

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN PENGGUNAAN ENERGI
LISTRIK BERBASIS IOT DENGAN INTEGRASI FIREBASE, SERTA
PENGEMBANGAN SMART APP FOR VISUALIZING ENERGY (SAVE)
BERBASIS ANDROID STUDIO**

(Skripsi)

Oleh

FADLI FERDINAND JAYA

2115031048



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2025

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN PENGGUNAAN ENERGI LISTRIK BERBASIS IOT DENGAN INTEGRASI FIREBASE, SERTA PENGEMBANGAN SMART APP FOR VISUALIZING ENERGY (SAVE) BERBASIS ANDROID STUDIO

Oleh

FADLI FERDINAND JAYA

Penggunaan energi listrik yang tidak efisien masih menjadi tantangan di sektor rumah tangga, terutama dalam hal pemantauan dan pengendalian secara real-time. KWh meter konvensional belum mampu memberikan informasi rinci seperti estimasi biaya harian atau notifikasi ketika konsumsi mendekati batas tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan energi berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terintegrasi dengan *Firebase*, serta mengembangkan aplikasi Android bernama SAVE (*Smart App for Visualizing Energy*). Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama: perangkat keras menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor PZEM-004T untuk mengukur parameter kelistrikan (tegangan, arus, daya, dan energi); *Firebase Realtime Database* sebagai penyimpanan data berbasis *cloud*; dan aplikasi Android yang dikembangkan menggunakan *Kotlin* dan *Jetpack Compose*. Pengujian akurasi sensor menunjukkan bahwa *error* pembacaan tegangan berkisar antara -0,70% hingga -1,44%, *error* pembacaan arus antara 7,56% hingga 13,09%, dan *error* faktor daya ($\cos \phi$) berkisar antara -3,75% hingga -5,81%, yang menunjukkan performa yang cukup andal untuk pemantauan di tingkat rumah tangga. Pengiriman data dikonfigurasi setiap 10 menit, dan selama 10 hari pengujian, sistem berhasil mengirimkan data sebesar 97,79% dengan kehilangan data sebesar 2,21% akibat gangguan jaringan sementara. Fitur utama dari aplikasi meliputi visualisasi data secara *realtime* dalam bentuk grafik konsumsi energi, estimasi biaya listrik berdasarkan tarif yang ditentukan pengguna, pengaturan batas konsumsi, serta notifikasi otomatis ketika konsumsi mencapai 50%, 70%, dan 90% dari batas biaya yang telah ditentukan. Kemampuan ini menjadikan sistem efektif dalam meningkatkan kesadaran pengguna serta mendorong penggunaan energi yang lebih efisien di rumah.

Kata Kunci: Android Studio, ESP32, Firebase, IoT, Pemantauan Energi, PZEM-004T.

ABSTRACT

DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN IOT-BASED ELECTRICAL ENERGY MONITORING SYSTEM INTEGRATED WITH FIREBASE, AND THE DEVELOPMENT OF A SMART APP FOR VISUALIZING ENERGY (SAVE) USING ANDROID STUDIO

By

FADLI FERDINAND JAYA

Inefficient electricity usage remains a challenge in the household sector, especially in terms of real-time monitoring and control. Conventional kWh meters do not provide detailed insights such as daily cost estimation or notifications when usage nears a defined limit. This research aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based energy monitoring system integrated with Firebase, and to develop an Android application named SAVE (Smart App for Visualizing Energy). The system consists of three main components: hardware using an ESP32 microcontroller and a PZEM-004T sensor to measure electrical parameters (voltage, current, power, and energy); Firebase *Realtime* Database for cloud-based data storage; and an Android application developed using Kotlin and Jetpack Compose. Sensor accuracy testing showed a voltage reading error between -0.70% and -1.44% , a current reading error between 7.56% and 13.09% , and a power factor ($\cos \phi$) error ranging from -3.75% to -5.81% , indicating reliable performance for household monitoring. Data transmission was configured at 10-minute intervals, and during one week of testing, the system achieved a 97.22% success rate with only 2.78% data loss due to temporary network disruptions. Key features of the application include real-time data visualization through energy consumption graphs, electricity cost estimation based on user-defined rates, consumption limit configuration, and automatic notifications when usage reaches 50%, 70%, and 90% of the defined cost limit. These capabilities make the system effective for increasing user awareness and promoting more efficient household energy usage.

Keywords: Android Studio, Energy Monitoring, ESP32, Firebase, IoT, PZEM-004T.

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN PENGGUNAAN ENERGI
LISTRIK BERBASIS IOT DENGAN INTEGRASI FIREBASE, SERTA
PENGEMBANGAN SMART APP FOR VISUALIZING ENERGY (SAVE)
BERBASIS ANDROID STUDIO**

Oleh

FADLI FERDINAND JAYA

Skripsi

**Sebagai Salah satu syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2025

Judul Skripsi

: RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN
PENGUNAAN ENERGI LISTRIK BERBASIS
IOT DENGAN INTEGRASI *FIREBASE*, SERTA
PENGEMBANGAN *SMART APP FOR
VISUALIZING ENERGY (SAVE)* BERBASIS
ANDROID STUDIO

Nama Mahasiswa

: **Fadli Ferdinand Jaya**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2115031048

Jurusan

: Teknik Elektro

Fakultas

: Teknik



Yetti Yuniati, S.T., M.T.

NIP. 19800113 200912 2 002

Zulmiftah Huda, S.T., M.Eng.

NIP. 19880624 201903 1 015

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ketua Program Studi Teknik Elektro

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Herlinawati'.

Herlinawati, S.T., M.T.

NIP.19710314 199903 2 001

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Sumadi'.

Sumadi, S.T., M.T.

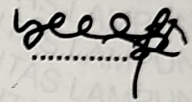
NIP.19731104 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

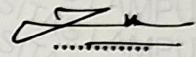
Ketua

: **Yetti Yuniati, S.T., M.T.**



Sekretaris

: **Zulmiftah Huda, S.T., M.Eng.**



Penguji Utama

: **Misfa Susanto, S.T., M.Sc., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. ✓

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **06 Agustus 2025**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi yang saya buat dengan judul “Rancang Bangun Sistem Pemantauan Penggunaan Energi Listrik Berbasis Iot Dengan Integrasi *Firebase*, Serta Pengembangan *Smart App For Visualizing Energy (SAVE)* Berbasis *Android Studio*” dibuat tidak berdasarkan karya yang pernah dilakukan orang lain. Bahwa karya ini tidak terdapat karya lain atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan didalam Daftar Pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 14 Agustus 2025



Fadli Ferdinand Jaya

NPM. 2115031048

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Bandar Lampung, pada tanggal 6 Februari 2003 sebagai anak keempat dari 4 bersaudara, anak dari bapak Saifullah dan ibu Suhaimah. Pendidikan Sekolah Dasar diselesaikan di SD Negeri 2 Sumberejo pada tahun 2015, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 26 Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2018, dan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK 2 Mei Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2021. Pada tahun 2021 saya terdaftar sebagai mahasiswa. di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) selama dua periode kepengurusan, sebagai Anggota Departemen Pengembangan Keteknikan (Bangtek) Divisi Penelitian dan Pengembangan pada periode pertama dan Anggota Departemen Komunikasi dan Informasi (Kominfo) Divisi Media Informasi pada periode kedua. Penulis juga termasuk anggota luar biasa Koperasi Mahasiswa Universitas Lampung (Kopma Unila). Penulis mengambil konsentrasi Telekomunikasi dan Teknik Informasi pada semester 5 dan secara aktif mengikuti kegiatan penelitian di Labolatorium Telekomunikasi. Penulis pernah menjadi Asisten Praktikum Labolatorium Telekomunikasi selama 3 semester di tahun 2024 – 2025. Penulis pernah mengikuti kegiatan Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) studi independen di Orbit – AI 4 Jobs yang berfokus pada Data Science. Selain itu penulis juga mendapatkan dua kali pendanaan dari Belmawa pada program Program Penguatan Kapasitas Organisasi Kemahasiswaan (PPK Ormawa) pada tahun 2023 mewakili nama HIMATRO dan juga pada tahun 2024 mewakili nama Kopma Unila

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”

(QS. Al-Baqarah: 286)

“Bersyukurlah kepada Allah. Dan barangsiapa yang bersyukur (kepada Allah),
maka sesungguhnya ia bersyukur untuk dirinya sendiri.”

(QS. Luqman: 12)

“Never give up without even trying. Do what you can, no matter how small the
effect it may have.”

(Ōhnoki, Naruto — Masashi Kishimoto)

“Dunia boleh saja menahanku, atau perlahan bongkar mimpiku.

Ku punya doa Ibu.”

(Tapi – Perunggu)

PERSEMBAHAN

Setiap langkah dalam perjalanan ini adalah jejak cinta, doa, dan pengorbanan.

Untuk itu, dengan penuh rasa syukur, kupersembahkan kepada:

Bapak dan Emak

Serta

Kakak-kakakku

Terima kasih telah membesarkan dan membimbing dengan penuh kasih sayang, selalu memotivasi dan memberi dukungan moril maupun materi, selalu mendoakan kesuksesan Penulis, serta segala bentuk pengorbanan dan semua hal yang telah diberikan kepada Penulis yang tidak akan pernah bisa terbalas, semoga Allah selalu melindungi kalian.

Dan juga rekan-rekan

KTW LIGA PES

TEKNIK ELEKTRO B 2021

EXCALTO 2021

Terima kasih atas kebersamaan, motivasi, kerjasama, dan rasa kekeluargaan yang luar biasa. Dukungan kalian telah membuat proses studi ini penuh warna dan makna.

SANWACANA

Puji Syukur bagi Allah SWT atas berkah, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul skripsi **“Rancang Bangun Sistem Pemantauan Penggunaan Energi Listrik Berbasis IoT dengan Integrasi Firebase, Serta Pengembangan *Smart App for Visualizing Energy* (SAVE) Berbasis Android Studio”** sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Penulis memperoleh bimbingan dan arahan dari berbagai pihak dalam proses penyelesaian skripsi. Sehingga atas kesempatan serta kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Saifullah dan Ibu Suhaimah selaku kedua Orang Tua penulis yang telah memberikan dukungan dan do'a hingga pada saat ini kepada penulis.
2. Ibu Yetti Yuniati, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing Skripsi yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan motivasi, ilmu, dan saran kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Bapak Zulmiftah Huda, S.T., M.Eng. sebagai pembimbing pendamping, yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan memberi dukungan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
4. Bapak Misfa Susanto, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan, kritik dan motivasi kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
5. Bapak Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Kepala Laboratorium Teknik Telekomunikasi yang telah memberikan kesempatan dan membimbing penulis untuk belajar serta memberikan pengalaman yang baik untuk penulis.
6. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, M.T. selaku Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis sejak awal perkuliahan.

7. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
8. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
9. Segenap dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu dan pelajaran yang sangat bermanfaat selama menjalani perkuliahan.
10. Kakak-kakak penulis yang telah memberi dukungan kepada penulis selama ini.
11. Luis Fernando Simbolon, sebagai teman satu bimbingan yang telah menemani dan mendukung penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
12. KTW LIGA PES, sebagai teman-teman yang menemani selama pengerjaan skripsi dan menjadi tempat berkeluh kesah, canda tawa, serta memberi motivasi kepada penulis.
13. Teknik Elektro B 2021, sebagai teman-teman yang menemani dari awal masa perkuliahan hingga menyelesaikan perkuliahan ini.
14. Tim PPK Ormawa Gisting, yang telah memberikan pengalaman yang luar biasa pada saat pelaksanaan program dan kebersamaan yang tidak terlupakan.
15. Podcast Seminggu, merupakan sinilar komedi yang telah menemani penulis selama pengerjaan skripsi sehingga membuat penulis untuk tetap tertawa bahagia dengan candaannya dan terhindar dari stres.
16. EXCALTO 21, yang telah memberikan motivasi, dan bantuan selama kuliah.
17. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam proses pembuatan skripsi.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, akan tetapi penulis berharap semoga skripsi yang sederhana ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya. Semoga segala dukungan, bimbingan, dan doa yang diberikan kepada penulis mendapatkan balasan dari Allah SWT.

Aamiin.

