch) listrik yang terdiri dari dua bagian utama: coil (elektromagnet) dan komponen mekanis (seperangkat kontak saklar/switch). Relay menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar,

sehingga mereka dapat menghantarkan listrik bertegangan lebih tinggi dengan arus listrik yang kecil (misalnya, relay dengan elektromagnet 5V dan 50 mA)[18].



Gambar 2.3 Bagian-Bagian Relay

[19]

Gambar di atas menunjukkan sebuah besi (core besi) yang dililit oleh sebuah kumparan coil yang berfungsi untuk mengontrol besi tersebut. Apabila kumparan kumparan diberikan arus listrik, gaya elektromagnet akan muncul dan menarik armature dari posisi sebelumnya (NC) ke posisi baru (NO), membuatnya menjadi saklar yang dapat menghantarkan arus listrik di posisi barunya (NO). Posisi armature sebelumnya (NC) akan tetap terbuka atau tidak terhubung, dan ketika tidak ada arus listrik, armature akan kembali ke posisi awalnya (NC). Pada umumnya, coil yang digunakan relay untuk menarik Contact Point ke Posisi Close hanya membutuhkan arus listrik yang relatif kecil[19].

Dalam sistem berbasis *voice command*, relay dapat diaktifkan berdasarkan perintah suara yang dikenali oleh sistem. Integrasi relay dengan sistem *Voice Command* memungkinkan kontrol perangkat listrik secara hands-free, yang sangat bermanfaat untuk aplikasi rumah pintar (smart home) dan industri.

2.2.4 Karakteristik Sumber PLN

Energi listrik PLN berasal dari generator alternating current (AC) pembangkit listrik, seperti pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga disel (PLTD), dan pembangkit listrik lainnya yang menghasilkan arus bolak-balik. Dengan nilai besaran dan polaritas yang selalu berubah-ubah secara periodik, listrik AC menghasilkan arus dan tegangan, yang digambarkan dalam bentuk gelombang

sinus. Berbeda dengan gelombang yang dihasilkan inverter biasanya banyak digunakan gelombang square atau segitiga[20].

Daya aktif adalah daya sebenarnya yang digunakan oleh beban yang terpasang. Ini diukur dalam satuan Watt atau Joule/detik. Persamaan untuk menghitung daya aktif adalah:

Dimana :

P = Daya Aktif(Watt)

V = Tegangan(Volt)

I = Arus(Ampere)

$\cos \theta$ = Faktor Daya

Daya reaktif adalah daya yang tidak digunakan oleh beban atau diserap tetapi dikembalikan ke sumbernya dan memiliki satuan VAR (Volt Ampere Reaktif).

Persamaan untuk menghitung daya reaktif adalah sebagai berikut:

Dimana :

Q = Daya Reaktif(VAR)

V = Tegangan(Volt)

I = Arus(Ampere)

Daya semu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut: penjumlahan trigonometri daya aktif dan daya reaktif dengan simbol S dan memiliki satuan VA .

Dimana :

S = Daya Semu(VA)

V = Tegangan(Volt)

I = Arus(Ampere)

2.2.5 Arus listrik

Menurut [21] Arus listrik atau dalam bahasa Inggris sering disebut dengan Electric Current adalah muatan listrik yang mengalir melalui media konduktor dalam tiap satuan waktu. Muatan listrik pada dasarnya dibawa oleh Elektron dan

Proton di dalam sebuah atom. Proton memiliki muatan positif, sedangkan Elektron memiliki muatan negatif. Arus listrik atau Electric Current biasanya dilambangkan dengan huruf "I" yang artinya "intensity (intensitas)". Sedangkan satuan Arus Listrik adalah Ampere yang biasa disingkat dengan huruf "A" atau "Amp".

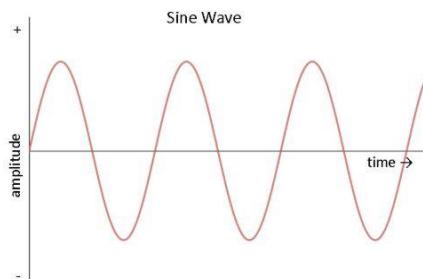
1 Ampere arus listrik dapat didefinisikan sebagai jumlah elektron atau muatan (Q atau Coulombs) yang melewati titik tertentu dalam 1 detik ($I = Q/t$). Hukum Ohm menyatakan bahwa besarnya Arus Listrik (I) yang mengalir melalui sebuah penghantar atau konduktor adalah berbanding lurus dengan beda potensial atau Tegangan (V) dan berbanding terbalik dengan hambatannya (R). Rumus Hukum Ohm adalah $I = V/R$, yang berarti bahwa besarnya arus listrik (I) yang mengalir melalui sebuah konduktor atau penghantar adalah berbanding lurus dengan perbedaan potensial atau tegangan (V) dan berbanding terbalik dengan hambatannya (R). Berikut dua jenis arus listrik berdasarkan arah aliran listriknya:

2.2.5.1 Arus Listrik Bolak Balik (*Alternating Current*)

Arus bolak-balik, juga disebut arus bolak-balik (AC), adalah arus dan tegangan listrik yang berubah secara signifikan seiring waktu dan mengalir dalam dua arah. "AC (Alternative Current)" biasanya mengacu pada gelombang yang berubah terhadap waktu dengan bentuk yang serupa dengan sinusoidal. Jenis gelombang listrik AC yang paling umum digunakan dalam elektronika adalah gelombang sinus.

Nilai ordinat sesaat arus atau tegangan terhadap waktu menciptakan bentuk gelombang sinus. Pada setiap setengah lingkaran menyeberangi garis normal di antara nilai maximum positif dan negatif terhadap waktu, gelombang AC mengubah polarisasinya secara konstan. Dengan kata lain, gelombang listrik AC adalah sinyal yang bergantung pada waktu; ini disebut gelombang periodik.

Bentuk gelombang arus bolak-balik ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



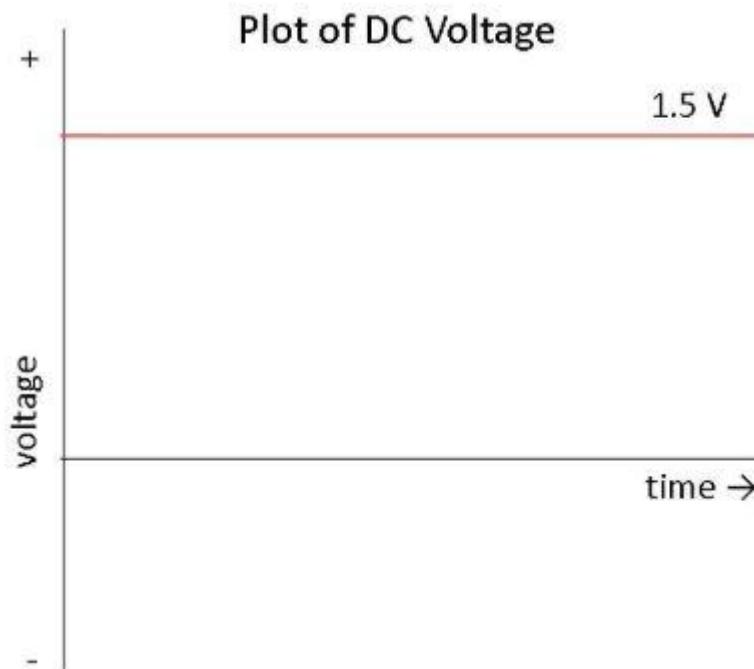
Gambar 2.4 Gelombang Arus Bolak-Balik

Sumber: [22]

2.2.5.2 Arus Listrik Searah (Direct Current)

Baik arus maupun tegangan listrik searah, juga dikenal sebagai arus listrik searah, adalah arus atau tegangan yang mengalir pada rangkaian listrik dalam satu arah saja. Baik arus maupun tegangan listrik searah memiliki besaran nilai (amplitudo) yang tetap dan arah mengalirnya yang ditentukan. Contohnya adalah +12V, yang menunjukkan 12 volt pada arah positif, dan -5V, yang menunjukkan 5 volt pada arah negatif.

Arus DC dikenal karena stabilitasnya. Nilainya tetap, dan alirannya selalu searah, menjadikannya berbeda dengan arus yang berubah-ubah. Satu-satunya cara untuk membalik arah arus DC adalah dengan mengubah sambungan fisiknya. Bentuk gelombang arus searah ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.5 Gelombang Arus Searah

Sumber: [22]

2.2.6 Beban Listrik

Setiap perangkat atau alat yang membutuhkan listrik untuk beroperasi disebut beban listrik. Jenis daya yang dikonsumsi, karakteristik beban, dan aplikasinya dalam sistem kelistrikan menentukan klasifikasi beban listrik. Tiga jenis beban listrik adalah resistif, induktif, dan kapasitif. Beban resistif hanya menggunakan daya aktif (P) dan tidak memiliki komponen daya reaktif (Q), seperti pemanas dan lampu pijar. Beban induktif memiliki komponen daya reaktif (Q) karena penggunaan induktor, seperti motor listrik dan transformator. Beban kapasitif, di sisi lain, mencakup kapasitor seperti baterai dan beberapa jenis peralatan elektronik yang memiliki kedua kemampuan untuk menyimpan dan melepaskan energi.

Menurut sifat operasionalnya, beban listrik dibagi menjadi beban tetap dan beban variabel. Beban tetap tetap dan tidak berubah seiring waktu, seperti pencahayaan jalan; beban variabel berubah karena kondisi operasional, seperti peralatan rumah tangga dan mesin industri. Selain itu, beban listrik diklasifikasikan menurut jenis penggunaannya: rumah tangga, komersial, dan industri. Perangkat rumah tangga seperti TV, kulkas, dan AC termasuk dalam kategori rumah tangga, sedangkan peralatan komersial seperti gedung perkantoran, pusat perbelanjaan, dan restoran termasuk dalam kategori komersial.

Daya aktif (P), yang digunakan perangkat untuk menghasilkan kerja nyata (watt), daya reaktif (Q), yang diserap dan dikembalikan oleh komponen induktif atau kapasitif sistem (var), dan daya semu (S), yang merupakan kombinasi dari daya aktif dan daya reaktif (VA). Rasio antara daya aktif dan daya semu, yang dikenal sebagai faktor daya ($\cos \phi$), menunjukkan efisiensi penggunaan daya listrik.

Beban listrik yang tidak terkontrol dapat memengaruhi sistem dengan berbagai cara. Salah satunya adalah penurunan tegangan karena beban yang tinggi, yang dapat mempengaruhi kinerja peralatan listrik. Selain itu, lonjakan arus yang disebabkan oleh perubahan cepat dalam beban listrik dapat menyebabkan kerusakan sistem. Dalam sistem tiga fasa, distribusi beban yang tidak merata dapat menyebabkan ketidakseimbangan fasa, yang dapat menyebabkan ketidakseimbangan tegangan dan arus produksi di manufaktur.

Memiliki pemahaman yang baik tentang beban listrik dan cara mengelolanya dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi serta mengurangi potensi

gangguan pada sistem tenaga listrik. Ini termasuk penggunaan peralatan dengan efisiensi energi tinggi, pengendalian faktor daya dengan kapasitor daya untuk mengurangi daya reaktif, dan distribusi beban yang merata untuk menghindari ketidakseimbangan sistem.

2.2.7 Tarif Listrik

Tarif Tenaga Listrik (TTL) adalah biaya yang dibayar konsumen untuk menggunakan tenaga listrik yang disediakan oleh pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (IUPTL), seperti PT PLN (Persero). Tarif ini ditetapkan oleh pemerintah pusat dan daerah berdasarkan berbagai faktor teknis dan ekonomi.