Bandar Lampung, 9 Agustus 2025

Fadli Ferdinand Jaya

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
LEMBAR PENGESAHAN	vi
SURAT PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	18
1.1 Latar Belakang	18
1.2 Tujuan Penelitian	19
1.3 Rumusan Masalah	19
1.4 Batasan Masalah	19
1.5 Manfaat Penelitian	20
1.6 Sistematika Penulisan	20
II. TINJAUAN PUSTAKA	22
2.1 Penelitian Terdahulu	22
2.2 <i>Internet of Things</i> (IoT)	31
2.3 ESP32	31
2.4 Modul PZEM-004T	32
2.5 <i>Arduino IDE</i>	34
2.6 <i>Power Supply</i>	34
2.7 <i>Firestore Realtime Database</i>	34
2.8 <i>Android Studio</i>	35
2.9.1 <i>Kotlin</i>	35
2.9.2 <i>Jetpack Compose</i>	36
2.9 Perhitungan Daya Listrik	36

III.	METODOLOGI PENELITIAN	38
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	38
3.2	Alat dan Bahan.....	38
3.3	Diagram Alir Penelitian	39
3.4	Arsitektur Sistem SAVE	45
3.5	Desain Tampilan Aplikasi	47
3.6	Rancangan <i>Printed Circuit Board</i> (PCB)	48
3.7	Struktur Data <i>Firebase</i>	51
3.8	Integrasi Sistem.....	52
3.9	Metode Pengujian	54
3.10	Indikator Keberhasilan.....	55
3.11	Tahap Analisis Hasil	56
3.11.1	Pengujian Kinerja Sensor	56
3.11.2	Pengambilan Data dan Pengujian Kinerja Akuisisi Data ...	56
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	58
4.1	Realisasi Perancangan Sistem.....	58
4.1.1	Realisasi Aplikasi.....	58
4.1.2	Realisasi <i>Hardware</i>	63
4.1.3	Realisasi <i>Firebase Realtime Database</i>	66
4.2	Evaluasi Sistem.....	68
4.3	Analisis Hasil	77
4.3.1	Hasil Pengujian Kinerja Sensor	77
4.3.2	Hasil Pengujian Kinerja Akuisisi Data Perangkat.....	79
4.3.3	Visualisasi Data Hasil Pengukuran Perangkat	82
V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	86
5.1	Kesimpulan	86
5.2	Saran	87
	DAFTAR PUSTAKA.....	88
	LAMPIRAN.....	92

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 <i>State Of The Art</i> Penelitian.....	30
Gambar 2. 2 ESP32 [15]	32
Gambar 2. 3 Sensor PZEM-004T [18].....	33
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	40
Gambar 3. 2 Arsitektur Sistem SAVE	46
Gambar 3. 3 Desain Tampilan Aplikasi	47
Gambar 3. 4 Wiring Diagram <i>Hardware</i>	49
Gambar 3. 5 Layout PCB Tampak Atas	50
Gambar 3. 6 Layout PCB Tampak Bawah	50
Gambar 3. 7 Diagram Blok Proses Monitoring	53
Gambar 3. 8 Diagram Blok Proses Pengaturan Batas Penggunaan dan Harga.....	53
Gambar 3. 9 Diagram Blok Proses <i>Reset</i> Data Penggunaan.....	54
Gambar 4. 1 Tampilan <i>Home</i> Pada Aplikasi	59
Gambar 4. 2 Tampilan <i>Charts</i> Pada Aplikasi.....	60
Gambar 4. 3 Tampilan <i>Settings</i> Pada Aplikasi	61
Gambar 4. 4 Tampilan Notifikasi.....	63
Gambar 4. 5 Realisasi <i>Hardware</i>	64
Gambar 4. 6 PCB Tampak Atas	65
Gambar 4. 7 PCB Tampak Bawah	65
Gambar 4. 8 Tampilan <i>Firebase Realtime Database</i>	66
Gambar 4. 9 Tampilan <i>Field</i> "sensor"	67
Gambar 4. 10 Tampilan <i>Field</i> "sensor_latest"	67

Gambar 4. 11 Tampilan <i>Field</i> "settings"	68
Gambar 4. 12 Serial Monitor Pengiriman Data ke <i>Firebase</i>	69
Gambar 4. 13 Serial Monitor <i>Reset</i> Energi	69
Gambar 4. 14 <i>Firebase</i> Menerima Data dari <i>Hardware</i>	70
Gambar 4. 15 Perbandingan Data di <i>Firebase</i> dan Aplikasi	71
Gambar 4. 16 Mengubah Batas Maksimal Penggunaan	72
Gambar 4. 17 Mengubah Harga Listrik	73
Gambar 4. 18 <i>Reset</i> Data Penggunaan Energi	74
Gambar 4. 19 Notifikasi saat Penggunaan 50%.....	75
Gambar 4. 20 Aplikasi Berjalan di Latar Belakang	76
Gambar 4. 21 <i>Field Timestamp</i>	79
Gambar 4. 22 <i>Field Timestamp</i> yang hilang	80
Gambar 4. 23 <i>Resampling</i> Data	81
Gambar 4. 24 <i>Missing value</i>	81
Gambar 4. 25 Visualisasi Data Tegangan.....	82
Gambar 4. 26 Visualisasi Data Arus.....	83
Gambar 4. 27 Visualisasi Data Daya.....	83
Gambar 4. 28 Visualisasi Data Penggunaan Energi.....	84

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....	28
Tabel 2. 2 Spesifikasi Sensor PZEM-004T [17]	33
Tabel 2. 3 Tarif Biaya Listrik [28].....	37
Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Tegangan.....	77
Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Arus.....	78
Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Faktor Daya	78

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan energi listrik yang efisien menjadi salah satu tantangan utama dalam kehidupan modern, terutama di sektor rumah tangga. Biaya listrik yang seringkali melebihi batas normal menjadi masalah yang banyak dialami, termasuk oleh penulis. Penggunaan energi listrik dapat dilihat langsung melalui kWh Meter. Akan tetapi, kWh Meter hanya dapat menampilkan penggunaan energi listrik. Hal tersebut membuat pengguna tidak dapat mengetahui biaya tagihan pemakaian listrik secara langsung, sehingga menjadi satu pertanyaan yang tidak terjawab bagi pengguna tentang pemakaian yang digunakan sehari-hari dan biaya yang harus dibayar [1].

Dalam hal ini, pengguna ingin bisa menghitung penggunaan listrik sehari-hari dan tagihan pemakaian listrik yang digunakan pada rumah. Hal tersebut, dapat memudahkan pengguna untuk mengetahui biaya energi listrik yang terpakai dengan biaya tagihan yang harus dibayar [1]. Selain itu, dengan adanya sistem notifikasi pengguna diharapkan dapat melakukan penghematan dalam penggunaan energi listrik jika penggunaan sudah melewati batas yang telah ditentukan.

Dengan adanya sistem monitoring konsumsi daya listrik berbasis *Internet of Things* (IoT), pengguna dapat dengan mudah mengetahui penggunaan energi listrik secara *realtime* dan memperoleh estimasi biaya yang harus dibayar setiap saat. Sistem ini memanfaatkan modul ESP32 sebagai mikrokontroler yang terhubung dengan sensor PZEM-004T untuk mengukur tegangan, arus, daya, dan energi listrik. Data yang diperoleh dari sensor kemudian dikirim ke *database cloud* seperti *Firebase*, sehingga dapat diakses kapan saja dan di mana saja melalui aplikasi *mobile*. Sistem ini juga dilengkapi dengan fitur notifikasi yang akan memberikan peringatan kepada pengguna jika konsumsi daya listrik mendekati batas penggunaan yang

ditentukan [2]. Dengan demikian, pengguna dapat mengambil langkah-langkah penghematan sebelum biaya listrik melewati batas. Dengan adanya informasi data penggunaan energi listrik yang tersaji secara *realtime* dan ditampilkan dalam bentuk visual seperti grafik, pengguna juga dapat dengan mudah mengidentifikasi waktu-waktu puncak penggunaan energi dan menyesuaikan kebiasaan pemakaian perangkat listrik.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring penggunaan daya listrik berbasis IoT menggunakan sensor PZEM-004T, ESP32 dan *Firebase*.
2. Mengembangkan aplikasi *Android* yang dapat menampilkan data penggunaan daya listrik secara *realtime* dan memberikan notifikasi ketika penggunaan energi mendekati batas yang ditentukan.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian yang dibahas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring penggunaan daya listrik berbasis IoT menggunakan sensor PZEM-004T, serta modul ESP32 dan *Firebase*?
2. Bagaimana mengembangkan aplikasi *Android* yang dapat menampilkan data penggunaan daya listrik secara *realtime* dan memberikan notifikasi ketika penggunaan energi mendekati batas yang ditentukan?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan sensor PZEM-004T untuk mengukur arus, tegangan, daya, energi pada listrik AC. Parameter listrik lainnya tidak termasuk dalam ruang lingkup penelitian.
2. Sistem ini dirancang untuk penggunaan dalam skala rumah tangga dan tidak diuji untuk skala industri.

3. Aplikasi dikembangkan untuk menampilkan data, grafik, serta memberikan notifikasi berdasarkan batas penggunaan energi yang ditentukan pengguna.
4. Aplikasi yang dikembangkan hanya untuk pengguna *Android*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan manfaat dalam penggunaan energi listrik di sektor rumah tangga. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk memantau konsumsi energi secara *realtime* dan memberikan notifikasi untuk pengguna mengambil tindakan seperti mengontrol penggunaan energi secara lebih efektif jika sudah melewati batas yang ditentukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian serta sistematika penulisan pada penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mengenai penelitian sebelumnya dan juga teori pendukung yang menjadi pengantar pemahaman dan berkaitan dengan materi penelitian yang didapat dari berbagai sumber ilmiah.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metodologi penelitian berupa waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, serta metode, alur, dan indikator keberhasilan penelitian yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang proses pengambilan data, hasil yang didapatkan data penelitian dan analisis data dari hasil penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran yang didasarkan pada hasil data mengenai perbaikan dan pengembangan lebih lanjut agar didapatkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini membahas tentang pemantauan konsumsi energi listrik berbasis IoT (*Internet of Things*) agar pengguna dapat memantau penggunaan listrik secara *realtime* dan efisien. Penelitian ini mengacu pada beberapa referensi artikel yang telah diterbitkan dalam jurnal.

Penelitian dengan judul “*Smart Energy Meter and Monitoring System using IoT*” dilakukan oleh Naziya Sulthana, Rashmi N, Prakyathi N Y, Bhavana S, dan K B Shiva Kumar dari Departemen Teknik Elektro dan Telekomunikasi, Sri Siddhartha *Institute of Technology*, Tumakuru, India. Penelitian ini diterbitkan dalam jurnal *International Journal of Engineering Research & Technology* (IJERT), Volume 8, Edisi Khusus Tahun 2020. Penelitian ini membahas tentang sistem pemantauan konsumsi energi listrik berbasis IoT yang mampu membaca data penggunaan energi secara otomatis dan mengirimkan data tersebut ke *cloud*. Sistem ini menggunakan *Arduino* sebagai mikrokontroler, modul *Wi-Fi FieldMCU*, *relay*, sensor PIR untuk mendeteksi gerakan manusia, serta aplikasi *ThingSpeak* sebagai platform penyimpanan dan visualisasi data. Energi listrik yang dikonsumsi diukur oleh *energy meter* dan ditampilkan dalam bentuk grafik konsumsi daya secara *realtime*. Selain pemantauan, sistem ini juga dilengkapi dengan fitur otomatisasi rumah yang memungkinkan pengguna untuk menyalakan atau mematikan perangkat listrik melalui aplikasi *mobile*. Jika konsumsi energi mencapai 90% dari batas maksimum, sistem akan mengirimkan notifikasi kepada pengguna [3].

Penelitian dengan judul “*Energy Monitoring using IoT*” dilakukan oleh Bandi Narasimha Rao dari Departemen Elektronika dan Komunikasi, NIT Warangal, India, serta Reddy Sudheer dari Departemen Elektronika dan Komunikasi, RGUKT Nuzvid, India. Penelitian ini diterbitkan dalam *prosiding Fifth International*

Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT-2020) yang dipublikasikan oleh IEEE. Penelitian ini membahas sistem pemantauan energi berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP8266 yang terhubung dengan modul *Wi-Fi* untuk memantau konsumsi energi listrik secara *realtime*. Sistem ini mampu menghitung daya listrik yang digunakan oleh perangkat beban dan menampilkan data konsumsi energi melalui alamat IP yang dihasilkan oleh modul *Wi-Fi* ESP8266. Selain pemantauan, sistem ini juga memungkinkan pengguna untuk mematikan perangkat yang mengonsumsi daya berlebih melalui aplikasi berbasis *MIT App Inventor*. Proses pengukuran energi dilakukan setiap 1 milidetik, dan nilai konsumsi energi dibandingkan dengan batas ambang (*threshold*) yang telah ditentukan. Jika konsumsi energi melebihi batas tersebut, perangkat dapat dimatikan secara otomatis melalui aplikasi. Sistem ini menggunakan bahasa pemrograman *Embedded C* dan dikembangkan menggunakan *software Arduino IDE* [4].