Di Indonesia, banyak peraturan, termasuk Undang-Undang No. 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan dan beberapa Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), mengatur penetapan TTL. Menurut Permen ESDM No. 10 Tahun 2021, penetapan tarif harus mempertimbangkan kebutuhan daerah, nasional, konsumen, dan penyedia listrik secara seimbang[23]. Selain itu, beberapa elemen penting yang dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

1. Kemampuan masyarakat
2. Kaidah industri dan niaga yang sehat
3. Biaya Pokok Penyediaan (BPP) tenaga listrik
4. Efisiensi pengusahaan
5. Skala pengusahaan dan interkoneksi sistem, dan
6. Ketersediaan dana investasi.

Tarif tenaga listrik (TTL) terdiri dari dua jenis:

1. Tarif reguler, yang merupakan tarif yang dibayarkan setelah penggunaan tenaga listrik;
2. Tarif prabayar, yang merupakan tarif yang dibayarkan sebelum penggunaan tenaga listrik.

Tarif tenaga listrik juga dikategorikan menurut tegangan listrik:

1. Tegangan Tinggi,
2. Tegangan Menengah,
3. Tegangan Rendah.

Kategori tarif ini mencakup berbagai kebutuhan, seperti layanan sosial, rumah tangga, bisnis, dll. Untuk rumah tangga, misalnya:

1. R-1/TR memiliki kapasitas kecil (450 VA hingga 2200 VA),
 2. R-2/TR memiliki kapasitas menengah (3500 VA hingga 5500 VA), dan
 3. R-3/TR memiliki kapasitas besar (6600 VA atau lebih).

2.2.7.1 Perhitungan Tarif Listrik

Konsumsi listrik dihitung berdasarkan daya dari peralatan yang digunakan dan lama penggunaannya. Rumus dasar untuk menghitung konsumsi listrik adalah:

Konsumsi Listrik (kWh)=

Setelah mengetahui jumlah kilowatt-jam yang digunakan, Anda dapat menggunakan rumus berikut untuk menghitung biaya listrik:

Biaya Listrik = Konsumsi Listrik (kWh) \times Tarif Listrik (Rp/kWh)

Untuk menghitung biaya bulanan, kalikan biaya harian dengan jumlah hari dalam sebulan (misalnya, 30 hari):

Dengan mengikuti langkah-langkah di atas, Anda dapat menghitung biaya listrik secara akurat berdasarkan penggunaan harian dan tarif yang berlaku untuk golongan Anda. Ini membantu dalam mengelola pengeluaran dan mengawasi penggunaan listrik.

2.2.7.2 Regulasi Tarif Listrik

Menurut pasal 2 UU No 30 Tahun 2009 tentang ketenagalistrikan, pembangunan, tujuan ketenagalistrikan adalah untuk menjamin ketersediaan tenaga listrik dalam jumlah yang cukup, kualitas yang baik, dan harga yang wajar dalam rangka meningkatkan kesejahteraan dan kemakmuran rakyat secara adil dan merata serta mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan.

Menurut UU No. 20 tahun 2002, harga jual tenaga listrik untuk pembangkit tenaga listrik, serta harga jual tenaga listrik untuk konsumen tegangan tinggi dan

menengah diatur oleh Badan Pengawas Pasar Tenaga Listrik dan didasarkan pada kompetisi yang wajar dan sehat.

Menurut UU Tahun 2009, pemerintah atau pemerintah daerah yang berwenang menetapkan harga jual dan sewa jaringan tenaga listrik berdasarkan prinsip usaha yang sehat[24].

Pemerintah Indonesia menetapkan tarif listrik melalui Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) dan Perusahaan Listrik Negara (PLN). Tarif ini juga dapat berubah sesuai dengan kondisi ekonomi, harga energi di pasar global, dan kebijakan subsidi energi nasional[23].

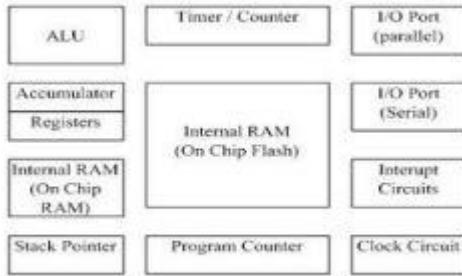
2.2.8 Mikrokontroller

Menurut [25] Mikrokontroler adalah sebuah chip berbentuk IC (Integrated Circuit) yang berfungsi sebagai "otak" dalam suatu perangkat elektronik. Chip ini dapat menerima sinyal dari sensor sebagai input, mengolahnya, lalu mengirimkan sinyal output ke aktuator agar perangkat dapat berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya.

Secara sederhana, mikrokontroler bisa dianggap sebagai komputer mini dalam satu chip. Di dalamnya terdapat mikroprosesor, memori, jalur input/output (I/O), serta komponen pendukung lainnya. Namun, dibandingkan dengan PC, kecepatan pemrosesan data mikrokontroler jauh lebih rendah. Jika prosesor pada PC modern sudah mencapai kecepatan dalam skala GHz, mikrokontroler umumnya beroperasi pada kisaran 1–16 MHz. Begitu juga dengan kapasitas RAM dan ROM, di mana PC dapat memiliki penyimpanan hingga gigabyte, sedangkan mikrokontroler biasanya hanya dalam skala byte atau kilobyte.

Dalam hal pemrograman, mikrokontroler menggunakan bahasa assembly yang berbasis pada prinsip digital dasar. Bahasa ini cukup sederhana karena memungkinkan akses langsung terhadap parameter input dan output tanpa perlu banyak perintah tambahan. Hal ini membuat sistem yang berbasis mikrokontroler lebih mudah diprogram sesuai dengan logika yang diinginkan.

2.2.8.1 Struktur Mikrokontroller



Gambar 2.6 Diagram Struktur Mikrokontroller

[25]

Dalam diagram struktur mikrokontroler, terdapat tiga jenis bus utama, yaitu address bus, data bus, dan control bus, yang masing-masing memiliki peran penting dalam komunikasi data. Mikrokontroler juga terdiri dari beberapa komponen utama dengan fungsi berbeda:

1. Register

Register adalah tempat penyimpanan sementara untuk data dalam bentuk bilangan 8 atau 16 bit. Ada dua jenis register:

- Register khusus, seperti register timer untuk menghitung pulsa dan register mode operasi counter.
- Register umum, yang digunakan untuk menyimpan data sementara dalam proses perhitungan atau operasi mikrokontroler. Karena mikrokontroler hanya bisa melakukan operasi aritmetika atau logika pada satu atau dua variabel sekaligus, register umum sangat penting untuk menangani lebih banyak variabel dalam suatu operasi.

2. Accumulator

Accumulator adalah salah satu register khusus yang berfungsi menyimpan hasil operasi aritmetika dan logika dalam mikrokontroler.

3. Program Counter

Register khusus yang berfungsi sebagai pencacah atau penghitung instruksi program yang sedang dieksekusi oleh mikrokontroler.

4. ALU (Arithmetic and Logic Unit)

ALU bertugas melakukan berbagai operasi matematika seperti penjumlahan, pengurangan, perkalian, dan pembagian, serta operasi logika seperti AND, OR, XOR, dan NOT, semuanya dalam format bilangan 8 atau 16 bit.

5. Clock Circuit

Mikrokontroler bekerja secara sinkron dengan bantuan **“clock circuit”**, yang bertindak sebagai pengatur waktu agar semua proses berjalan dengan terkoordinasi.

6. Internal ROM (Read-Only Memory)

ROM adalah memori yang berisi program utama yang dieksekusi saat mikrokontroler dinyalakan. Data di dalam ROM bersifat permanen dan tidak akan hilang meskipun daya dimatikan.

7. Internal RAM (Random Access Memory)

RAM digunakan untuk menyimpan data sementara, seperti variabel dan register. Berbeda dengan ROM, data dalam RAM bisa diubah, tetapi akan hilang ketika daya dimatikan

8. Stack Pointer

Stack adalah bagian dari RAM yang memiliki metode penyimpanan khusus. Data terakhir yang masuk ke stack akan menjadi data pertama yang diambil kembali (prinsip LIFO – Last In, First Out). Stack Pointer menyimpan informasi tentang lokasi terakhir data dalam stack.

9. I/O (Input/Output) Port

Port I/O berfungsi sebagai penghubung mikrokontroler dengan perangkat eksternal. Melalui port ini, mikrokontroler bisa menerima data dari sensor atau mengirim sinyal ke perangkat lain.

10. Interrupt Circuits

Interrupt Circuits memungkinkan mikrokontroler untuk menangani tugas-tugas mendesak dengan cara menghentikan sementara eksekusi program utama dan menjalankan sub-program tertentu. Interupsi bisa berasal dari dalam (internal) atau luar (eksternal).

Tidak semua mikrokontroler memiliki struktur yang sama. Beberapa jenis mikrokontroler dilengkapi dengan fitur tambahan seperti *ADC (Analog to Digital*

Converter) untuk membaca sinyal analog atau port I/O serial untuk komunikasi dengan perangkat lain selain port paralel yang umum digunakan.

2.2.8.2 Jenis Jenis Mikrokontroller

Mikrokontroler adalah sebuah komputer mini dalam satu chip yang dirancang untuk mengontrol berbagai perangkat elektronik. Di dalamnya terdapat unit pemrosesan pusat (CPU), memori, serta antarmuka input/output (I/O) yang memungkinkan komunikasi dengan perangkat eksternal. Berikut adalah beberapa jenis mikrokontroler yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi:

1. Mikrokontroler AVR

Mikrokontroler AVR dikembangkan oleh Atmel (sekarang bagian dari Microchip Technology). Menggunakan arsitektur RISC (Reduced Instruction Set Computing), AVR menawarkan pemrosesan yang lebih cepat dengan konsumsi daya yang efisien. Salah satu contoh paling populer adalah ATmega328, yang menjadi otak di balik platform Arduino.

2. Mikrokontroler PIC

PIC (Peripheral Interface Controller) merupakan keluarga mikrokontroler dari Microchip Technology. Keunggulannya terletak pada efisiensi daya dan fleksibilitas, sehingga dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari yang sederhana hingga kompleks. Mikrokontroler PIC juga banyak digunakan dalam pengendalian sensor dan aktuator.

3. Mikrokontroler ARM

Berbasis arsitektur ARM (Advanced RISC Machine), mikrokontroler ini dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan kinerja tinggi dan efisiensi daya optimal. Seri ARM Cortex-M sering digunakan dalam sistem tertanam, seperti perangkat *IoT* (Internet of Things) dan sistem otomasi industri.4. Mikrokontroler

4. Mikrokontroler ESP (Espressif Systems)

ESP, seperti ESP8266 dan ESP32, merupakan mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems dan populer di bidang *IoT*. ESP32 memiliki fitur konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth, sehingga cocok untuk perangkat pintar. Selain itu, ESP juga mendukung berbagai platform pemrograman, seperti Arduino IDE, MicroPython, dan PlatformIO.

5. Mikrokontroler 8051

Mikrokontroler 8051 adalah salah satu jenis klasik yang dikembangkan oleh Intel. Walaupun sudah lama hadir di industri, arsitekturnya tetap digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan sistem tertanam karena keandalan dan kemudahannya dalam pengoperasian. Beberapa produsen, seperti Atmel dan NXP, masih memproduksi varian 8051 dengan fitur yang telah diperbarui.

6. Mikrokontroler STM32

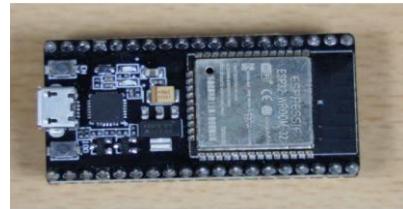
STM32 adalah keluarga mikrokontroler berbasis ARM Cortex-M yang dikembangkan oleh STMicroelectronics. Dikenal dengan kinerja tinggi, fitur canggih, dan konsumsi daya yang rendah, STM32 sering digunakan dalam bidang robotika, sistem kendali, dan perangkat medis.