Penelitian dengan judul “*IoT Based Building Energy Monitoring and Controlling System Using LoRa Modulation and MQTT Protocol*” dilakukan oleh A Ramelan, F Adriyanto, C Hermanu B.A., M H Ibrahim, J S Saputro, dan O Setiawan dari Departemen Teknik Elektro, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia. Penelitian ini diterbitkan dalam *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1096*, Tahun 2021. Penelitian ini membahas sistem pemantauan dan pengendalian energi listrik berbasis IoT menggunakan komunikasi LoRa (*Long Range*) dan protokol MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). Sistem ini dirancang untuk memonitor penggunaan daya listrik secara *realtime* pada bangunan serta memungkinkan pengendalian perangkat listrik melalui aplikasi. Perangkat keras yang digunakan terdiri dari *Arduino Uno* sebagai mikrokontroler, *Dragino LoRa Shield* sebagai modul komunikasi, sensor tegangan ZMPT101B, sensor arus ACS712, dan modul *relay* untuk mengendalikan beban. Data hasil pengukuran dikirimkan ke platform IoT *ThingSpeak* menggunakan *LoRa Gateway Dragino LG01-N*. Protokol MQTT digunakan sebagai penghubung antara *Field* pengukuran dan *server cloud* dengan metode *publish-subscribe*. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi sensor sebesar 1,24% untuk tegangan, 2,60% untuk arus, dan 3,13% untuk daya [5].

Penelitian dengan judul “*Energy Monitoring System based on IoT*” dilakukan oleh Serhii Tsyruynyk, Volodymyr Tromsyuk, Maksym Tsyruynyk, dan Pavlo Rymar dari *Vinnitsia Technical College*, *Vinnitsia National Agrarian University*, dan *Vasyl' Stus Donetsk National University*, Ukraina. Penelitian ini diterbitkan dalam *CEUR Workshop Proceedings* pada ITTAP 2021: *International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems*. Penelitian ini membahas sistem pemantauan energi berbasis IoT untuk memantau konsumsi energi listrik secara jarak jauh melalui jaringan *Wi-Fi* dan memberikan notifikasi melalui email saat konsumsi energi mencapai batas tertentu. Sistem ini menggunakan *WeMos D1 Mini* berbasis ESP8266 sebagai mikrokontroler, sensor arus ACS712 untuk mengukur konsumsi arus, serta layanan *cloud Adafruit IO* dan IFTTT untuk menampilkan data dan mengirim notifikasi. Data konsumsi energi dikirim ke *cloud* melalui protokol MQTT dan ditampilkan dalam bentuk grafik menggunakan *Adafruit IO*. Jika konsumsi energi melebihi batas yang telah ditentukan, notifikasi otomatis akan dikirim melalui email menggunakan layanan IFTTT [6].

Penelitian dengan judul “*Applications of Energy Monitoring Using the IoT*” dilakukan oleh Weerathum Chaeyong dan Somchat Sonasang dari Departemen Teknologi Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Nakhon Phanom, Thailand. Penelitian ini diterbitkan dalam *SNRU Journal of Science and Technology*, Volume 14, Edisi 2, Mei–Agustus 2022. Penelitian ini membahas sistem pemantauan energi listrik berbasis IoT menggunakan mikrokontroler *FieldMCU* ESP8266 dan sensor arus PZEM-004T. Sistem ini dirancang untuk memantau parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, dan energi secara *realtime*, serta memberikan notifikasi jika terjadi konsumsi daya berlebih melalui aplikasi *LINE Notify*. Data hasil pengukuran dikirimkan ke platform *ThingSpeak* untuk penyimpanan dan visualisasi, serta dapat diakses melalui aplikasi *Blynk* pada *smartphone*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengukur beban tetap (*fixed load*) dengan tingkat kesalahan sebesar 0,004% untuk lampu 100 W, -0,31% untuk alat pemanas 600 W, dan -0,57% untuk pengering rambut 1.600 W. Sistem ini juga mampu memantau beban variabel (*variable load*) seperti *rice*

cooker, ketel listrik, dan pemanas makanan, dengan data yang ditampilkan secara kontinu setiap 15 detik [7].

Penelitian dengan judul “*IoT Based Realtime Energy Monitoring*” dilakukan oleh Hemanth Sai Madupu, Vijaya Anand Nidumolu, dan Venu Madhav Panchagnula dari Departemen Teknik Elektro dan Elektronika serta Departemen Teknik Elektronika dan Komunikasi, *PVP Siddhartha Institute of Technology*, India. Penelitian ini diterbitkan dalam jurnal *ICIC Express Letters*, Volume 16, Edisi 8, Agustus 2022. Penelitian ini membahas sistem pemantauan energi listrik berbasis IoT menggunakan mikrokontroler *FieldMCU* ESP8266 dan *smart meter* PZEM-004T. Sistem ini mampu memantau parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, dan energi secara *realtime*. Data yang diperoleh dari smart meter dikirimkan ke *server* menggunakan protokol Modbus dan ditransmisikan melalui jaringan *Wi-Fi* menggunakan *FieldMCU*. Data tersebut kemudian disimpan dalam *database* *Microsoft SQL Server* dan ditampilkan pada halaman web menggunakan bahasa pemrograman HTML dan C#. Pengguna dapat memantau konsumsi energi listrik secara jarak jauh melalui antarmuka *web*, di mana informasi seperti tegangan, arus, dan pola konsumsi daya ditampilkan dalam bentuk grafik. Sistem ini juga mendukung pemantauan pada sistem listrik satu fasa dan tiga fasa [8].

Penelitian dengan judul “*IoT-Based Energy Monitoring System for Energy Conservation*” dilakukan oleh Siti Aisyah Mohd, Norazlianie Sazali, Ahmad Shahir Jamaludin, dan Nurasyikin Misdan dari Universiti Malaysia Pahang dan Universiti Tun Hussein Onn Malaysia. Penelitian ini dipublikasikan dalam jurnal *E3S Web of Conferences*, Volume 437, pada konferensi *IConGEET* 2023. Penelitian ini membahas pengembangan sistem pemantauan konsumsi energi berbasis IoT untuk konservasi energi. Sistem ini menggunakan *Arduino* sebagai unit pemrosesan, sensor tegangan dan arus (*Current Transformer* SCT-013-000) untuk mengukur tegangan dan arus listrik, serta modul ESP8266 *Wi-Fi* untuk mentransmisikan data ke *cloud* menggunakan platform *ThingSpeak*. Data pemantauan dapat diakses melalui aplikasi seluler *ThingView* secara *realtime*. Sistem ini mampu memantau parameter listrik seperti tegangan, arus, daya aktif, daya semu, dan faktor daya. Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi sampling data

dapat meningkatkan akurasi pembacaan. Sistem ini diharapkan dapat membantu pengguna dalam mengelola konsumsi energi secara efisien, mengurangi pemborosan energi, dan mendukung konservasi energi berbasis teknologi IoT [9].

Penelitian dengan judul “*IoT Based Energy Monitoring and Control System*” dilakukan oleh Noor Ziad Taha dan Amara Istiqlal Badran dari Universitas Mosul, Irak, yang diterbitkan dalam jurnal *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology (IRJIET)*, Volume 7, Issue 3, Maret 2023. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pemantauan dan pengendalian konsumsi energi listrik berbasis IoT, yang memungkinkan pengguna memantau serta mengontrol perangkat listrik secara jarak jauh, termasuk memutus arus listrik jika arus melebihi ambang batas yang telah ditentukan. Sistem ini menggunakan ESP-32S *FieldMCU* sebagai mikrokontroler dan sensor PZEM-004T-100A untuk mengukur parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, dan faktor daya. Sistem ini terhubung ke *Blynk Server* sebagai *platform* IoT, dan pengguna dapat memantau data melalui *smartphone* menggunakan aplikasi *Serial Bluetooth Terminal* untuk proses inisialisasi awal serta aplikasi *Blynk* untuk pemantauan dan pengendalian. Sistem dilengkapi dengan layar TFT warna untuk menampilkan pengukuran listrik secara langsung, informasi konfigurasi sistem, serta status koneksi jaringan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengukur konsumsi energi secara *realtime*, mengontrol perangkat listrik melalui *relay*, dan memberikan informasi saat arus melebihi ambang batas yang ditentukan pengguna [10].

Penelitian dengan judul “*IoT-Based Electrical Power Recording using ESP32 and PZEM-004T Microcontrollers*” dilakukan oleh Kadek Amerta Yasa, I Made Purbhawa, I Made Sumerta Yasa, I Wayan Teresna, Aryo Nugroho, dan Slamet Winardi dari Politeknik Negeri Bali dan Universitas Narotama, yang diterbitkan dalam jurnal *Journal of Computer Science and Technology Studies*, Vol. 5, No. 4, 2023. Penelitian ini bertujuan untuk merancang prototipe kWh meter berbasis IoT yang dapat memudahkan perusahaan listrik dalam memantau penggunaan daya listrik pelanggan secara *realtime* dan mengurangi biaya operasional pencatatan manual. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor PZEM-004T untuk mengukur tegangan, arus, daya, faktor daya, frekuensi, dan energi listrik.

Data hasil pengukuran ditampilkan melalui *OLED display* dan dikirimkan ke *Firestore Realtime Database*, yang dapat diakses melalui aplikasi *Android* berbasis Kodular. Sistem ini juga dilengkapi *relay* untuk mengontrol beban listrik secara jarak jauh. Pengujian dilakukan menggunakan beban rumah tangga seperti lampu, kipas, setrika, dan solder. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini memiliki tingkat kesalahan pengukuran yang kecil, dengan *error* tegangan sebesar 0,35% dan *error* daya sebesar 1,45%. Sistem ini dinilai akurat dan layak digunakan untuk pencatatan konsumsi daya listrik berbasis IoT [11].

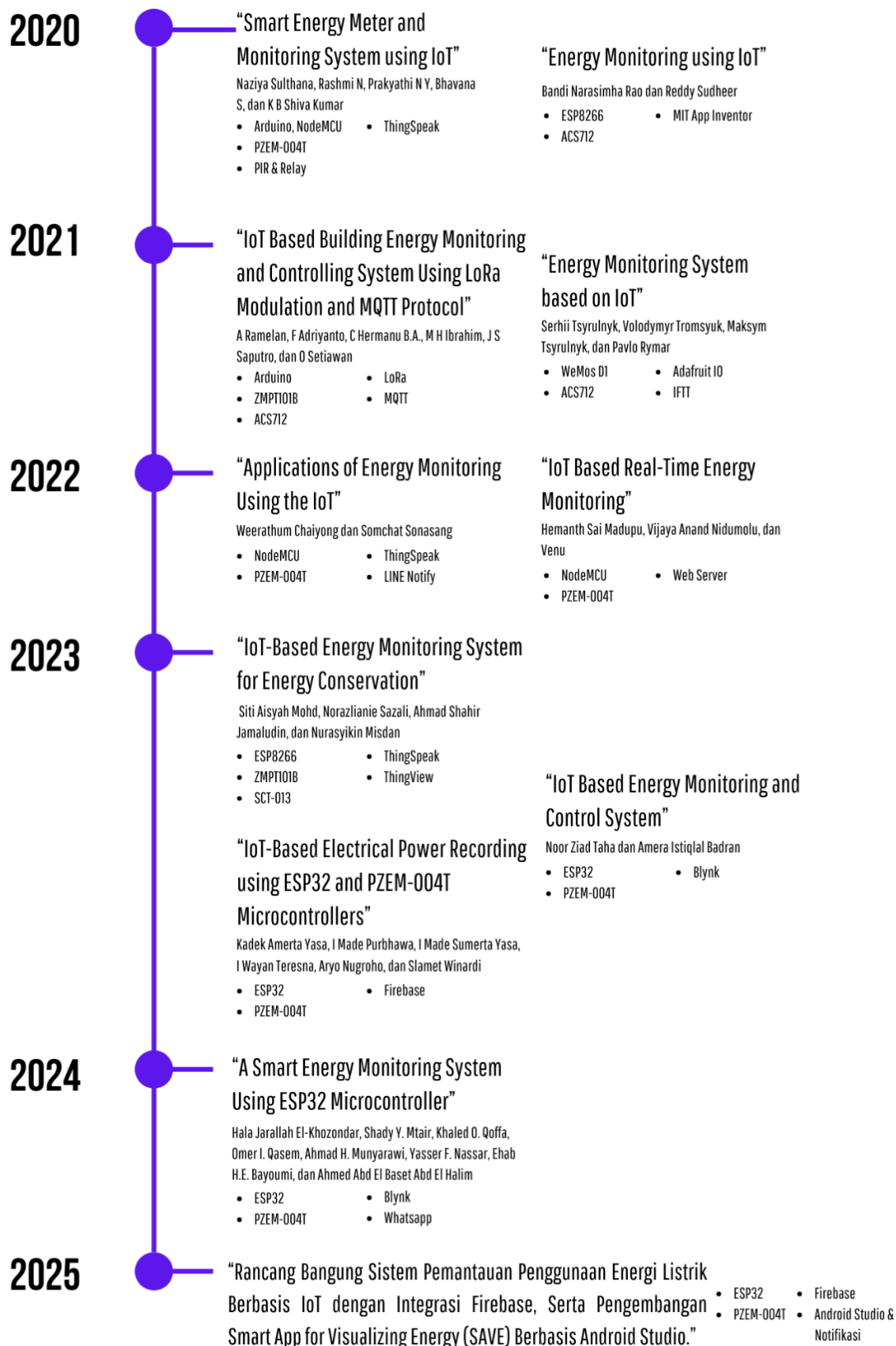
Penelitian dengan judul “*A Smart Energy Monitoring System Using ESP32 Microcontroller*” dilakukan oleh Hala Jarallah El-Khozondar, Shady Y. Mtair, Khaled O. Qoffa, Omer I. Qasem, Ahmad H. Munyarawi, Yasser F. Nassar, Ehab H.E. Bayoumi, dan Ahmed Abd El Baset Abd El Halim dari berbagai institusi di Palestina, Mesir, dan Libya. Penelitian ini diterbitkan dalam jurnal *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, Volume 9, Tahun 2024. Penelitian ini membahas sistem pemantauan energi listrik berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan *platform Blynk* sebagai antarmuka pemantauan data. Sistem ini mampu memantau parameter listrik seperti tegangan, arus, daya aktif, dan konsumsi energi kumulatif secara *realtime*. Data hasil pengukuran dikirimkan melalui jaringan *Wi-Fi* ke aplikasi *Blynk* dan juga memberikan notifikasi kepada pengguna melalui *WhatsApp*. Perangkat keras yang digunakan terdiri dari ESP32, meter energi PZEM-004T, dan modul *relay* untuk kendali perangkat. Sistem ini dirancang untuk membantu pengguna dalam memantau dan mengelola konsumsi energi listrik, baik dari jaringan listrik utama maupun generator pribadi, dengan fitur pembatasan konsumsi energi harian dan bulanan [12].

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No.	Judul	Penulis dan Tahun	Metode	Hasil
1	<i>Smart Energy Meter and Monitoring System using IoT</i>	Naziya Sulthana dkk., 2020	<i>Arduino, FieldMCU, PIR Sensor, ThingSpeak, Relay</i>	Pemantauan energi <i>realtime</i> dan otomatisasi rumah, notifikasi jika konsumsi mencapai 90% batas maksimum.
2	<i>Energy Monitoring using IoT</i>	Bandi Narasimha Rao & Reddy Sudheer, 2020	ESP8266, MIT App Inventor, Arduino IDE	Pemantauan <i>realtime</i> melalui alamat IP, pemutusan daya otomatis saat konsumsi melebihi ambang batas.
3	<i>IoT Based Building Energy Monitoring and Controlling System Using LoRa Modulation and MQTT Protocol</i>	A Ramelan dkk., 2021	<i>Arduino Uno, LoRa, MQTT, ThingSpeak, ZMPT101B, ACS712</i>	Pemantauan energi dengan tingkat akurasi 1,24% (tegangan), 2,60% (arus), dan 3,13% (daya).
4	<i>Energy Monitoring System based on IoT</i>	Serhii Tsyrlunyk dkk., 2021	<i>WeMos D1 Mini, ACS712, Adafruit IO, MQTT, IFTTT</i>	Pemantauan <i>realtime</i> dan notifikasi melalui email saat konsumsi energi melebihi batas.
5	<i>Applications of Energy Monitoring Using the IoT</i>	Weerathum Chaayong & Somchat Sonasang, 2022	<i>FieldMCU ESP8266, PZEM-004T, ThingSpeak, Blynk, LINE Notify</i>	Pemantauan energi dengan <i>error</i> 0,004% (lampu 100 W), – 0,31% (pemanas 600 W), dan –0,57% (pengering rambut 1.600 W).
6	<i>IoT Based Realtime Energy Monitoring</i>	Hemanth Sai Madupu dkk., 2022	<i>FieldMCU ESP8266, PZEM-004T, Modbus, SQL Server, HTML, C#</i>	Pemantauan energi satu fasa dan tiga fasa secara <i>realtime</i> melalui antarmuka web.

No.	Judul	Penulis dan Tahun	Metode	Hasil
7	<i>IoT-Based Energy Monitoring System for Energy Conservation</i>	Siti Aisyah Mohd dkk., 2023	Arduino, SCT-013-000, ESP8266, ThingSpeak, ThingView	Pemantauan parameter listrik secara <i>realtime</i> dengan peningkatan akurasi melalui frekuensi sampling yang lebih tinggi.
8	<i>IoT Based Energy Monitoring and Control System</i>	Noor Ziad Taha & Amera Istiqlal Badran, 2023	ESP-32S FieldMCU, PZEM-004T-100A, Blynk, Relay	Pemantauan dan pengendalian perangkat listrik, notifikasi saat arus melebihi ambang batas.
9	<i>IoT-Based Electrical Power Recording using ESP32 and PZEM-004T Microcontrollers</i>	Kadek Amerta Yasa dkk., 2023	ESP32, PZEM-004T, Firebase, OLED, Kodular	Pemantauan konsumsi daya listrik secara <i>realtime</i> dengan tingkat <i>error</i> tegangan 0,35% dan daya 1,45%.
10	<i>A Smart Energy Monitoring System Using ESP32 Microcontroller</i>	Hala Jarallah El-Khozondar dkk., 2024	ESP32, PZEM-004T, Blynk, WhatsApp Notification	Pemantauan energi secara <i>realtime</i> , pengelolaan konsumsi energi harian dan bulanan, notifikasi melalui WhatsApp.

Dalam suatu rancangan penelitian, dapat dibuat suatu *roadmap* yang menggambarkan perkembangan penelitian dimulai dari penelitian sebelumnya dan merencanakan penelitian yang akan dilakukan serta harapan untuk pengembangan penelitian setelahnya. Pengembangan dari penelitian sebelumnya, peneliti merancang suatu sistem yang dapat memantau penggunaan energi listrik di rumah serta dapat memberikan notifikasi jika penggunaan energi sudah mencapai batas menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler, *Firebase* sebagai *cloud* dan *backend*, serta *Android Studio* untuk pengembangan aplikasi. Dapat dilihat pada *state of the art* dari penelitian yang akan dilakukan pada Gambar 2. 1.

Gambar 2. 1 *State Of The Art* Penelitian

2.2 *Internet of Things (IoT)*

Internet of Things (IoT) adalah konsep di mana berbagai perangkat fisik, seperti sensor, peralatan rumah tangga, dan kendaraan, terhubung ke internet untuk mengumpulkan, berbagi, dan bertukar data tanpa interaksi manusia. Perangkat-perangkat ini dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan teknologi lainnya yang memungkinkan komunikasi antar perangkat melalui jaringan internet [13].

Cara kerja IoT melibatkan beberapa langkah utama yang memungkinkan perangkat untuk mengumpulkan, mengirim, dan menerima data. Berikut penjelasan singkat mengenai cara kerja IoT:

1. *Pengumpulan Data*

Objek atau perangkat yang dilengkapi dengan sensor untuk mengumpulkan data dari lingkungan.

2. *Konektivitas*

Jaringan komunikasi yang menghubungkan perangkat IoT dengan pusat data atau *cloud*. Proses ini memerlukan koneksi internet seperti *Wi-Fi*, *Bluetooth*, atau jaringan seluler.

3. *Action and Feedback*

Sistem dapat mengirimkan instruksi kembali ke perangkat IoT untuk melakukan tindakan tertentu. Contohnya seperti, menyalakan atau mematikan perangkat, mengirim notifikasi ke pengguna, atau mengatur pengaturan tertentu pada perangkat.

4. *User Interface*

Aplikasi atau *dashboard* yang memungkinkan pengguna memantau, mengontrol, dan berinteraksi dengan perangkat IoT secara *realtime* [13].

2.3 **ESP32**

ESP32 merupakan platform mikrokontroler yang memiliki performa cukup baik di kelasnya serta biaya yang relatif terjangkau untuk pengembangan aplikasi berbasis IoT. ESP32 dikembangkan oleh *Espressif Systems* yang berbasis di Shanghai, China. Mikrokontroler ini menawarkan kombinasi fitur dan kapabilitas yang unggul

untuk mendukung implementasi sistem IoT. Adapun fitur utama ESP32 yaitu *proccesor dual-core*, konektivitas *Wi-Fi* dan *Bluetooth* yang terintegrasi, jumlah pin *input/output* (GPIO) yang melimpah, dan konsumsi daya yang rendah [14].



Gambar 2. 2 ESP32 [15]

Bahasa yang paling umum digunakan adalah C++, yang dapat diprogram melalui *Arduino IDE* atau PlatformIO. Selain itu, terdapat juga ESP-IDF (*Espressif IoT Development Framework*), yaitu kumpulan pustaka dan alat khusus untuk pengembangan ESP32 [14].

2.4 Modul PZEM-004T

Modul PZEM-004T adalah modul sensor multifungsi yang berfungsi untuk mengukur daya, tegangan, arus, dan energi yang terkandung dalam arus listrik. Modul ini dilengkapi dengan sensor tegangan dan sensor arus jenis *Current Transformer* (CT) yang sudah terintegrasi. Dalam penggunaannya, modul ini dirancang khusus untuk penggunaan di dalam ruangan (*indoor*), dan beban yang dipasang tidak diperbolehkan melebihi daya yang telah ditentukan [16]. Penggunaan modul PZEM-004T dalam sistem ini dipilih karena modul ini memiliki kemampuan pengukuran parameter listrik yang lengkap, termasuk tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, dan faktor daya. Modul ini juga dirancang untuk mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti ESP32 melalui komunikasi serial, sehingga mendukung penerapan dalam sistem IoT. Selain itu, PZEM-004T memiliki sensor arus berbasis *Current Transformer* (CT) yang mempermudah instalasi tanpa memerlukan pengkabelan rumit. Akurasi pengukuran yang cukup baik serta kemampuannya untuk melakukan *reset* data energi juga menjadi alasan

utama dalam pemilihannya, sehingga sesuai dengan kebutuhan dalam pemantauan dan pengelolaan konsumsi energi listrik secara *realtime*.



Gambar 2. 3 Modul PZEM-004T [18]

Berikut adalah spesifikasi pengukuran dari modul PZEM-004T:

Tabel 2. 2 Spesifikasi Sensor PZEM-004T [17]

Parameter	Spesifikasi			
	Range	Starting	Accuracy	Resolution
<i>Voltage</i>	80 - 260 V		0.5%	0.1 V
<i>Current</i>	0 - 100 A	0.02 A	0.5%	0.001 A
<i>Active Power</i>	0 - 23 kW	0.4 W	0.5%	0.1 W
<i>Power Factor</i>	0.00 - 1.00		1%	0.01
<i>Frequency</i>	45 - 65 Hz		0.5%	0.1 Hz
<i>Active Energy</i>	0 - 9999.99 kWh		0.5%	1 kWh

Terdapat beberapa fitur pada modul ini diantaranya:

1. Fungsi

- Fungsi pengukuran (tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, dan *power Factor*)
- *Reset* perhitungan daya(menggunakan perangkat lunak) [17].