Pemilihan jenis mikrokontroler yang tepat bergantung pada kebutuhan spesifik dari aplikasi yang akan dikembangkan. Faktor-faktor seperti kecepatan pemrosesan, konsumsi daya, kompatibilitas dengan sensor dan aktuator, serta dukungan komunitas dan perangkat lunak perlu dipertimbangkan agar dapat memilih mikrokontroler yang paling sesuai dengan kebutuhan proyek.

2.2.9 NodeMCUEsp32

NodeMCU adalah *platform IoT* berbasis open source yang menggunakan *chip* ESP32 buatan *Espressif System. Board* ini berfungsi sebagai mikrokontroler sekaligus memiliki kemampuan koneksi internet melalui WiFi dan Bluetooth. Bisa dibilang, NodeMCU adalah papan pengembang dari ESP32 yang dilengkapi beberapa pin *input* dan *output* (I/O), sehingga cocok digunakan untuk aplikasi monitoring maupun kontrol perangkat[26].

ESP32 sendiri merupakan modul yang mampu menghubungkan mikrokontroller ke jaringan WiFi, baik sebagai hosting aplikasi maupun sebagai perangkat yang mentransfer fungsi jaringan ke aplikasi lain. Penggunaan ESP32 sangat erat kaitannya dengan konsep *Internet of Things (IoT)*, di mana pengguna bisa memantau dan mengendalikan perangkat secara Nirkabel melalui jaringan internet. Jaringan yang digunakan dapat disesuaikan dengan kebutuhan, memberikan fleksibilitas serta keamanan bagi pengguna dalam sistem kendali jarak jauh.



Gambar 2.7 ESP32 DevkitC

Sumber: [26]

2.2.10 Buzzer

Buzzer adalah komponen elektronik yang berfungsi mengubah getaran listrik menjadi suara. Cara kerjanya mirip dengan loudspeaker, di mana di dalamnya terdapat kumparan yang terpasang pada diafragma. Ketika arus listrik mengalir melalui kumparan, ia berubah menjadi elektromagnet yang dapat bergerak masuk atau keluar, tergantung pada arah arus dan polaritas magnetnya. Gerakan ini membuat diafragma bergetar, yang pada akhirnya menghasilkan suara[27].

Buzzer sering digunakan sebagai indikator dalam berbagai perangkat, misalnya sebagai penanda bahwa suatu proses telah selesai atau sebagai alarm ketika terjadi kesalahan pada sistem.



Gambar 2.8 Buzzer

Sumber: [27]

2.2.11 Sensor PZEM-004T

PZEM-004T adalah modul elektronik yang dirancang untuk mengukur berbagai parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, frekuensi, energi, dan faktor daya. Dengan fitur-fitur ini, modul PZEM-004T sangat cocok digunakan dalam proyek atau eksperimen yang berkaitan dengan pemantauan daya listrik, baik di rumah maupun di gedung. Modul ini diproduksi oleh Peacefair dan tersedia dalam dua varian, yaitu model 10A dan 100A. PZEM-004T dapat dihubungkan dengan

NodeMCU atau platform open-source lainnya untuk membaca data pengukuran secara real-time. Secara fisik, modul ini berukuran 3,1 x 7,4 cm dan dilengkapi dengan kumparan trafo arus berdiameter 3mm, yang mampu mengukur arus hingga 100A[27].

Agar dapat berfungsi, PZEM-004T perlu dihubungkan ke sumber tegangan AC sehingga dapat menghitung daya dan energi listrik yang dikonsumsi. Berdasarkan datasheet, modul ini bekerja pada tegangan 80–260V AC, dengan daya maksimal 100A/22.000W, dan frekuensi operasi 45–65Hz.



Gambar 2.9 Sensor PZEM-004T

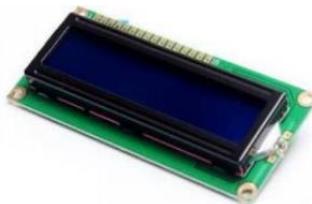
Sumber: [27]

2.2.12 LCD 12 × 6

LCD (Liquid Crystal Display) adalah salah satu teknologi tampilan yang kini semakin banyak digunakan, menggantikan layar CRT (Cathode Ray Tube) yang telah lama dipakai untuk menampilkan gambar atau teks, baik dalam format monokrom (hitam-putih) maupun berwarna. Dibandingkan dengan CRT, teknologi LCD memiliki banyak keunggulan. CRT sendiri adalah tabung triode yang digunakan sebelum transistor ditemukan, sementara LCD memanfaatkan kristal cair dari bahan seperti silikon atau galium untuk memancarkan cahaya[27].

Pada layar LCD, setiap tampilan terdiri dari susunan dua dimensi piksel yang tersusun dalam baris dan kolom. Di setiap titik pertemuan baris dan kolom, terdapat lapisan latar belakang (backplane) yang berupa lempengan kaca dengan lapisan elektroda transparan di bagian dalamnya. Dalam kondisi normal, cairan kristal dalam layar LCD tampak terang. Namun, ketika tegangan diterapkan antara bidang latar dan pola elektroda di sisi dalam kaca depan, cairan pada area tertentu akan

berubah warna menjadi hitam, sehingga membentuk gambar atau teks yang terlihat di layar.



Gambar 2.10 LCD 12 × 6

Sumber: [27]

2.2.13 Modul Relay 4 Channel

Modul relay 4 channel adalah perangkat elektronik yang berisi empat relay yang bisa dikendalikan secara terpisah. Sederhananya, modul ini berfungsi sebagai saklar yang dapat menghubungkan dan memutus aliran listrik, tetapi dikendalikan oleh sinyal dari mikrokontroler seperti Arduino. Dengan modul ini, Anda bisa mengontrol peralatan listrik dengan tegangan dan arus yang lebih tinggi tanpa harus langsung membebani mikrokontroler.

Fungsi relay ini yaitu memungkinkan Anda menyalakan atau mematikan perangkat listrik AC maupun DC yang memiliki tegangan dan arus lebih tinggi dari yang bisa ditangani langsung oleh mikrokontroler. Relay berfungsi sebagai pemisah antara sirkuit kontrol (mikrokontroler) dan sirkuit daya (peralatan listrik), sehingga melindungi mikrokontroler dari risiko kerusakan akibat tegangan atau arus tinggi.

Modul relay 4 channel ini dilengkapi dengan Empat relay independen dengan kontak Normally Open (NO) dan Normally Closed (NC), LED yang menunjukkan apakah masing-masing relay dalam keadaan aktif atau tidak, Terminal untuk menghubungkan sirkuit kontrol dan sirkuit daya.

Cara kerja relay ini sendiri mengirimkan sinyal kontrol kepada mikrokontroler mengirimkan sinyal tegangan rendah ke modul relay. Sinyal ini mengaktifkan transistor yang mengendalikan kumparan relay. Kumparan yang aktif akan menggerakkan kontak relay, menghubungkan atau memutus aliran listrik ke peralatan yang dikendalikan.



Gambar 2.11 Modul Relay 4 Channel

Sumber: [28]

2.2.14 Arduino Ide

Arduino IDE adalah sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk memprogram Arduino dengan cara yang sederhana dan intuitif. *Software* ini dibuat menggunakan bahasa pemrograman Java dan dilengkapi dengan library C/C++ (Wiring), yang mempermudah proses pengolahan input dan output pada Arduino.

Di dalam setiap board Arduino terdapat mikrokontroler yang sudah diprogram dengan bootloader. Bootloader ini berfungsi sebagai perantara antara compiler Arduino dan mikrokontroler, sehingga kita bisa langsung mengunggah program tanpa perlu menggunakan alat pemrograman tambahan[29].



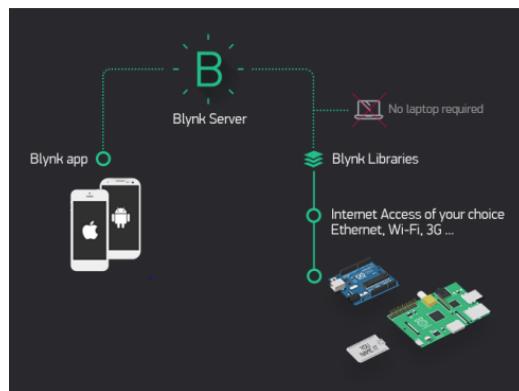
Gambar 2.12 Sofware Arduino Ide

Sumber: [30]

Program yang kita tulis menggunakan Arduino IDE disebut sketch. Sketch ini dibuat dalam editor teks bawaan dan disimpan dalam file dengan ekstensi.ino. Dengan Arduino IDE, kita bisa menulis, mengedit, dan mengunggah kode ke board Arduino dengan mudah, menjadikannya alat yang sangat populer di kalangan pengembang dan penggemar elektronika.

2.2.15 Aplikasi Blynk

Blynk adalah aplikasi yang dirancang untuk iOS dan Android yang memungkinkan pengguna mengontrol perangkat seperti Arduino, NodeMCU, dan Raspberry Pi melalui internet. Dengan Blynk, kita bisa mengendalikan perangkat keras, menampilkan data dari sensor, menyimpan informasi, serta melakukan visualisasi dengan cara yang praktis dan fleksibel[31].



Gambar 2.13 Blynk

Sumber: [31]

Aplikasi ini terdiri dari tiga komponen utama: Aplikasi, Server, dan Libraries. Blynk Server berperan sebagai penghubung utama yang menangani komunikasi antara smartphone dan perangkat keras. Dalam aplikasinya, tersedia berbagai widget yang bisa digunakan, seperti Button, Value Display, History Graph, Twitter, dan Email, yang memudahkan dalam mengontrol dan memonitor perangkat.

Blynk tidak terbatas pada jenis mikrokontroler tertentu, tetapi perangkat yang digunakan harus mendukung sistemnya. Sebagai contoh, NodeMCU menggunakan koneksi internet melalui WiFi dan chip ESP8266 untuk terhubung ke Blynk, sehingga perangkat bisa dikendalikan secara online dan siap digunakan dalam berbagai proyek *Internet of Things (IoT)*. Adaptor 5V adalah perangkat yang berfungsi untuk mengubah tegangan listrik dari sumber PLN (220V AC) menjadi

tegangan searah (DC) sebesar 5 volt. Perangkat ini banyak digunakan untuk memberi daya pada berbagai alat elektronik berdaya rendah, seperti perangkat *IoT*, sensor, atau modul mikrokontroler.

2.2.16 Aplikasi *IFTTT*

IFTTT adalah singkatan dari "If This Then That", sebuah layanan otomatisasi yang memungkinkan berbagai layanan internet bekerja sama secara terpadu. Konsep dasarnya sederhana: "Jika terjadi A, maka lakukan B". Dengan *IFTTT*, kita bisa menghubungkan berbagai aplikasi dan perangkat pintar untuk menjalankan tugas-tugas otomatis. Misalnya, kita bisa mengatur agar lampu pintar menyala otomatis saat matahari terbenam, atau menerima notifikasi ketika ada email penting[29].

Tak hanya untuk layanan berbasis web, *IFTTT* juga bisa digunakan untuk mengontrol perangkat yang terhubung ke internet, seperti termostat, lampu pintar, atau perangkat rumah tangga lainnya. Selain itu, *IFTTT* mendukung Webhooks, yang memungkinkan integrasi dengan berbagai sistem, termasuk voice control untuk membangun smart home yang lebih interaktif dan nyaman.



Gambar 2.14 Google Asisstant

Sumber: [32]

2.2.17 Google Asistant

Google Assistant adalah salah satu asisten virtual paling populer saat ini yang dikembangkan oleh Google dan didukung oleh teknologi kecerdasan buatan (AI).

Pertama kali diperkenalkan pada Mei 2016, asisten pintar ini tersedia di berbagai perangkat, mulai dari ponsel pintar hingga perangkat rumah pintar[33].

Sebagai asisten digital, *Google Assistant* dapat membantu pengguna dalam banyak hal, seperti mencari informasi, mengatur jadwal, mengirim pesan, hingga mengontrol perangkat rumah pintar. Mahasiswa adalah salah satu kelompok yang sering memanfaatkannya, terutama untuk mendukung aktivitas perkuliahan. Bagi mahasiswa, *Google Assistant* bisa menjadi alat yang sangat berguna, mulai dari membantu mencari referensi tugas, mengingatkan jadwal kuliah, hingga memberikan informasi secara cepat dan akurat. Selain itu, tanpa disadari, asisten virtual ini juga bisa membantu mengurangi beberapa tantangan yang dihadapi mahasiswa, seperti mengatur waktu lebih efektif dan mengelola tugas dengan lebih baik.



Gambar 2.15 Google Assistant

Sumber: [34]

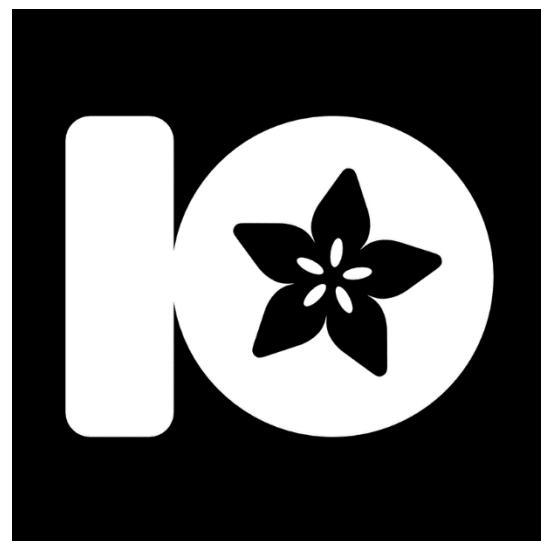
2.2.18 Adafruit IO

Adafruit.io adalah layanan berbasis cloud yang dikelola secara otomatis, sehingga pengguna tidak perlu repot mengatur sendiri. Layanan ini dapat diakses melalui internet dan berfungsi utama untuk menyimpan serta mengambil data, namun juga mendukung banyak fitur lainnya.

Adafruit.io memungkinkan proyek kita untuk menampilkan data secara langsung, menghubungkan perangkat ke internet agar bisa membaca data dari sensor, mengendalikan motor, serta terintegrasi dengan layanan web populer seperti

Google Assistant, Gmail, Twitter, RSS, dan informasi cuaca. Selain itu, sistem ini juga bisa dihubungkan dengan perangkat lain yang memiliki koneksi internet.

Dashboard Adafruit IO terdiri dari blok-blok yang bisa digunakan untuk menampilkan data *IoT* atau menerima input dari pengguna. Dashboard ini bisa diakses melalui browser biasa, sehingga perangkat apa pun dapat menggunakannya. Ini menjadi solusi praktis dibandingkan membuat aplikasi khusus untuk perangkat seluler yang rumit dan memakan waktu[12].



Gambar 2.16 Adafruit IO

Sumber: [35]

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan selama 6 bulan 19 hari, yaitu dari 11 Januari 2025 hingga 9 Agustus 2025. Penelitian dimulai dengan persetujuan proposal Skripsi, tinjauan pustaka, perancangan dan pembuatan alat, hasil dan pembahasan dan terakhir penutup. Penelitian ini dilakukan di Jln. Marelan VI Pasar II Timur, Gg. Kembar.

3.2 Bahan dan Alat

Berikut ini adalah bahan dan peralatan yang digunakan untuk merancang dan membuat alat dalam penelitian ini:

a. Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler ESP32 Adalah Sistem Espressif mengembangkan ESP32, mikrokontroler System on Chip (SoC). Dilengkapi dengan prosesor dual-core 32-bit LX6, mikrokontroler ini memiliki fitur yang lengkap dan harga yang terjangkau, sehingga banyak digunakan dalam berbagai proyek elektronik, terutama yang berkaitan dengan *Internet of Things (IoT)*. Mikrokontroler ini juga mendukung Wi-Fi (802.11 b/g/n) dan Bluetooth (Bluetooth Classic dan Bluetooth Low Energy/BLE), dan memungkinkan pemrosesan tugas yang kompleks.

b. Sensor PZEM004T

Sensor yang digunakan yaitu sensor PZEM004T, Sensor PZEM004T adalah modul pengukuran daya AC yang sangat populer di kalangan penghobi elektronik dan profesional karena dapat memantau parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, frekuensi, faktor daya, dan energi yang dikonsumsi. Ini bekerja dengan komunikasi serial TTL, yang membuatnya mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti Arduino, ESP32, atau Raspberry Pi. Selain itu, dilengkapi dengan transformator arus (CT) untuk mengukur arus tanpa memotong kabel. Sensor foto tomografi (CT) yang bisa dibuka dan (CT) tidak bisa dibuka terdiri dari dua kategori ini. Namun, sensor ini memiliki

rentang pengukuran tegangan dari 80 hingga 260V dan arus hingga 100A (tergantung pada CT yang digunakan).

c. LCD 16×2

Lcd yang digunakan dalam penelitian ini adalah LCD 16×2 i2c, LCD 12×6 i2c merupakan modul display yang biasanya digunakan dalam proyek elektronika, LCD 16x2 adalah modul display yang dapat menampilkan 16 karakter dalam dua baris. LCD ini sering digunakan untuk menampilkan informasi sederhana seperti teks, angka, dan simbol. Protokol komunikasi serial I2C memungkinkan mikrokontroler berkomunikasi dengan perangkat lain hanya dengan menggunakan hanya satu modul.

d. Buzzer

Buzzer 5V aktif adalah komponen elektronik yang dapat mengeluarkan suara ketika diberi tegangan 5V DC. Buzzer ini termasuk jenis buzzer aktif, yang berarti sudah memiliki rangkaian osilator di dalamnya, sehingga bisa langsung berbunyi tanpa perlu sinyal tambahan dari luar. Buzzer ini bekerja pada tegangan 5V DC dan menghasilkan suara dengan frekuensi tetap, biasanya sekitar 2–4 kHz. Penggunaannya sangat mudah cukup diberi tegangan 5V, dan buzzer akan langsung berbunyi. Komponen ini sering digunakan dalam berbagai aplikasi seperti alarm sederhana, indikator suara dalam proyek elektronik, sebagai notifikasi dalam sistem berbasis mikrokontroler. Karena kemudahan dan kepraktisannya, buzzer 5V aktif menjadi pilihan populer dalam berbagai sistem yang membutuhkan peringatan suara.

e. LED

LED banyak digunakan sebagai indikator pada perangkat elektronik karena konsumsi dayanya yang rendah, umur pakainya yang panjang, dan kemampuannya menampilkan berbagai warna. Sebagai penanda status, LED memberikan informasi visual yang jelas dan mudah dipahami oleh pengguna, sehingga memudahkan dalam memantau kondisi suatu perangkat. Dalam penelitian ini, LED berfungsi sebagai indikator untuk menunjukkan apakah relay dalam keadaan menyala atau mati. Jika LED menyala, itu menandakan relay aktif, sedangkan jika LED mati, berarti relay tidak terhubung.

f. Kabel Jumper

Kabel jumper adalah salah satu komponen penting dalam proyek *IoT* dan Arduino. Fungsinya adalah untuk menghubungkan berbagai komponen elektronik, baik antar sesama komponen maupun ke papan pengembangan seperti Arduino atau breadboard. Dengan kabel jumper, Anda dapat merancang dan menguji rangkaian sementara tanpa perlu menyolder, sehingga proses pengembangan menjadi lebih cepat dan fleksibel. Ini memungkinkan Anda untuk bereksperimen dengan berbagai konfigurasi rangkaian dengan mudah.

Kabel jumper tersedia dalam tiga jenis utama:

1. Male-to-Male (M-M)

- Memiliki konektor pin jantan di kedua ujungnya.
- Digunakan untuk menghubungkan dua titik pada breadboard atau papan Arduino.

2. Male-to-Female (M-F)

- Salah satu ujungnya memiliki konektor pin jantan, sementara ujung lainnya memiliki konektor soket betina.
- Cocok untuk menghubungkan pin jantan pada papan Arduino atau komponen ke breadboard atau

3. Female-to-Female (F-F)

- Memiliki konektor soket betina di kedua ujungnya.
- Biasanya digunakan untuk menghubungkan dua soket betina pada modul atau papan pengembangan.

Karena fleksibilitasnya, kabel jumper menjadi komponen yang wajib dimiliki dalam berbagai eksperimen dan pengembangan proyek elektronik.

g. Adaptor 5v

Dalam penelitian ini, adaptor 5V berperan penting dalam menurunkan dan menstabilkan tegangan dari 220V AC menjadi 5V DC, sehingga dapat digunakan untuk memasok daya ke komponen-komponen yang membutuhkan tegangan rendah secara aman dan stabil

h. Box X6

Box X6 merupakan kotak pelindung dengan dimensi 18 x 11 x 6 cm yang terbuat dari plastik berkualitas tinggi dan berwarna hitam pekat. Pada penelitian

ini, Box X6 difungsikan sebagai tempat untuk menyimpan dan menata komponen utama sistem, seperti mikrokontroler ESP32, sensor PZEM-004T, modul relay, serta kabel-kabel penghubung lainnya. Kehadiran box ini bertujuan untuk melindungi rangkaian dari gangguan fisik seperti debu, percikan air, maupun benturan ringan. Selain itu, bentuknya yang kokoh dan ringkas memberikan kesan rapi dan profesional pada sistem, serta mempermudah proses pemasangan alat di berbagai lokasi. Dengan demikian, Box X6 tidak hanya memberikan perlindungan fisik, tetapi juga menunjang kepraktisan dan keandalan sistem monitoring dan kendali berbasis *Internet of Things (IoT)* secara keseluruhan.

i. Tang Potong

Tang potong adalah salah satu perkakas tangan yang dirancang khusus untuk memotong berbagai jenis kawat, kabel, dan material lunak lainnya. Alat ini sering digunakan dalam pekerjaan listrik maupun perbaikan. Ada beberapa jenis tang potong, seperti tang potong diagonal, tang potong samping, tang potong kabel, dan tang potong besi. Masing-masing jenis memiliki fungsi spesifik sesuai dengan kebutuhan penggunaannya. Dalam penelitian ini, tang potong digunakan untuk memotong kabel yang diperlukan dalam proses percobaan atau instalasi.

j. Kabel cok

Kabel daya, atau yang lebih dikenal sebagai kabel listrik, berfungsi sebagai penghantar arus listrik dari sumber tegangan, seperti stopkontak, ke berbagai perangkat elektronik agar dapat beroperasi dengan baik. Terdapat berbagai jenis kabel daya yang dirancang sesuai dengan kebutuhan daya dan jenis perangkat yang digunakan. Pemilihan kabel yang tepat sangat penting untuk memastikan aliran listrik yang stabil dan aman. Dalam penelitian ini, kabel daya memiliki peran krusial dalam menyalurkan energi listrik dari stopkontak ke berbagai peralatan, seperti PZEM-004T dan relay, sehingga perangkat tersebut dapat berfungsi dengan optimal.

k. Solder

Solder merupakan alat pemanas yang berfungsi untuk melelehkan timah solder yakni paduan logam dengan titik leleh rendah yang juga dikenal sebagai tenol

atau timah patri sehingga dapat digunakan untuk menyatukan dua bagian logam, terutama dalam pekerjaan elektronika. Proses ini dikenal dengan istilah penyolderan. Tujuan utama penggunaan solder adalah untuk membentuk sambungan yang kuat dan stabil antara komponen elektronik atau logam lainnya.