2.5 *Arduino IDE*

Arduino IDE (Integrated Development Environment), adalah *software* yang digunakan untuk membuat logika pemrograman terintegrasi untuk melakukan pengembangan pada berbagai macam *hardware*, *Arduino IDE* berperan untuk menuliskan program, meng-*compile* menjadi kode biner dan meng-*upload* kedalam *memory microcontroller*. Bahasa C/C++ digunakan sebagai bahasa pemrograman pada *software Arduino IDE* untuk membuat logika input dan output [19].

Dalam penelitian ini, *Arduino IDE* digunakan untuk memprogram mikrokontroler ESP32 agar dapat membaca data dari sensor PZEM-004T dan mengirimkan hasil pengukuran daya listrik ke platform *Firebase*. Dengan menggunakan *Arduino IDE*, proses integrasi perangkat keras dengan sistem pemantauan daya listrik berbasis IoT menjadi lebih mudah dan efisien.

2.6 *Power Supply*

Power supply (catu daya) adalah suatu rangkaian elektronik yang mengubah arus listrik AC (bolak – balik) menjadi arus listrik DC (searah). *Power supply* merupakan sebuah peralatan yang berfungsi sebagai penyedia daya untuk peralatan lainnya [20]. Pada penelitian ini, tegangan yang digunakan 5 volt untuk *receiver* pada mikrokontroler. *Power supply* mengubah tegangan DC 5 volt dari sumber daya listrik PLN menjadi tegangan DC 5 volt yang kemudian digunakan untuk tegangan *input* mikrokontroler.

2.7 *Firebase Realtime Database*

Firebase Realtime Database merupakan layanan basis data *NoSQL* berbasis *cloud* yang memungkinkan data tersimpan dan tersinkronisasi antar pengguna secara *realtime*. Layanan ini cocok untuk aplikasi yang membutuhkan pembaruan data langsung, seperti aplikasi monitoring, karena data yang dimasukkan akan langsung terlihat oleh pengguna lain yang terhubung [21]. *Firebase* digunakan dalam penelitian ini sebagai sistem penyimpanan dan pengambilan data energi listrik

secara *realtime*. Dengan struktur berbasis JSON, *Firebase* memungkinkan perangkat IoT untuk mengirimkan data sensor secara periodik, yang kemudian dapat diakses dan divisualisasikan melalui aplikasi *Android*. Selain itu, *Firebase Realtime Database* menawarkan fitur *synchronization*, yang memastikan bahwa setiap perubahan data langsung diperbarui di perangkat yang terhubung.

Dalam penelitian ini, *Firebase* digunakan dalam versi gratis (*Spark Plan*), yang memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya 100 koneksi simultan, 1 GB penyimpanan data, serta 10 GB *bandwidth* unduhan per bulan. Meskipun memiliki batasan, layanan ini tetap memungkinkan penyimpanan data historis selama tidak melebihi kapasitas yang disediakan. Oleh karena itu, untuk mengelola keterbatasan penyimpanan, data akan diekspor secara manual dalam format JSON pada periode tertentu sebagai arsip dan cadangan.

2.8 *Android Studio*

Android Studio adalah sebuah *Integrated Development Environment* (IDE) yang dipakai untuk membuat sebuah aplikasi. IDE adalah sebuah aplikasi yang membantu para pengembang dalam menulis, menguji, dan mempublikasikan aplikasi [22]. *Android Studio* yang penulis gunakan merupakan versi *Hedgehog* 2023.1.1. Versi ini digunakan karena menyesuaikan spesifikasi dari laptop yang dipakai. Versi ini juga sudah dilengkapi dengan *framework Jetpack Compose* yang memudahkan penulis untuk membuat tampilan UI dan Bahasa pemrograman yang digunakan yaitu *Kotlin*. Aplikasi yang dikembangkan pada penelitian ini yaitu berada pada *Android API Level* 35, yaitu setara dengan *Android* versi 15 dan minimalnya berada pada *Android API Level* 26 yang setara dengan *Android* versi 8.0.

2.9.1 *Kotlin*

Kotlin adalah bahasa pemrograman berbasis *Java Virtual Machine* (JVM). *Kotlin* merupakan bahasa pemrograman yang pragmatis untuk *Android* yang mengkombinasikan *Object Oriented* (OO) dan bahasa fungsional. *Kotlin* juga bahasa pemrograman yang interoperabilitas yang membuat bahasa ini dapat

digabungkan dalam satu *project* dengan bahasa pemrograman *Java*. Bahasa pemrograman ini juga dapat digunakan untuk pengembangan aplikasi berbasis *desktop*, *web* dan *backend* [23].

2.9.2 *Jetpack Compose*

Jetpack Compose adalah *toolkit* modern untuk membangun antarmuka pengguna (UI) asli di *Android*. *Jetpack Compose* menyederhanakan dan mempercepat pengembangan UI dengan alat yang canggih serta *API Kotlin* yang intuitif. *Jetpack Compose* menggunakan pendekatan deklaratif, artinya pengembang hanya perlu mendeskripsikan tampilan UI, dan *Compose* akan menangani proses pembuatannya [24].

2.9 Perhitungan Daya Listrik

Perhitungan daya listrik dapat menggunakan rumus di bawah ini [25]:

$$P = V \times I \times \cos\varphi \dots\dots\dots(2. 1)$$

Dimana:

P : Daya Listrik dengan satuan *Watt* (W)

V : Tegangan Listrik dengan satuan *Volt* (V)

I : Arus Listrik dengan satuan *Ampere* (A)

$\cos\varphi$: Faktor Daya

Perhitungan biaya penggunaan listrik dapat menggunakan rumus di bawah ini [26]:

$$\text{Biaya listrik perjam} = \frac{P}{1000} \times \text{Biaya per kWh} \dots\dots\dots(2. 2)$$

$$\text{Biaya listrik permenit} = \frac{P}{1000} \times \frac{1}{60} \times \text{Biaya per kWh} \dots\dots\dots(2. 3)$$

Biaya per kWh pelanggan rumah tangga terdiri dari 5 jenis golongan yaitu:

Tabel 2. 3 Tarif Biaya Listrik [27]

Golongan	Batas Daya	Prabayar (/kWh)
R-1/TR	900 VA	Rp 1.352
R-1/TR	1.300 VA	Rp 1.444,70
R-1/TR	2.200 VA	Rp 1.444,70
R-2/TR	3.500 – 5.500 VA	Rp 1.669,53
R-3/TR	6.600 VA	Rp 1.669,53

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di dua lokasi utama, yaitu di Laboratorium Terpadu Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung serta di rumah pribadi milik penulis sebagai tempat untuk melakukan pengujian lanjutan dan simulasi penggunaan sistem dalam kondisi nyata. Laboratorium digunakan sebagai tempat untuk merakit perangkat keras, mengembangkan aplikasi, serta melakukan pengujian awal terhadap sistem yang dibangun, sedangkan rumah pribadi digunakan sebagai lokasi implementasi dan uji coba sistem secara langsung.

Adapun waktu pelaksanaan penelitian ini dimulai sejak bulan Januari 2025 dan berlangsung hingga bulan Juni 2025, yang mencakup seluruh proses mulai dari tahap perencanaan, pengumpulan alat dan bahan, perancangan sistem, integrasi, evaluasi, hingga penyusunan laporan akhir.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Alat

Alat adalah perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan selama proses perancangan, pemrograman, dan pengujian sistem.

- a) *Arduino IDE* sebagai perangkat lunak untuk memprogram mikrokontroler.
- b) *Android Studio* sebagai perangkat lunak untuk membangun aplikasi *Android*.
- c) *Diptrace* sebagai perangkat lunak untuk merancang desain PCB agar rangkaian elektronik lebih terstruktur.

- d) Laptop sebagai perangkat utama untuk perancangan dan pengujian sistem.
- e) *Smartphone Android* sebagai perangkat keras untuk menjalankan dan menguji aplikasi pemantauan energi.

2. Bahan

Bahan merupakan komponen utama yang menjadi bagian dari sistem akhir dan terus berfungsi selama sistem berjalan.

- a) ESP32 sebagai mikrokontroler yang mengendalikan sistem, membaca data dari sensor, dan mengirim data ke *Firebase*.
- b) Sensor PZEM-004T untuk mengukur arus, tegangan, dan daya listrik AC.
- c) *Power Supply* sebagai sumber catu daya untuk menjalankan mikrokontroler dan sensor.
- d) *Firebase* sebagai *backend* berbasis *cloud* yang menyimpan data konsumsi energi dan memungkinkan komunikasi antara perangkat keras dan aplikasi.

3.3 Diagram Alir Penelitian

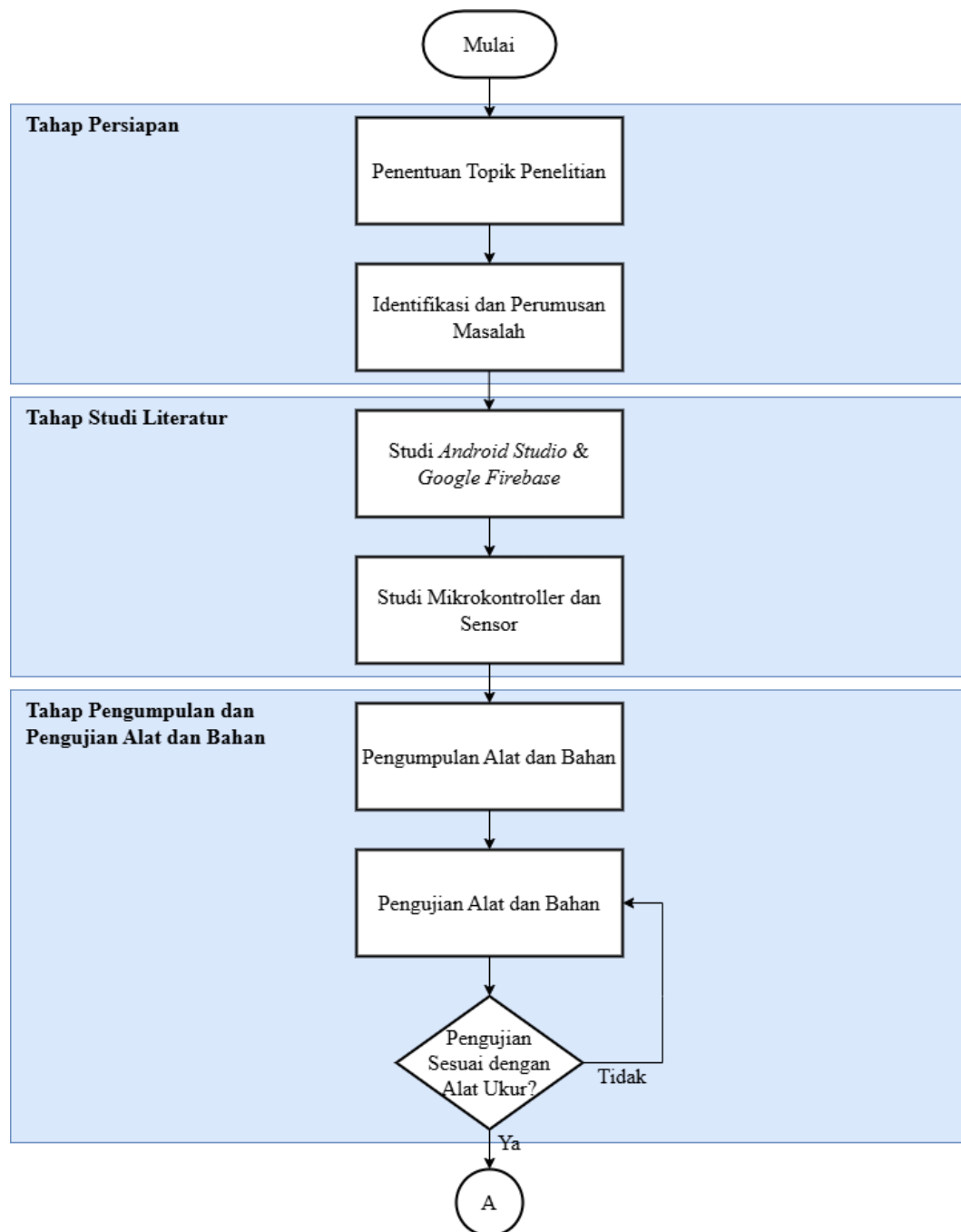
Penelitian ini disusun secara sistematis dan terstruktur melalui serangkaian tahapan yang saling berkaitan. Untuk menggambarkan keseluruhan proses yang dilakukan selama pelaksanaan penelitian, maka digunakan sebuah diagram alir sebagai representasi visual dari alur kerja penelitian. Diagram alir ini bertujuan untuk mempermudah pemahaman terhadap setiap langkah yang ditempuh, mulai dari perencanaan awal hingga penyusunan laporan akhir.