l. Timah Solder

Timah solder, yang sering disebut juga tenol atau timah patri, merupakan campuran logam dengan titik leleh rendah yang berfungsi sebagai bahan pengisi untuk menggabungkan dua atau lebih bagian logam, terutama dalam bidang elektronika. Fungsi utama timah solder adalah sebagai media penyambung yang akan mencair ketika dipanaskan oleh alat solder, lalu mengeras kembali untuk membentuk sambungan yang kuat dan mampu menghantarkan arus listrik.

m. Gerinda

Gerinda merupakan mesin perkakas yang dimanfaatkan untuk kegiatan memotong, menghaluskan, mengasah, atau mengikis permukaan material dengan memanfaatkan roda gerinda (batu gerinda) sebagai alat potong utama. Roda gerinda ini tersusun dari butiran abrasif yang direkatkan dan berputar sangat cepat untuk mengikis bagian dari benda kerja. Dalam penelitian ini, gerinda digunakan sebagai alat untuk memotong box sistem agar hasil potongannya lebih rapi dan presisi.

n. Bor

Bor adalah alat perkakas yang digunakan untuk membuat lubang berbentuk bulat pada berbagai jenis material. Proses pelubangan dilakukan dengan memutar mata bor sebagai alat potong, kemudian menekannya ke permukaan benda kerja. Jenis material yang dapat dibor sangat beragam, seperti kayu, logam, plastik, beton, hingga keramik, tergantung pada jenis dan kemampuan mata bor yang digunakan. Dalam penelitian ini, bor dimanfaatkan untuk membuat lubang secara lebih rapi dan presisi pada bagian tertentu dari sistem.

o. Telepon Seluler

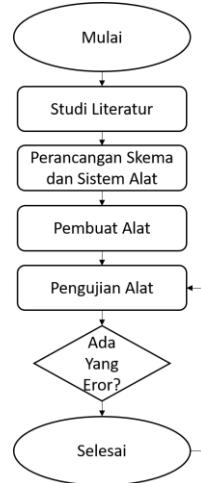
Telepon seluler (ponsel) merupakan perangkat komunikasi nirkabel yang memiliki peran penting dalam sistem pemantauan dan pengendalian berbasis *Internet of Things (IoT)* pada penelitian ini. Ponsel dimanfaatkan untuk

membuka aplikasi Blynk, yang berfungsi menampilkan data parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, energi, serta estimasi biaya secara langsung dan waktu nyata (real-time). Selain sebagai alat monitoring, ponsel juga digunakan untuk mengendalikan sistem melalui antarmuka digital seperti tombol reset energi, serta menjalankan perintah suara menggunakan layanan Google Assistant. Dalam mendukung fungsi perintah suara ini, ponsel terintegrasi dengan platform *IFTTT* dan Adafruit IO, yang berperan dalam mengirimkan instruksi ke mikrokontroler ESP32. Oleh karena itu, ponsel berperan ganda sebagai alat pemantau dan pengendali, sekaligus sebagai perantara antara pengguna dan sistem cloud, sehingga menjadi bagian krusial dalam penerapan sistem otomatis berbasis *IoT* yang responsif dan mudah digunakan.

3.3 Tahap Penelitian

Dalam proses pengembangan alat pemutus tegangan berbasis perintah suara pada sistem monitoring penggunaan tegangan, daya, arus, dan biaya pada peralatan rumah tangga, dilakukan melalui empat tahapan utama. Tahap pertama merupakan studi literatur, yaitu kegiatan pencarian dan telaah referensi yang relevan terkait sistem pemutusan tegangan berbasis perintah suara, khususnya pada sistem monitoring peralatan rumah tangga berbasis *Internet of Things (IoT)*. Tahap kedua adalah perancangan skema sistem secara keseluruhan, yang mencakup integrasi antara komponen perangkat keras dan perangkat lunak. Selanjutnya, tahap ketiga adalah perancangan dan perakitan perangkat keras (hardware) yang terdiri dari modul NodeMCU ESP32, sensor PZEM-004T, dan komponen pendukung lainnya. Tahap keempat adalah pengembangan perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk mengoperasikan sistem, termasuk integrasi dengan layanan *Google Assistant* untuk mendukung kendali suara dari jarak jauh. Tujuan dari rangkaian tahapan tersebut adalah untuk menghasilkan sebuah alat pemutus tegangan otomatis yang dapat dioperasikan melalui perintah suara, serta mampu memantau parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, dan biaya pemakaian secara real-time. Sistem ini dirancang agar dapat dikendalikan secara jarak jauh melalui integrasi antara NodeMCU ESP32, sensor PZEM-004T, dan layanan

perintah suara berbasis *Google Assistant*. Diagram alir dari sistem pemutusan tegangan berbasis perintah suara yang dikembangkan ini ditampilkan secara rinci pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Alur Penelitian

3.4 Perancangan Alat

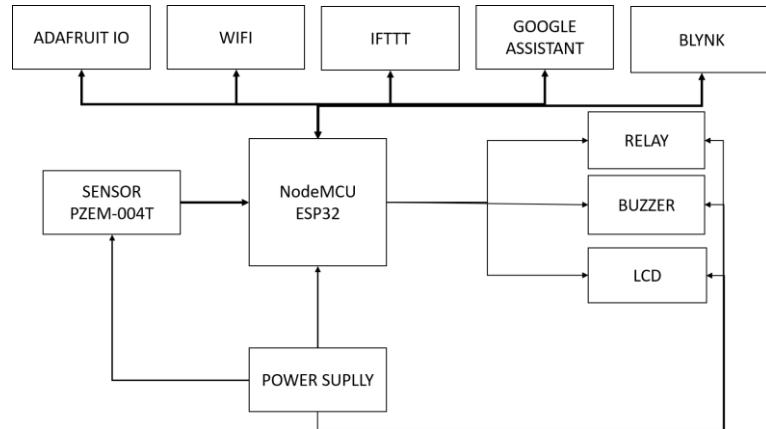
Dalam perancangan sistem pemutusan tegangan berbasis perintah suara yang terintegrasi dengan sistem monitoring penggunaan listrik meliputi tegangan, arus, daya, dan biaya berbasis *Internet of Things (IoT)*. Sistem ini menggunakan NodeMCU ESP32 sebagai mikrokontroler utama yang berperan sebagai otak pengendali dan pengirim data.

Google Assistant, *IFTTT*, Adafruit IO digunakan sebagai komunikasi yang dikirimkan ke ESP32 untuk mengontrol relay memutus dan menghubungkan tegangan listrik ke beban. Relay ini berfungsi sebagai saklar elektronik utama dalam sistem.

Untuk pengukuran parameter listrik seperti tegangan, arus, dan daya, sistem menggunakan sensor PZEM-004T. Data hasil pengukuran ditampilkan secara lokal pada layar LCD 16x2, serta dikirim ke aplikasi Blynk agar dapat dipantau secara *Real-Time* dari jarak jauh melalui smartphone.

3.4.1 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem dibutuhkan untuk mempermudah memahami alur kerja dari sistem yang dirancang.



Gambar 3.2 Diagram Blok Perancangan Sistem

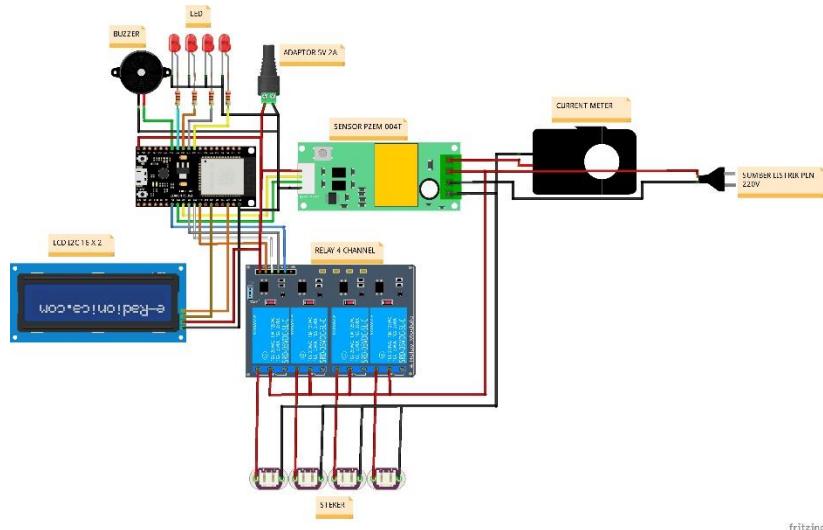
Berdasarkan Gambar 3.2, sistem ini bekerja dengan memanfaatkan sensor PZEM-004T sebagai input utama yang berfungsi untuk mendeteksi besarnya konsumsi daya listrik dari perangkat elektronik yang terhubung. Data yang diperoleh dari sensor ini kemudian dikirimkan ke bagian pemrosesan, yaitu NodeMCU ESP32. Di sinilah data akan diolah dan selanjutnya dikirim ke bagian output berupa layar LCD serta aplikasi Blynk, sehingga pengguna dapat memantau informasi secara langsung, baik secara lokal maupun jarak jauh.

Untuk fitur pemutusan arus listrik, prosesnya dimulai ketika pengguna memberikan perintah suara melalui Google Assistant. Perintah ini akan diproses oleh layanan otomatisasi *IFTTT* yang menghubungkan *Google Assistant* dengan platform Adafruit IO. Selanjutnya, Adafruit IO mengirimkan sinyal perintah ke NodeMCU ESP32 melalui protokol komunikasi MQTT. Setelah menerima sinyal perintah tersebut, ESP32 akan membaca data dari feed MQTT dan mengaktifkan atau menonaktifkan relay. Relay inilah yang berfungsi sebagai saklar untuk memutus atau menyambungkan arus listrik ke beban.

Sebagai penanda atau notifikasi, digunakan buzzer yang akan berbunyi saat relay berhasil aktif (terhubung) atau nonaktif (terputus), termasuk saat sistem direset. Semua komponen ini mendapat suplai tegangan dari power supply yang dirancang untuk memastikan sistem dapat bekerja secara stabil dan terus-menerus.

3.4.2 Wiring Diagram

Wiring diagram dibawah ini merupakan sebuah skematik yang menunjukkan bagaimana komponen-komponen dihubungkan satu sama lain melalui kabel dan jalur koneksi.



Gambar 3.3 Wiring Diagram Alat

Rangkaian wiring diagram alat yang terlihat pada Gambar 3.3 menggunakan beberapa komponen yang terhubung ke mikrokontroler NodeMCU ESP32. Komponen utama dari sistem ini adalah mikrokontroler ESP32, yang berperan sebagai pusat kendali. ESP32 memiliki keunggulan berupa konektivitas WiFi dan Bluetooth, sehingga memungkinkan sistem untuk berkomunikasi dengan aplikasi berbasis *Internet of Things (IoT)* seperti Blynk, Adafruit IO, dan IFTTT. Melalui mikrokontroler ini, data dari sensor akan diproses, ditampilkan ke LCD, dikirim ke aplikasi monitoring, serta digunakan untuk mengontrol perangkat output seperti relay dan buzzer.

Untuk mengukur parameter kelistrikan, digunakan sensor PZEM-004T. Sensor ini mampu mengukur tegangan (V), arus (A), daya (W), dan energi listrik (kWh). Sensor ini dilengkapi dengan CT Clamp (Current Transformer) yang dipasang pada kabel fase dari sumber listrik PLN. CT clamp bekerja secara non-invasif, yaitu cukup dengan menjepit kabel tanpa perlu memotongnya, sehingga pemasangan menjadi lebih aman dan mudah.

Data hasil pengukuran dari sensor PZEM dikirim ke ESP32 melalui jalur komunikasi serial (TX dan RX). Selanjutnya, data yang telah diproses akan

ditampilkan secara *Real-Time* melalui LCD 16x2 yang terhubung menggunakan antarmuka I2C. Penggunaan antarmuka I2C memberikan keuntungan dalam efisiensi penggunaan pin digital pada ESP32, karena hanya memerlukan dua jalur komunikasi utama, yaitu SDA (Serial Data) dan SCL (Serial Clock).