Setiap tahapan dalam diagram alir mencerminkan proses yang dijalankan secara berurutan, di mana hasil dari satu tahap akan menjadi dasar untuk melanjutkan ke tahap berikutnya. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap bagian dari penelitian dilakukan secara runtut dan logis, serta dapat dipertanggungjawabkan baik secara teoritis maupun praktis.

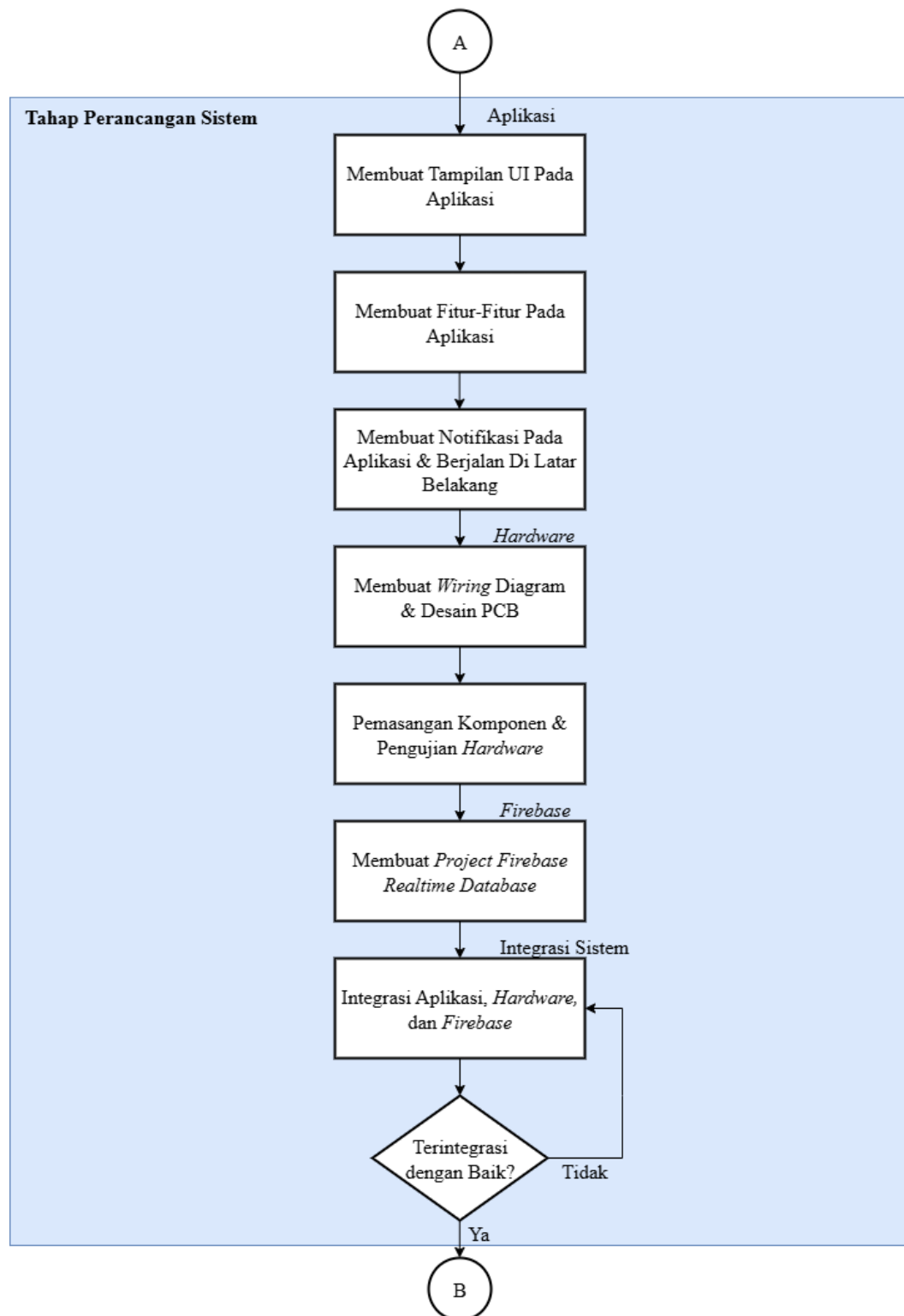
Dengan adanya diagram alir ini, diharapkan pembaca dapat memahami kerangka berpikir dan pendekatan metodologis yang digunakan dalam penelitian, serta

memperoleh gambaran menyeluruh mengenai proses pengembangan sistem yang dilakukan, mulai dari identifikasi masalah, studi literatur, pengumpulan alat, perancangan sistem, integrasi, evaluasi, hingga analisis hasil.

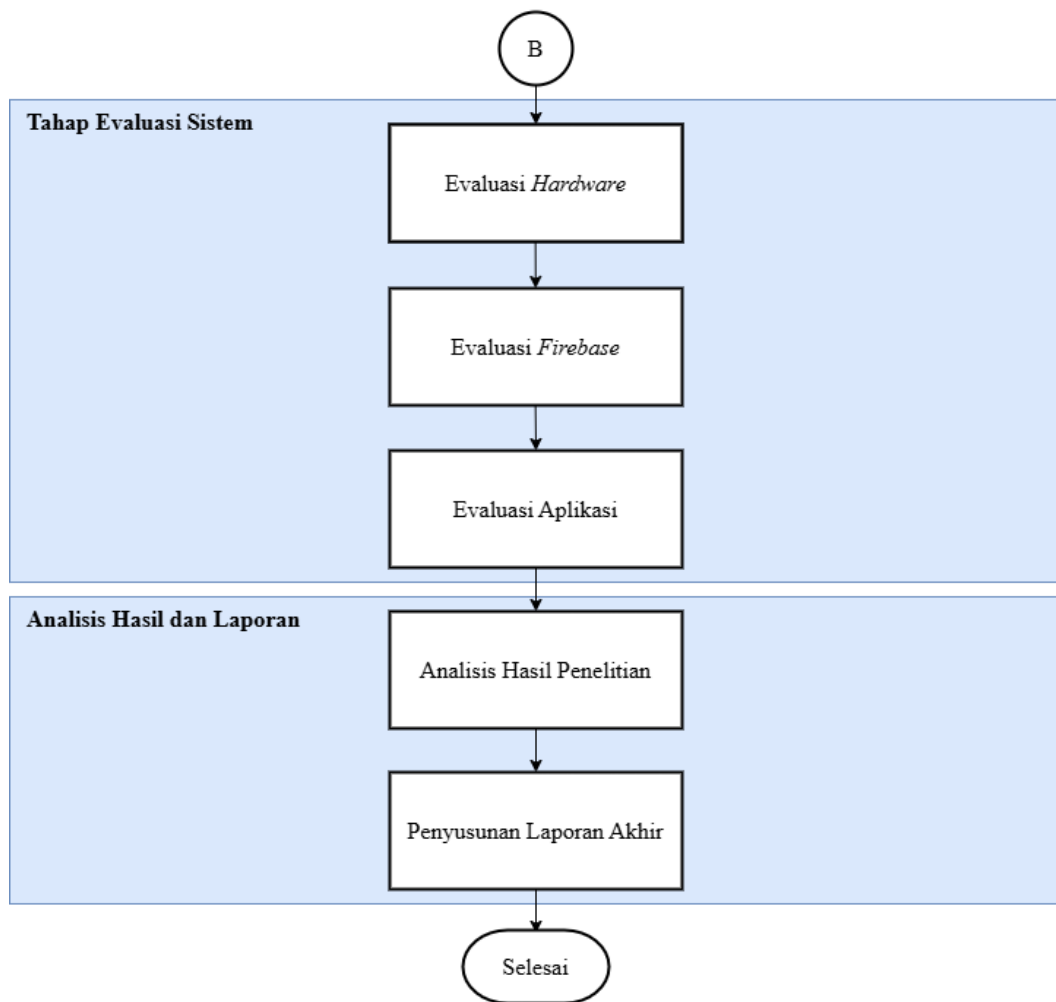
Adapun tahap-tahap yang dilakukan untuk menyusun penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian (lanjutan)



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

Berdasarkan Diagram Alir Penelitian tersebut dapat dilihat bahwa penelitian yang dilakukan terdiri dari tahap persiapan, tahap studi literatur, tahap pengumpulan dan pengujian alat, tahap perancangan sistem, tahap evaluasi, serta analisis hasil dan laporan.

1. Tahap Persiapan

Tahap ini merupakan langkah awal yang dilakukan dalam penelitian yang bertujuan untuk menentukan arah dan tujuan penelitian ini. Pada tahap ini penulis akan menentukan topik yang dibahas serta mengidentifikasi dan merumuskan masalah.

- a) Penentuan Topik Penelitian dilakukan untuk memilih topik yang sesuai dengan bidang penelitian dari penulis serta relevan dengan kebutuhan saat ini.

- b) Identifikasi dan Perumusan Masalah merupakan tahap mendapatkan gambaran permasalahan yang akan dirumuskan untuk diselesaikan dalam penelitian ini.

2. Tahap Studi Literatur

Tahap ini dilakukan dengan tujuan meningkatkan pemahaman untuk penulis dari para ahli dan para praktisi teknologi yang memiliki peranan aktif dalam mengembangkan teknologi. Kegiatan ini dilakukan dengan mempelajari dan memahami topik yang berkaitan dari berbagai literatur yang berasal dari beberapa macam referensi maupun sumber ilmiah yang resmi seperti penelitian terdahulu, jurnal, *e-book*, dan artikel resmi.

- a) Studi *Android Studio & Firebase* dilakukan untuk memahami penggunaan dari *Android Studio & Firebase* yang akan digunakan sebagai dasar pengembangan aplikasi.
- b) Studi Sensor dan ESP32 dengan menganalisis spesifikasi sensor yang layak digunakan serta cara menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler pada penelitian ini.

3. Tahap Pengumpulan dan Pengujian Alat dan Bahan

Tahap ini dilakukan untuk mengumpulkan komponen yang akan digunakan dalam penelitian serta pengujian alat untuk memastikan alat dalam kondisi baik.

- a) Pengumpulan Alat dan Bahan ini merupakan tahap untuk menyiapkan perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan. Perangkat keras yang digunakan seperti, ESP32 sebagai mikrokontroler, PZEM-004T sebagai sensor, *Power Supply*, *Multimeter* sebagai alat ukur dan untuk perangkat lunak yang digunakan adalah *Android Studio*, *Firebase*, *Arduino IDE*, dan *Diptrace*.
- b) Pengujian Alat dan Bahan dilakukan untuk memastikan alat dan bahan berfungsi dengan baik sebelum digunakan dalam penelitian. Pada tahap ini penulis menggunakan *multimeter* dan juga laptop sebagai *validasi* apakah alat tersebut berfungsi dengan baik atau tidak.

4. Tahap Perancangan Sistem

Tahap ini merupakan tahap untuk melakukan perancangan dan integrasi sistem. Dalam perancangan terdiri dari tiga aspek yaitu perancangan aplikasi, perancangan *Hardware*, dan perancangan *Firebase*. Dari ketiga aspek tersebut akan diintegrasikan menjadi sebuah sistem.