Untuk fungsi pengendalian beban, sistem ini menggunakan modul relay 4 channel. Modul ini berfungsi sebagai saklar elektronik yang dapat menghubungkan atau memutus arus listrik ke masing-masing beban secara terpisah. Masing-masing relay dikendalikan langsung oleh ESP32 berdasarkan perintah manual atau otomatis dari sistem. Sebagai indikator status, pada masing-masing channel relay dipasang LED indikator yang akan menyala apabila relay dalam kondisi aktif. Setiap LED dilengkapi dengan resistor pembatas arus untuk mencegah kerusakan akibat tegangan berlebih.

Selain itu, sistem dilengkapi dengan buzzer sebagai perangkat pemberi peringatan suara. Buzzer akan diaktifkan oleh ESP32 apabila sistem mendeteksi kondisi tertentu, seperti penggunaan daya yang melebihi batas aman atau adanya gangguan. Logika aktivasi buzzer sepenuhnya diatur melalui program pada mikrokontroler.

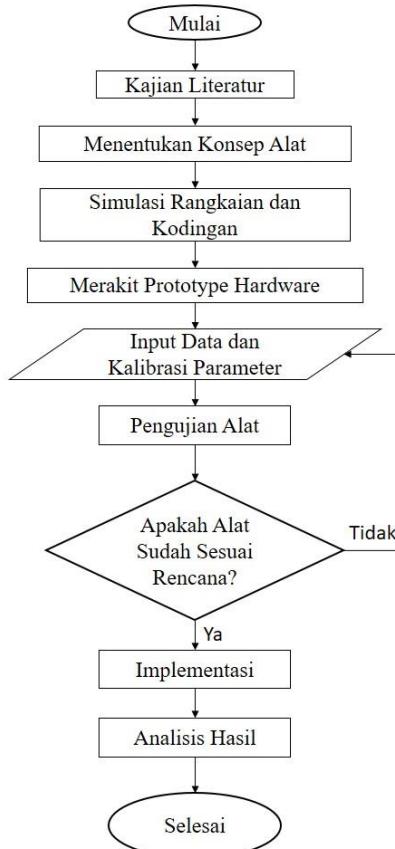
Seluruh sistem ini mendapatkan suplai daya dari adaptor 5V 2A, yang bertugas menyediakan tegangan dan arus yang stabil untuk seluruh komponen elektronik. Sementara itu, sumber listrik utama berasal dari PLN 220V, yang tidak hanya digunakan untuk memberi daya pada beban listrik, tetapi juga menjadi objek utama yang dimonitor oleh sistem.

Dengan integrasi dari seluruh komponen di atas, alat ini mampu melakukan pemantauan konsumsi listrik secara menyeluruh, baik dari sisi pengukuran maupun pengendalian. Informasi dapat diakses secara *Real-Time* dan jarak jauh, serta sistem juga mendukung perintah suara untuk pengendalian beban secara otomatis. Hal ini memungkinkan pengguna untuk lebih mudah dalam mengelola dan menghemat konsumsi listrik dengan cara yang efisien, praktis, dan aman.

3.4.3 Flowchart Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian merupakan representasi visual yang menjelaskan urutan tahapan dalam proses penelitian sistem kendali suara yang terintegrasi dengan

sistem monitoring. Diagram alir lengkap mengenai proses penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Flowchart Diagram Alur Penelitian

Gambar 3.4 menggambarkan flowchart alur pelaksanaan penelitian dan proses pengumpulan data yang dilakukan sejak tahap awal hingga akhir. Diagram ini merepresentasikan langkah-langkah dalam pengembangan alat, dimulai dari perencanaan awal hingga tahap implementasi dan analisis. Proses dimulai dengan tahap Mulai sebagai penanda dimulainya kegiatan penelitian. Tahapan selanjutnya adalah Kajian Literatur, yaitu proses pencarian dan pengumpulan informasi dari berbagai referensi untuk memperoleh pemahaman yang mendalam mengenai topik, teknologi yang digunakan, serta solusi yang telah tersedia sebelumnya, sehingga dapat menjadi landasan teoritis yang kuat.

Berdasarkan hasil kajian tersebut, dilakukan Penentuan Konsep Alat, yang mencakup perumusan ide dasar, fitur utama, serta arsitektur sistem yang akan dikembangkan. Setelah konsep alat ditentukan, penelitian dilanjutkan pada tahap Simulasi Rangkaian dan Pemrograman, yaitu pengujian awal terhadap desain

rangkaian secara virtual menggunakan perangkat lunak simulasi, serta penulisan dan pengujian logika program untuk memastikan kesesuaian fungsinya sebelum diterapkan ke perangkat fisik.

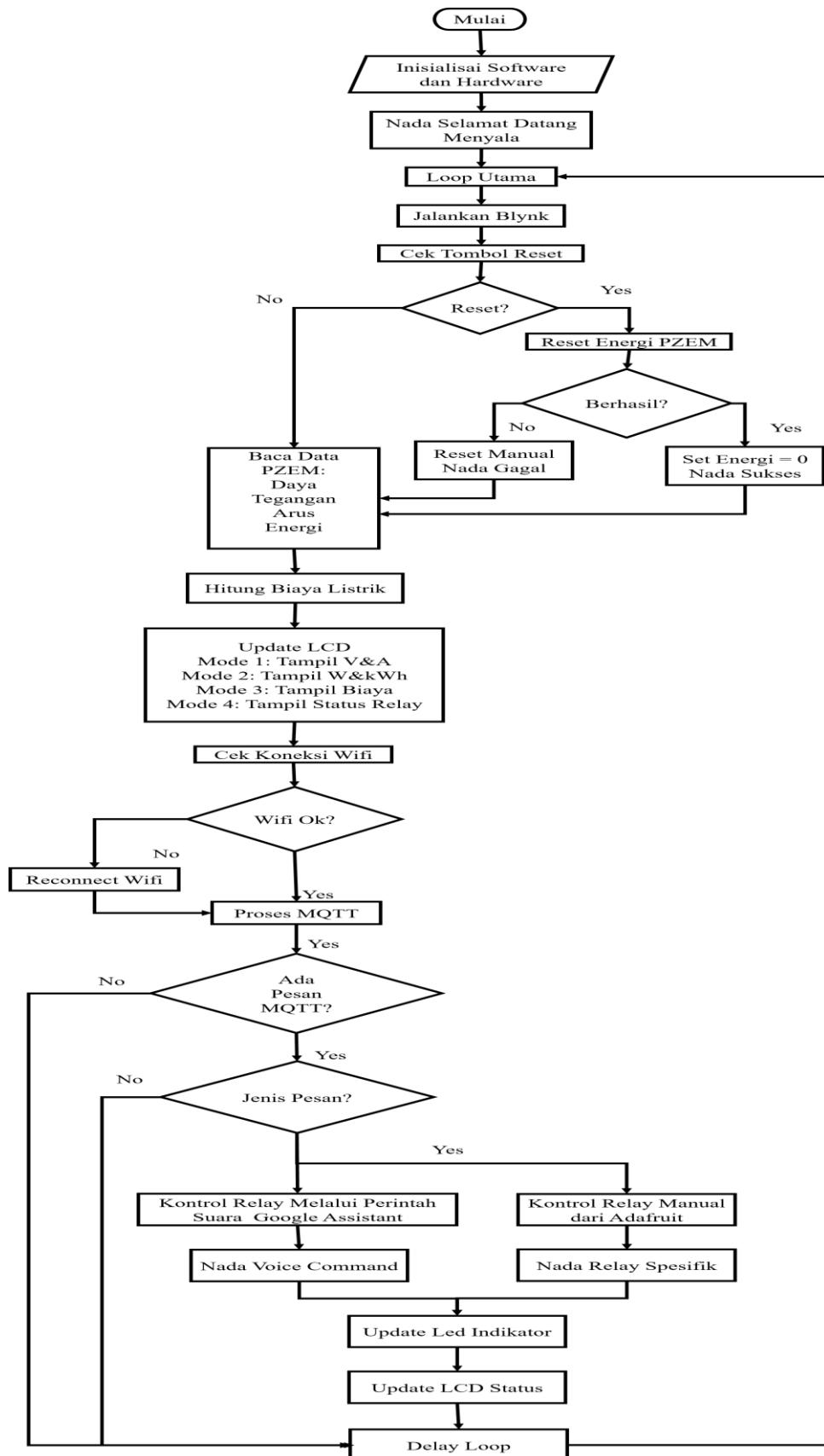
Tahap berikutnya adalah Perakitan Prototipe, yang mencakup penyusunan komponen elektronik dan mekanik menjadi sebuah unit sistem yang dapat beroperasi. Setelah prototipe dirakit, dilakukan proses Input Data dan Kalibrasi Parameter, yakni pengisian data awal dan penyesuaian parameter agar sensor dan aktuator dapat bekerja secara optimal dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Selanjutnya dilakukan Pengujian Alat, yakni pengujian menyeluruh untuk mengevaluasi kinerja, stabilitas, dan fungsionalitas sistem dalam berbagai kondisi. Hasil pengujian tersebut dievaluasi pada tahap Apakah Alat Sudah Sesuai Rencana?. Jika hasilnya belum memenuhi kriteria (jawaban “TIDAK”), maka dilakukan kembali penyesuaian dan kalibrasi pada tahap sebelumnya. Namun apabila alat telah memenuhi seluruh spesifikasi dan berfungsi sebagaimana direncanakan (jawaban “YA”), maka proses dilanjutkan ke tahap Implementasi, yaitu penerapan sistem di lingkungan nyata.

Tahapan terakhir adalah Analisis Hasil, yang bertujuan untuk menilai performa sistem secara keseluruhan, mengidentifikasi kelebihan maupun kekurangannya, serta menyimpulkan capaian dari proses penelitian. Rangkaian kegiatan ini diakhiri dengan tahap Selesai, menandai berakhirnya proses penelitian secara menyeluruh.

3.4.4 Flowchart Sistem Kerja Alat

Gambar 3.4 Flowchart Sistem Kerja alat pada sistem monitoring energi listrik ini menggambarkan keseluruhan alur kerja dari sistem, mulai dari proses inisialisasi hingga loop operasional utama yang berjalan secara kontinyu. Sistem dirancang agar dapat beroperasi secara otomatis dan real-time, serta mampu merespons berbagai perubahan kondisi parameter kelistrikan maupun perintah dari pengguna melalui aplikasi mobile.



Gambar 3.5 Flowchart Sistem Kerja Alat

Sistem monitoring dan kendali energi listrik ini diawali dengan proses inisialisasi, yang mencakup konfigurasi perangkat lunak dan perangkat keras. Pada tahap ini, sistem melakukan setup library, komunikasi antarkomponen, serta koneksi jaringan yang diperlukan. Setelah proses inisialisasi berhasil, perangkat akan mengeluarkan nada selamat datang sebagai indikator bahwa sistem telah siap untuk digunakan.

Setelah inisialisasi selesai, sistem masuk ke dalam loop utama yang berjalan secara kontinu selama perangkat menyala. Di dalam loop ini, sistem pertama-tama menjalankan fungsi Blynk untuk memastikan konektivitas *Internet of Things (IoT)* tetap aktif. Selanjutnya, sistem memantau apakah tombol reset energi ditekan oleh pengguna. Jika tombol tersebut ditekan, maka sistem akan memulai proses reset energi pada sensor PZEM-004T.

Sistem akan mengevaluasi hasil dari proses reset tersebut. Jika berhasil, maka nilai energi akan disetel ke nol dan status reset akan dianggap berhasil. Namun, apabila reset gagal dilakukan, sistem akan tetap membaca data parameter listrik yang terdiri dari tegangan, arus, daya, dan energi, kemudian mencoba melakukan reset secara manual sebagai alternatif.