- a) Perancangan Aplikasi merupakan tahap untuk membuat aplikasi yang akan berjalan pada *Android*. Pada tahap ini penulis menggunakan *Android Studio* sebagai perangkat lunak untuk pengembangan aplikasi *Android*. Tahap awal yang dilakukan tahap ini yaitu membuat tampilan UI (*Unit Interface*) pada aplikasi. Setelah itu penulis menambahkan beberapa fitur yaitu mengubah batas penggunaan energi, mengubah harga per kWh, dan *reset* data penggunaan energi. Penulis juga menambahkan fitur notifikasi pada aplikasi dan membuat aplikasi tetap berjalan di latar belakang perangkat *user*.
 - b) Perancangan *Hardware* merupakan tahap untuk membuat perangkat monitoring yang terdiri dari ESP32 dan PZEM-004T. Pada tahap ini diawali dengan membuat *wiring* diagram dari perangkat. Selanjutnya membuat desain PCB agar perangkat lebih rapi dan aman. Setelah itu, dilakukan pemasangan komponen dan pengujian *Hardware* untuk memastikan perangkat bekerja sesuai dengan desain.
 - c) Perancangan *Firebase* merupakan tahap untuk membuat backend yang berfungsi sebagai *cloud* dan *database* untuk menyimpan data dan mengirim data ke aplikasi. Tahap ini dilakukan dengan membuat *Project Firebase Realtime Database*, yaitu dengan mengatur *Database URL* sebagai alamat *database* untuk menyimpan data, setelah itu mengatur *API Key* yang digunakan sebagai kode autentikasi untuk perangkat mengakses *Firebase*.
 - d) Integrasi Aplikasi, *Hardware*, dan *Firebase* merupakan tahap untuk menghubungkan aplikasi, *hardware*, dan *Firebase* agar menjadi sistem yang dapat bekerja dengan baik secara bersamaan.
5. Tahap Evaluasi
- Tahap ini dilakukan untuk menguji keberhasilan dari sistem yang telah dirancang.

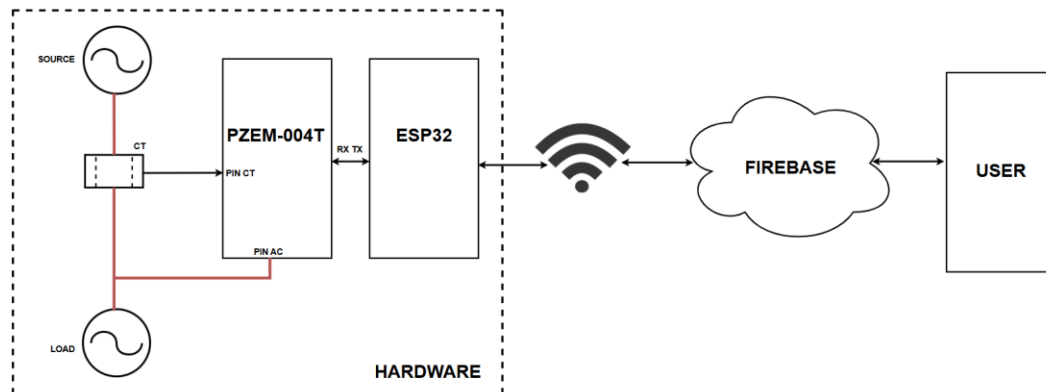
- a) Evaluasi *Hardware* dalam mengirim data ke *Firebase* untuk memastikan data terkirim dengan baik dan sesuai dengan waktu yang sudah ditentukan, dan *Hardware* dapat menerima perintah dari *Firebase* seperti melakukan *reset* data.
 - b) Evaluasi *Firebase* dalam memperbarui data yang diterima dari *hardware* dan aplikasi secara *realtime*, *Firebase* dapat mengirimkan data ke aplikasi secara *realtime*, dan *Firebase* dapat melakukan perintah dari aplikasi.
 - c) Evaluasi Aplikasi dalam menampilkan data dari *Firebase* secara *realtime*, aplikasi dapat mengirim perintah ke *Firebase*, dan Aplikasi dapat memunculkan notifikasi jika penggunaan energi mencapai batas yang ditentukan.
6. Tahap Analisis Hasil dan Penyusunan Laporan
- Tahap ini merupakan tahap akhir dalam penelitian yang bertujuan untuk mendokumentasikan seluruh hasil penelitian dalam bentuk laporan ilmiah.
- a) Analisis Hasil Kegiatan dilakukan untuk menganalisis data yang diperoleh selama penelitian berjalan.
 - b) Penyusunan Laporan Akhir merupakan tahap akhir dari penelitian dengan menulis laporan penelitian sesuai dengan hasil analisis yang telah dilakukan.

3.4 Arsitektur Sistem SAVE

Arsitektur sistem menunjukkan bagaimana komponen *hardware* berkomunikasi dengan *Firebase*, dan aplikasi *Android Studio* saling terhubung. Sistem ini terdiri dari perangkat keras seperti ESP32 dan sensor PZEM-004T yang berfungsi untuk membaca parameter listrik. Data yang diperoleh akan dikirimkan ke *Firebase* sebagai penyimpanan berbasis *cloud*, kemudian aplikasi *Android Studio* digunakan sebagai antarmuka pengguna untuk menampilkan hasil pemantauan secara *realtime*.

Pada Gambar 3. 2 dijelaskan tentang implementasi Internet of Things (IoT) dalam sistem pemantauan konsumsi energi listrik berbasis IoT menggunakan ESP32 dan *Firebase*. Diagram ini menunjukkan bagaimana setiap komponen perangkat keras

saling terhubung dan berinteraksi untuk mengukur, memproses, serta menampilkan data konsumsi listrik secara realtime melalui aplikasi berbasis Android Studio. Sistem ini terdiri dari tiga bagian utama, yaitu input, process, dan output.



Gambar 3. 2 Arsitektur Sistem SAVE

Pada bagian *input*, terdapat sensor utama yang digunakan untuk mengukur parameter listrik, yaitu sensor PZEM-004T. Sensor PZEM-004T berfungsi untuk membaca tingkat tegangan AC yang masuk ke beban, sekaligus mendeteksi arus listrik yang mengalir menuju beban listrik. Sensor ini bekerja secara simultan untuk memperoleh data yang akan digunakan dalam perhitungan daya dan energi listrik yang dikonsumsi. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan modul catu daya, yang berfungsi untuk menyuplai tegangan ke ESP32 dan sensor-sensor lainnya agar sistem dapat beroperasi dengan stabil.

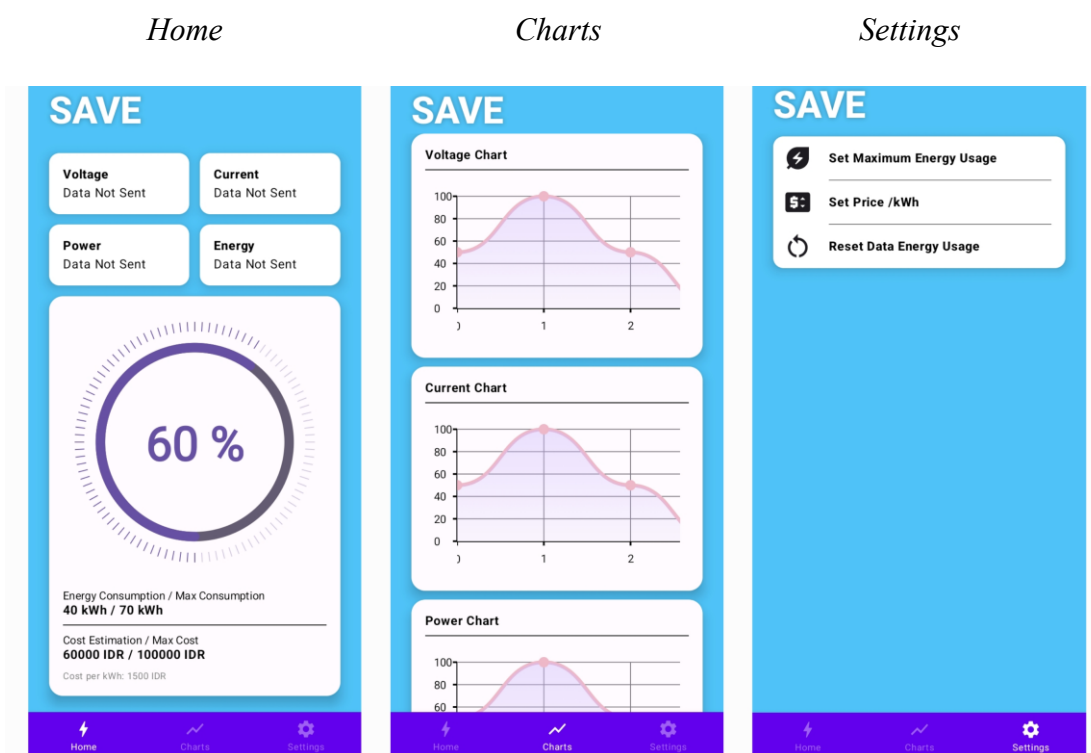
Setelah data dari sensor dikumpulkan, proses dilakukan oleh ESP32 sebagai unit pemrosesan utama. Data tegangan dan arus yang diperoleh dikonversi menjadi informasi daya dan energi listrik yang digunakan oleh perangkat elektronik yang terhubung ke sistem. Dalam tahap ini, ESP32 juga memanfaatkan konektivitas *Wi-Fi* untuk mengirimkan data ke *Firestore*, yang berfungsi sebagai media penyimpanan dan sinkronisasi data secara *realtime* di *cloud*. Dengan adanya *Firestore*, pengguna dapat mengakses data konsumsi energi listrik kapan saja dan dari mana saja melalui aplikasi *Android*.

Pada bagian *output*, hasil pemrosesan data ditampilkan melalui aplikasi berbasis *Android Studio* yang telah dirancang untuk memberikan informasi konsumsi energi secara *visual*. Pengguna dapat melihat konsumsi daya dan energi listrik dalam

bentuk angka maupun grafik yang diperbarui secara *realtime*. Selain itu, aplikasi ini juga memiliki fitur pengaturan batas pemakaian energi, yang memungkinkan pengguna untuk menetapkan ambang batas konsumsi listrik agar lebih terkendali. Jika konsumsi listrik sudah mencapai batas yang telah ditentukan, sistem akan mengirimkan notifikasi otomatis ke aplikasi sebagai peringatan kepada pengguna.

3.5 Desain Tampilan Aplikasi

Desain tampilan aplikasi SAVE (*Smart App for Visualizing Energy*) dirancang agar memiliki antarmuka yang sederhana, informatif, dan mudah digunakan. Terdapat tiga tampilan utama pada aplikasi ini, yaitu *Home*, *Charts*, dan *Settings*. Setiap tampilan memiliki fungsi spesifik yang membantu pengguna dalam memantau dan mengelola konsumsi energi listrik. Berikut desain tampilan aplikasi dapat dilihat pada Gambar 3. 3.



Gambar 3. 3 Desain Tampilan Aplikasi

Tampilan *Home* menampilkan parameter utama seperti tegangan, arus, daya, dan energi yang diperoleh dari sensor. Jika data belum diterima, status "*Data Not Sent*" akan ditampilkan. Selain itu, terdapat indikator berbentuk lingkaran yang

menunjukkan persentase konsumsi energi terhadap batas maksimum yang telah ditetapkan. Informasi mengenai konsumsi energi dalam kWh dibandingkan dengan batas maksimum konsumsi yang telah ditentukan oleh pengguna juga ditampilkan, termasuk estimasi biaya penggunaan listrik berdasarkan harga per kWh yang telah diatur serta batas maksimum biaya yang dapat digunakan sebagai acuan dalam pengelolaan konsumsi energi.

Bagian *Charts* menyediakan visualisasi dalam bentuk grafik untuk parameter tegangan, arus, daya, dan energi. Grafik ini membantu pengguna dalam memantau perubahan nilai parameter listrik dalam rentang waktu tertentu. Dengan adanya grafik ini, pengguna dapat melakukan analisis lebih lanjut untuk mengambil keputusan yang lebih tepat terkait efisiensi penggunaan energi listrik.

Tampilan *Settings*, pengguna dapat mengatur batas konsumsi energi maksimum sesuai dengan kebutuhan mereka. Selain itu, tersedia opsi untuk mengubah harga per kWh yang digunakan dalam estimasi biaya konsumsi energi. Fitur lain yang disediakan adalah kemampuan untuk *me-reset* data konsumsi energi, sehingga pengguna dapat memulai pencatatan baru sesuai dengan periode yang diinginkan.