Setelah data dari sensor berhasil diperoleh, sistem melanjutkan ke proses perhitungan biaya listrik berdasarkan energi yang telah digunakan. Data ini dihitung menggunakan tarif listrik tertentu dan hasilnya akan ditampilkan di LCD. Tampilan LCD memiliki empat mode informasi, yaitu:

1. Mode 1: Menampilkan nilai tegangan (Volt) dan arus (Ampere).
2. Mode 2: Menampilkan daya listrik (Watt) dan energi yang digunakan (kWh).
3. Mode 3: Menampilkan total biaya penggunaan listrik (dalam Rupiah).
4. Mode 4: Menampilkan status dari relay yang sedang aktif atau tidak aktif.

Untuk menjaga konektivitas, sistem secara otomatis memeriksa status koneksi WiFi. Jika terjadi gangguan atau koneksi terputus, sistem akan mencoba melakukan reconnect secara otomatis hingga koneksi berhasil dipulihkan. Setelah koneksi kembali stabil, sistem akan melanjutkan ke proses komunikasi MQTT, yang berfungsi sebagai jalur pertukaran data dengan platform *IoT* eksternal seperti *Google Assistant* dan *Adafruit IO*.

Dalam proses komunikasi MQTT, sistem akan memeriksa apakah terdapat pesan masuk atau perintah dari platform eksternal. Jika tidak ada pesan diterima, maka sistem akan masuk ke jeda waktu (delay) singkat sebelum mengulang proses dari awal. Namun, jika sistem menerima pesan MQTT, maka pesan tersebut akan dianalisis untuk menentukan aksi selanjutnya.

Sistem dirancang untuk mengenali dua jenis perintah kontrol relay, yaitu:

1. Perintah melalui Google Assistant, yang dikirim menggunakan perintah suara (voice command) oleh pengguna.
2. Perintah manual dari platform Adafruit IO, yang dikirim dalam bentuk switch tekan.

Setelah perintah dieksekusi, sistem akan memperbarui indikator LED sebagai umpan balik visual kepada pengguna bahwa relay telah berubah status. Selain itu, tampilan LCD juga akan diperbarui untuk menunjukkan perubahan status perangkat secara real-time. Seluruh proses ini akan diulang secara terus-menerus dalam siklus operasi, sehingga sistem dapat melakukan monitoring dan pengendalian secara kontinyu dan responsif terhadap perubahan data maupun perintah yang diberikan oleh pengguna.

3.5 Tahapan Pengujian

Tahap pengujian sistem monitoring penggunaan daya listrik yang dilengkapi dengan kontrol beban berbasis *Voice Command* dilakukan untuk mengevaluasi kinerja alat secara menyeluruh. Pengujian ini mencakup evaluasi terhadap perangkat keras dan perangkat lunak. Pengujian pada perangkat keras bertujuan untuk menilai kemampuan setiap komponen dalam menjalankan fungsinya, sedangkan pengujian perangkat lunak difokuskan pada evaluasi kinerja sistem berdasarkan program yang telah diterapkan.

Tabel 3.1 Kriteria Pengujian Fungsional Relay

No	Perintah Suara	Status Eksekusi	Waktu Respon (detik)
1	Nyalakan relay satu		
2	Matikan relay satu		
3	Nyalakan relay dua		
4	Matikan relay dua		
5	Nyalakan relay tiga		
6	Matikan relay tiga		
7	Nyalakan relay empat		
8	Matikan relay empat		
9	Nyalakan semua relay		
10	Matikan semua relay		

Tabel 3.1 memperlihatkan rangkaian perintah suara yang diuji beserta parameter penilaianya, yaitu status eksekusi dan waktu respons dalam satuan detik. Parameter status eksekusi digunakan untuk mengidentifikasi keberhasilan sistem dalam menjalankan perintah yang diberikan (berhasil atau gagal), sedangkan parameter waktu respons mengukur durasi sejak perintah diterima hingga relay melakukan aksi yang diminta.

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa sistem Voice Command yang terintegrasi dengan kontrol beban mampu beroperasi secara tepat, cepat, dan konsisten. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini menjadi dasar penilaian terhadap tingkat keandalan dan kelayakan sistem sebelum dilanjutkan ke tahap pengujian pada kondisi penggunaan sebenarnya.

Tabel 3.2 Kriteria Pengujian Daya

No	Jenis Beban	Tegangan (V)	Arus(A)	CosPhi	Daya Teoritis(W)	Daya Terbaca(W)	Error(%)
1.	Lampu						
2.	Kipas Angin						
3.	Charger Ponsel						
4.	Solder						
5.	Rice Cooker						

Tabel 3.2 menggambarkan rancangan kriteria pengujian daya listrik yang akan dilakukan terhadap beberapa jenis beban, seperti setrika, kipas angin, dan charger handphone. Dalam tahap ini, dirancang parameter-parameter utama yang akan diuji, meliputi tegangan, arus, faktor daya (CosPhi), daya teoritis, daya yang terbaca melalui sensor, serta persentase error antara keduanya. Pengujian ini direncanakan untuk mengamati sejauh mana sistem mampu mendeteksi besaran daya listrik secara akurat pada berbagai karakteristik beban. Tahapan ini menjadi dasar dalam pelaksanaan uji akurasi sistem monitoring berbasis sensor PZEM-004T yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32.

Tabel 3.3 Kriteria Pengujian Tegangan

Pengujian Ke	Sensor(V)	Alat Ukur(V)	Error(%)
Pengujian Ke-1			
Pengujian Ke-2			
Pengujian Ke-3			
Pengujian Ke-4			
Pengujian Ke-5			

Tabel 3.3 menunjukkan rancangan tahapan pengujian yang akan dilakukan untuk mengevaluasi keakuratan pembacaan tegangan oleh sensor PZEM-004T. Dalam setiap pengujian, nilai tegangan yang terbaca oleh sensor akan dibandingkan dengan alat ukur standar sebagai acuan. Selisih antara kedua hasil pengukuran tersebut akan dihitung dalam bentuk persentase error guna menilai tingkat deviasi pembacaan sensor terhadap nilai sebenarnya. Lima kali pengujian direncanakan untuk memastikan konsistensi dan reliabilitas pembacaan tegangan oleh sistem. Tahapan ini merupakan bagian dari proses validasi sensor sebelum sistem digunakan secara menyeluruh dalam monitoring parameter kelistrikan.

Tabel 3.4 Kriteria Pengujian Arus

Pengujian Ke	Sensor(A)	Alat Ukur(A)	Error(%)
Pengujian Ke-1			
Pengujian Ke-2			
Pengujian Ke-3			
Pengujian Ke-4			
Pengujian Ke-5			

Tabel 3.4 menyajikan rancangan tahapan pengujian arus listrik yang bertujuan untuk mengevaluasi tingkat akurasi sensor PZEM-004T. Dalam pengujian ini, nilai arus yang terbaca oleh sensor PZEM-004T akan dibandingkan dengan hasil pembacaan dari alat ukur pembanding yang dianggap sebagai acuan. Selisih antara kedua nilai tersebut akan dihitung dalam bentuk persentase error untuk mengetahui deviasi pengukuran. Pengujian dilakukan dalam beberapa sesi dengan variasi nilai arus, guna memastikan kestabilan dan keakuratan sensor dalam membaca arus listrik secara konsisten. Tahapan ini penting sebagai bagian dari validasi sensor sebelum diterapkan dalam sistem monitoring kelistrikan secara menyeluruh.

Tabel 3.5 Kriteria Pengujian Energi

No	Jenis Beban	Daya(W)	Waktu(t)	Energi Teortis(kWh)	Energi Terbaca(kWh)	Error(%)
1	Lampu					
2	Kipas Angin					
3	Charger					
	Ponsel					
4	Solder					
5	Rice Cooker					

Tabel 3.5 menunjukkan rancangan tahapan pengujian energi listrik yang bertujuan untuk mengevaluasi keakuratan pembacaan energi oleh sensor PZEM-004T. Dalam pengujian ini, beberapa jenis beban seperti setrika, kipas angin, dan

charger handphone akan digunakan sebagai objek uji. Parameter yang diamati meliputi daya (dalam satuan watt) dan durasi waktu penggunaan (dalam satuan jam), yang kemudian digunakan untuk menghitung energi teoritis dalam satuan kilowatt-hour (kWh). Nilai energi ini akan dibandingkan dengan energi yang terbaca oleh sensor secara langsung. Selisih antara keduanya akan dihitung dalam bentuk persentase error, sebagai indikator keakuratan sensor dalam mengukur konsumsi energi. Tahapan ini merupakan bagian penting dalam validasi sistem monitoring energi berbasis *IoT* sebelum diimplementasikan secara penuh.

Tabel 3.6 Kriteria Pengujian Pengambilan Data Estimasi Biaya

No	Jenis Beban	Energi (E)	Biaya Terukur (Rp)	Biaya Perhitungan (Rp)	Error(%)
1	Lampu				
2	Kipas Angin				
3	Charger Ponsel				
4	Solder				
5	Rice cooker				

Tabel 3.6 menggambarkan tahapan pengujian yang dirancang untuk mengevaluasi sistem dalam menghitung estimasi biaya konsumsi energi listrik berdasarkan data energi yang digunakan oleh berbagai jenis beban, seperti setrika, kipas angin, dan charger handphone. Pengujian ini mencakup perbandingan antara biaya yang dihitung secara otomatis oleh sistem berdasarkan energi yang terukur dan tarif listrik yang berlaku, dengan biaya perhitungan sebagai referensi pembanding. Selisih antara keduanya akan dikaji dalam bentuk persentase error guna mengetahui tingkat keakuratan sistem dalam menyajikan informasi estimasi biaya. Tahapan ini penting untuk memastikan bahwa sistem monitoring mampu memberikan estimasi biaya yang relevan dan dapat diandalkan oleh pengguna dalam mengelola konsumsi energi listrik secara lebih efisien.

Tabel 3.7 Kriteria Pengujian Perbandingan Pembacaan Parameter pada LCD dengan Blynk

No	Parameter	Nilai LCD	Nilai Blynk	Selisih	Error(%)
1.	Tegangan(V)				
2.	Arus(A)				
3.	Daya(W)				
4.	Energi(kWh)				
5.	Biaya(Rp)				

Tabel 3.7 menyajikan rancangan tahapan pengujian yang bertujuan untuk membandingkan konsistensi dan keakuratan tampilan data parameter kelistrikan antara dua media antarmuka, yaitu LCD lokal pada perangkat dan dashboard Blynk

yang berbasis aplikasi *IoT*. Parameter yang diuji meliputi tegangan (V), arus (A), daya (W), energi (kWh), dan estimasi biaya (Rp). Setiap nilai yang terbaca pada LCD akan dibandingkan dengan nilai yang tampil pada Blynk, kemudian dihitung selisihnya serta persentase error-nya. Pengujian ini dirancang untuk mengevaluasi sinkronisasi data dan memastikan bahwa sistem monitoring mampu menyampaikan informasi dengan akurat di kedua antarmuka, baik secara lokal maupun melalui aplikasi berbasis internet.

Pada Tabel 3.2 hingga Tabel 3.6 ditampilkan daftar peralatan elektronik yang digunakan dalam proses pengujian guna memperoleh sejumlah parameter kelistrikan, antara lain tegangan (Volt), arus (Ampere), daya (Watt), energi (kWh), dan faktor daya (Power Factor). Data parameter tersebut diperoleh melalui pembacaan sensor, kemudian dibandingkan dengan data yang ditampilkan pada aplikasi Blynk sebagai antarmuka monitoring berbasis *Internet of Things (IoT)* secara nirkabel. Setelah data diolah, dilakukan pula perhitungan estimasi biaya konsumsi listrik dari masing-masing alat elektronik yang diuji. Adapun rumus-rumus yang digunakan untuk memperoleh nilai dari masing-masing parameter adalah sebagai berikut:

1. Tegangan (V)

Tegangan diperoleh berdasarkan pembacaan langsung sensor, atau dapat dihitung menggunakan hubungan antara daya dan arus:

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

Namun jika pada sistem AC satu fasa, apabila faktor daya (cosphi) tidak sama dengan 1, tegangan dapat dihitung menggunakan hubungan antara daya aktif dan arus sebagai berikut:

$$V = \frac{P}{I \times \cos\phi}$$

Dimana:

- V : Tegangan (Volt)
- P : Daya aktif (Watt)
- I : Arus (Ampere)
- cosphi : Faktor daya (Power Factor)

2. Daya (P)

Daya listrik merupakan hasil perkalian antara tegangan, arus, dan faktor daya. Dalam sistem AC satu fasa secara umum, daya aktif dihitung menggunakan rumus:

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

Dimana:

- P : Daya aktif (Watt)
- V : Tegangan (Volt)
- I : Arus (Ampere)
- $\cos\phi$: Faktor daya, tergantung pada jenis beban

Namun, jika beban yang digunakan bersifat resistif murni seperti pemanas listrik atau lampu pijar, maka faktor daya ($\cos\phi$) mendekati atau sama dengan 1, sehingga rumus dapat disederhanakan menjadi:

$$P = V \times I$$

Penyederhanaan ini hanya berlaku jika tidak terdapat komponen induktif atau kapasitif yang signifikan dalam beban.

3. Arus (I)

Rumus umum untuk menentukan arus listrik pada beban dengan faktor daya tertentu adalah:

$$I = \frac{P}{V \times \cos\phi}$$

Namun, untuk beban resistif murni, rumusnya menjadi:

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

Dimana:

- $I = \text{Arus (Ampere)}$
- $P = \text{Daya (Watt)}$
- $V = \text{Tegangan}$

4. Energi (E)

Energi listrik merupakan hasil integrasi daya terhadap waktu, dihitung dalam satuan kilowatt-hour (kWh):

$$E = P \times t$$

Jika daya dalam Watt, maka harus dikonversi ke kilowatt, rumusnya menjadi:

$$E = \left(\frac{P}{1000} \right) \times t$$

Dimana:

- E : Energi (kWh)
- P : Daya (Watt)
- t : Waktu penggunaan (jam)
- 1000: Konversi watt menjadi kilowatt

5. Estimasi Biaya Pemakaian Listrik

Biaya konsumsi energi listrik dihitung berdasarkan total energi yang digunakan dikalikan dengan tarif dasar listrik, kemudian ditambahkan dengan PPN sesuai golongan listrik yang digunakan. Rumusnya sebagai berikut:

$$\text{Biaya Total} = E \times \text{Tarif Listrik} \times (1 + \text{PPN})$$

Dimana:

E : Energi (kWh)

Tarif Listrik : Disesuaikan golongan listrik yang digunakan

Pajak Pertambahan Nilai (PPN): Menyesuaikan golongan pelanggan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. W. Jokanan, A. Widodo, N. Kholis, and L. Rakhmawati, “Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT Menggunakan Firebase dan Aplikasi,” *J. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 47–55, 2022.
- [2] Tukadi, W. Widodo, M. Ruswiensari, and A. Qomar, “Monitoring Pemakaian Daya Listrik Secara Realtime Berbasis Internet Of Things,” *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. VII 2019*, pp. 581–586, 2019.
- [3] A. P. Launuru, G. Manu, H. K. Tupan, and R. Hutagalung, “Rancang Bangun Sistem Kontrol Nirkabel on – Off Peralatan Listrik Dengan Perintah Suara Menggunakan Smartphone Android,” *J. Simetrik*, vol. 11, no. 1, pp. 388–397, 2021.
- [4] A. K. Azzam, W. Kurniawan, M. Hannats, and H. Ichsan, “Implementasi Pengontrolan Smart Home Menggunakan Voice Command Pada Facebook Messenger,” *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. Univ. Brawijaya*, vol. 3, no. 5, pp. 4259–4266, 2019.
- [5] A. P. Wicaksono, “TA: Sistem Kontrol Peralatan Rumah Melalui Perintah Suara pada Smartphone (Doctoral dissertation, Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya).,” 2018.
- [6] D. A. Karim and N. Anwar, “Smart Home Berbasis Iot Menggunakan Arduino Uno Dan Suara Pada Google Assistant,” *IKRA-ITH Inform. J. Komput. dan Inform.*, vol. 7, no. 3, pp. 47–53, 2023.
- [7] R. Akbar, “Rancang Bangun Alat Monitoring Tegangan, Arus, Daya, kWh, Serta Estimasi Biaya Pemakaian,” *Skripsi Fak. Teknol. Ind. Univ. Islam Indones.*, pp. 1–25, 2018.
- [8] T. Purwadi and T. Thoyyibah, “Implementasi Sistem Voice Recognition sebagai Pengontrol Lampu Berbasis Android,” *J. E-Bisnis, Sist. Informasi, Teknol. Inf.*, vol. 17, no. 2, pp. 41–50, 2022.
- [9] P. Harahap, F. I. Pasaribu, C. A. P. Siregar, and B. Oktraldi, “Performance of Grid-Connected Rooftop Solar PV System for Households during Covid-19 Pandemic,” *J. Electr. Technol. UMY*, vol. 5, no. 1, pp. 26–31, 2021.
- [10] N. Evalina, F. I. Pasaribu, and A. A. Hutasuhut, “Implementation of solar power plant capacity 200 WP with solar charge system for AC load,” *AIP*

- Conf. Proc.*, vol. 2499, no. 1, p. 40015, Nov. 2022.
- [11] W. M. S. Hisar Alexcandra, Mhd. Fajar D Tanjung, Dinda Tri H Sihombing, Taufiq A Al Ghazali, Reihan A Sitompul, “Sistem Pemantauan Dan Pengendalian Energi Berbasis IoT Untuk Meningkatkan Efisiensi Energi Dalam Lingkungan Cerdas,” *J. Rev. Pendidik. dan Pengajaran*, vol. 7, no. 4, pp. 165–174, 2024.
 - [12] A. Ara and S. Jawaligi, “NodeMCU(ESP8266) Control Home Automation using Google Assistant,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 3644, no. July, pp. 3644–3648, 2019.
 - [13] P. Akhir, A. G. Mahendra, and P. P. Surabaya, “RANCANG BANGUN KONTROL DAN MONITORING PENGATURAN BEBAN SATU FASA VIA WEB SERVER,” 2024.
 - [14] A. W. Dani, A. Adriansyah, and D. Hermawan, “Perancangan Aplikasi Voice Command Recognition Berbasis Android Dan Arduino Uno,” *J. Teknol. Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 11–19, 2016.
 - [15] A. F. Batubara *et al.*, “PROPOSAL SKRIPSI IMPLEMENTASI INTERNET OF THINGS UNTUK SISTEM MONITORING PENGGUNAAN DAYA LISTRIK SECARA REAL-TIME PADA LINGKUNGAN RUMAH TANGGA,” 2024.
 - [16] T. Saurus, “Jenis-jenis dan Tempat yang Jual KWH Meter Berkualitas,” <https://www.tekniksaurus.com/>, 2022. [Online]. Available: <http://tekniksaurus.com/article/kwh-meter/jenis-jenis-dan-tempat-yang-jual-kwh-meter-berkualitas>. [Accessed: 10-Mar-2025].
 - [17] Y. Bahari, “Analisis Pengaruh Tekanan Gas Sf6 Terhadap Kualitas Pemadaman Pmt 150Kv Di Gardu Induk Pangkalan Brandan,” no. July, pp. 1–23, 2020.
 - [18] R. D. Risanty and L. Arianto, “Rancang Bangun Sistem Pengendalian Listrik Ruangan Dengan Menggunakan Atmega 328 Dan Sms Gateway Sebagai Media Informasi,” *Sist. Inf.*, vol. 7, no. 2, pp. 1–10, 2017.
 - [19] A. Abadi, R. Widya, and J. Julsam, “Rancang Bangun Pemutus Tegangan Pada Kwh Meter Pelanggan Pln,” *J. Andalas Rekayasa dan Penerapan Teknol.*, vol. 1, no. 1, pp. 37–46, 2021.

- [20] M. F. 1907220128 MAULANA, “Skripsi Skripsi,” 2024.
- [21] T. Ratnasari and A. Senen, “Perancangan Prototipe Alat Ukur Arus Listrik Ac Dan Dc Berbasis Mikrokontroler Arduino Dengan Sensor Arus Acs-712 30 Ampere,” *J. Ilm. Sutet*, vol. 8, no. 1, pp. 28–33, 2018.
- [22] T. S. Lampu, “Apa perbedaan antara AC dan DC,” <https://sumberlampu.com/>. [Online]. Available: <https://sumberlampu.com/informasi-berguna/perbedaan-antara-tegangan-ac-dan-dc>. [Accessed: 06-Mar-2025].
- [23] Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral, “Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 2022 tentang Tata Cara Permohonan Persetujuan Harga Jual Tenaga Listrik dan Sewa jaringan Tenaga Listrik dan Tata Cara Permohonan Penetapan tarif Tenaga Listrik,” no. 3, 2022.
- [24] A. Robiyan and E. Nurhayati, “Dampak Kenaikan Tarif Dasar Listrik Terhadap Sektor Industri,” no. 1, pp. 1–17, 2022.
- [25] B. Sitorus and A. Tahyudin, “Rancang Bangun Alat Memberi Pakan Ikan Lele Otomatis Berbasis Arduino UNO,” *J. Ilm. Fak. Tek.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–12, 2018.
- [26] B. Harpad, S. Salmon, and R. M. Saputra, “Sistem Monitoring Kualitas Udara Di Kawasan Industri Dengan Nodemcu Esp32 Berbasis Iot,” *J. Inform. Wicida*, vol. 12, no. 2, pp. 39–47, 2022.
- [27] R. Mardiat, F. Ashadi, and G. F. Sugihara, “Rancang Bangun Prototipe Sistem Peringatan Jarak Aman pada Kendaraan Roda Empat Berbasis Mikrokontroler ATMEGA32,” *TELKA - Telekomun. Elektron. Komputasi dan Kontrol*, vol. 2, no. 1, pp. 53–61, 2016.
- [28] Kuongshun, “4 channel Relay modul dengan cahaya Coupling 5V,” <https://id.szks-kuongshun.com/>. [Online]. Available: <https://id.szks-kuongshun.com/uno/uno-board-shield/4-channel-relay-module-with-light-coupling-5v.html>. [Accessed: 07-Mar-2024].
- [29] A. Shafitri, Suhardianto, A. Mashuri, and A. Aditya, “Perancangan Pengendali Lampu Kantor Berbasis Internet of Thing,” *PROSISKO J. Pengemb. Ris. dan Obs. Sist. Komput.*, vol. 9, no. 1, pp. 53–59, 2022.

- [30] AndProf, “What is Arduino software (IDE), and how use it?,” <https://andprof.com/>. [Online]. Available: <https://andprof.com/tutorials/what-is-arduino-software-ide-and-how-use-it/>. [Accessed: 09-Mar-2025].
- [31] S. M. Ibrahim, Ridyandhika Riza , Bekti Yulianti, “RANCANG BANGUN MONITORING PEMAKAIAN ARUS LISTRIK PLN BERBASIS IoT,” *J. Teknol. Ind.*, vol. 11, no. 1, pp. 43–51, 2022.
- [32] G. Play, “IFTTT - Automate work and home.” .
- [33] U. U. Model, “ANALISIS GOOGLE ASSISTANT TERHADAP KEPUASAN MAHASISWA MENGGUNAKAN MODEL UTAUT ANALYSIS OF GOOGLE ASSISTANT ON COLLEGE STUDENT SATISFACTION,” pp. 48–56, 2024.
- [34] N. DATA, “Sudah Tau Google Assistant? Apa Saja Sih Fiturnya?” [Online]. Available: <https://nds.id/google-assistant/>. [Accessed: 08-Mar-2025].