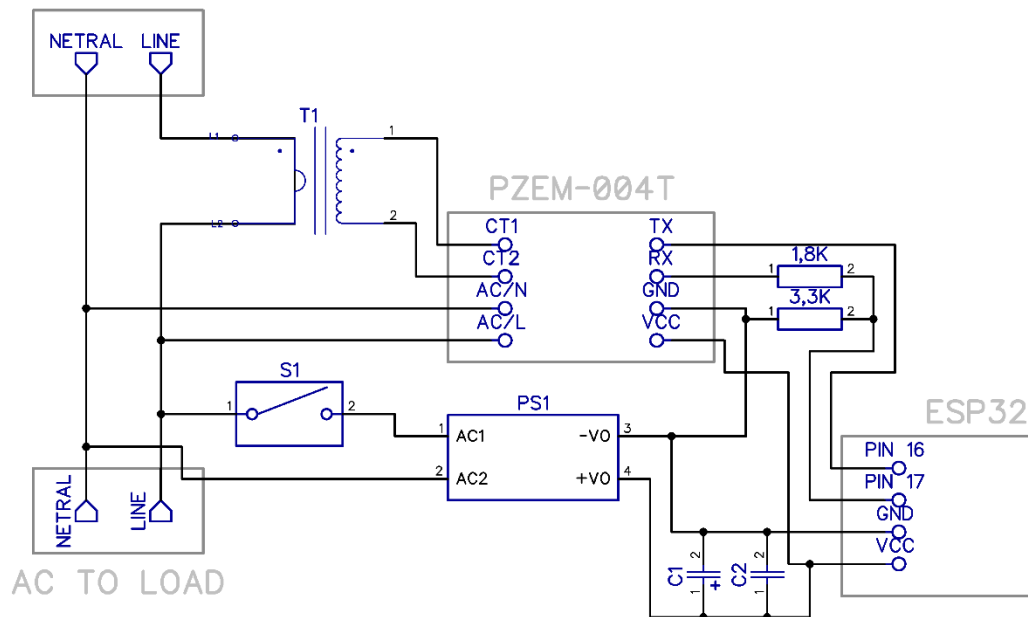
Desain tampilan aplikasi yang disajikan saat ini masih dalam tahap awal pengembangan. Perbaikan dan penyempurnaan akan terus dilakukan berdasarkan uji coba dan masukan dari pengguna untuk memastikan bahwa antarmuka yang dihasilkan benar-benar efektif dalam membantu pengguna memantau serta mengelola konsumsi energi listrik secara optimal.

3.6 Rancangan *Printed Circuit Board* (PCB)

Integrasi *hardware* dalam sistem monitoring energi listrik ini, digunakan desain *Printed Circuit Board* (PCB) yang dibuat menggunakan perangkat lunak *Diptrace*. Sebelum melakukan perancangan PCB, terlebih dahulu dibuat wiring diagram sistem monitoring energi listrik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. 4 Tegangan AC dari sumber listrik rumah masuk melalui terminal AC FROM SOURCE yang terdiri dari jalur Line dan Netral. Tegangan ini terbagi menjadi dua arah, yaitu menuju beban melalui saklar S1 dan menuju sensor PZEM-004T untuk

proses pengukuran. Pada bagian sensor, terminal AC/L dan AC/N dihubungkan langsung ke jalur Line dan Netral sumber listrik, sedangkan pengukuran arus dilakukan melalui input CT1 dan CT2 yang terhubung secara seri dengan beban.

AC FROM SOURCE

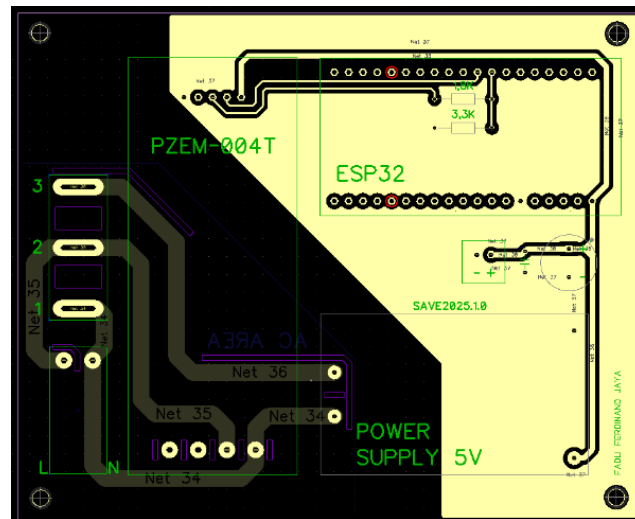


Gambar 3. 4 *Wiring Diagram Hardware*

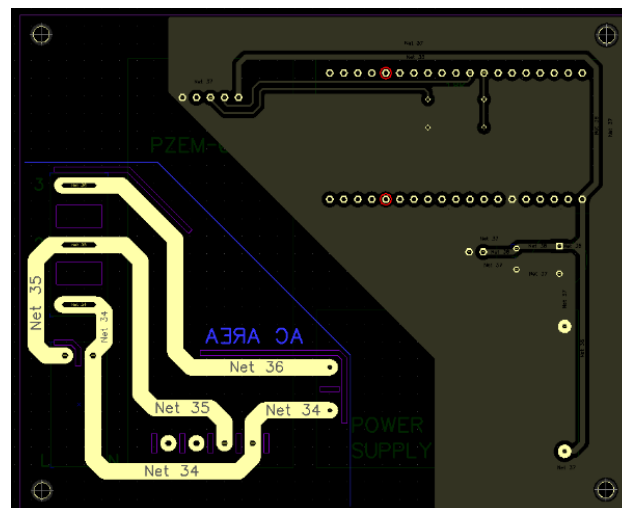
Koneksi antara PZEM-004T dan ESP32 menggunakan jalur komunikasi serial, di mana pin TX PZEM terhubung ke pin RX2 (GPIO16) ESP32, sedangkan pin RX PZEM terhubung ke pin TX2 (GPIO17) ESP32 melalui rangkaian pembagi tegangan dengan resistor 1,8 k Ω dan 3,3 k Ω untuk menyesuaikan tegangan yang dibutuhkan ESP32. Pin VCC dan GND pada PZEM mendapatkan suplai daya 5V dari modul *power supply*. Modul *power supply* (PS1) AC ke DC yang digunakan mengubah tegangan AC dari sumber menjadi 5V DC yang digunakan untuk memberi daya pada PZEM-004T dan ESP32. Untuk meredam noise pada keluaran catu daya, dipasang kapasitor C1 dan C2 sebagai filter.

Perancangan desain PCB ini bertujuan agar pemasangan komponen menjadi lebih rapi, aman, serta menghindari kabel berserakan yang dapat mengganggu kestabilan sistem. Ukuran akhir PCB adalah 10,9 cm $\times$ 8,9 cm, yang cukup ringkas untuk menampung seluruh komponen penting seperti ESP32, sensor PZEM-004T, dan modul power supply 5V. PCB yang dirancang bersifat dual layer, di mana jalur atas (*top layer*) digunakan untuk mengatur koneksi arus DC, seperti tegangan 5V,

ground, serta jalur komunikasi data antara ESP32 dan sensor. Sementara itu, bagian bawah (*bottom layer*) digunakan untuk jalur arus AC, yang berasal dari sumber listrik utama dan dihubungkan ke input sensor. Area AC diberi label AC AREA, dan jalur-jalurnya didesain dengan lebar yang memadai untuk menampung arus listrik, serta diletakkan secara terpisah dari area DC.



Gambar 3. 5 *Layout PCB Tampak Atas*



Gambar 3. 6 *Layout PCB Tampak Bawah*

Gambar 3. 5 menunjukkan layout PCB tampak atas, di mana terlihat posisi ESP32 dan PZEM-004T saling berdekatan, serta nama proyek dan penulis tercetak jelas pada papan dengan label SAVE2025.1.0 dan FADLI FERDINAND JAYA. Sedangkan Gambar 3. 6 menampilkan layout PCB tampak bawah, yang memperlihatkan jalur AC menuju ke sensor dan juga ke *power supply* 5V.

Guna meningkatkan keselamatan, desain ini juga dilengkapi dengan slot isolasi (*isolation slot*) yang secara fisik memisahkan area AC dan DC, untuk mencegah interferensi maupun loncatan arus. Dengan desain yang kompak, aman, dan efisien ini, implementasi perangkat keras menjadi lebih andal dan profesional.

3.7 Struktur Data *Firebase*

Firebase Realtime Database digunakan sebagai basis data cloud yang menyimpan dan mengelola data pemantauan energi listrik secara *realtime*. Struktur data dalam *Firebase* dirancang agar mendukung komunikasi dua arah antara perangkat keras (ESP32), aplikasi Android, dan penyimpanan histori. Penataan struktur ini penting untuk menjamin integrasi yang efisien dan responsif antara komponen sistem.

Dalam *Firebase Realtime Database*, data disimpan dalam format JSON dan tersusun dalam bentuk struktur pohon. Setiap elemen pada struktur tersebut disebut *Field*, yaitu bagian dari data yang dapat berupa objek (*key-value*), *array*, atau nilai. *Field* dapat memiliki *child* (anak) atau menjadi *leaf* (ujung) dari data. Penamaan dan pengelolaan *Field* yang baik memudahkan proses pembacaan, penulisan, dan sinkronisasi data antara server *Firebase* dan perangkat klien seperti ESP32 maupun aplikasi Android. Oleh karena itu, desain struktur *Field* menjadi aspek penting dalam pengembangan sistem berbasis *Firebase*.

Firebase dalam penelitian ini memiliki tiga *Field* utama, yaitu:

1. sensor

Field sensor berfungsi untuk menyimpan data histori dari hasil pembacaan parameter listrik oleh sensor PZEM-004T. Data disimpan dengan format *timestamp* sebagai *key* (misalnya "2025-06-08_13:52:01"), dan setiap entri memuat informasi seperti:

- *Voltage, current, power, energy, power factor*
- *Timestamp* (waktu)

Struktur ini memudahkan proses visualisasi data dalam bentuk grafik pada aplikasi, serta memungkinkan pelacakan konsumsi energi secara berkala.

2. *sensor_latest*

Field sensor_latest menyimpan data terbaru dari sensor secara *realtime*. Tidak seperti sensor yang menyimpan riwayat, *field* ini hanya memiliki satu entri aktif yang terus diperbarui. *Field* ini digunakan oleh tampilan *Home* di aplikasi Android untuk menampilkan data terkini seperti:

- *Voltage, current, power, energy, power factor*
- *Timestamp* (waktu)

Dengan demikian, aplikasi dapat menampilkan informasi paling baru tanpa harus mengambil seluruh data histori.

3. *settings*

Field settings digunakan untuk menyimpan pengaturan sistem yang dikonfigurasi oleh pengguna melalui aplikasi Android. Data ini dibaca oleh perangkat ESP32 secara berkala. Terdapat tiga parameter penting:

- *max*: batas maksimal biaya listrik (dalam satuan rupiah)
- *price*: harga listrik per kWh
- *reset_flag*: penanda perintah untuk melakukan *reset* data energi

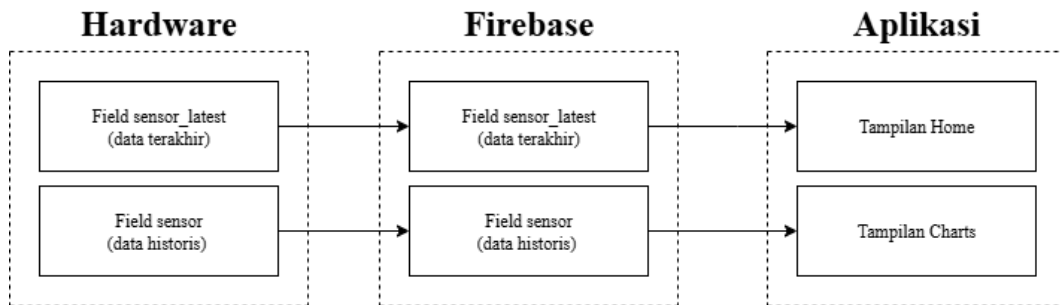
Pengguna dapat mengubah nilai-nilai ini melalui tampilan *Settings* di aplikasi. Perubahan akan langsung tersimpan di *Firebase* dan dibaca oleh perangkat untuk menyesuaikan fungsi monitoring.

3.8 Integrasi Sistem

Integrasi sistem merupakan tahap penting dalam penelitian ini, yang menghubungkan tiga komponen utama yaitu *Hardware* (ESP32 dan PZEM-004T), *Firebase Realtime Database*, dan aplikasi Android menjadi satu sistem monitoring energi listrik berbasis Internet of Things (IoT) yang saling terhubung secara *realtime*.

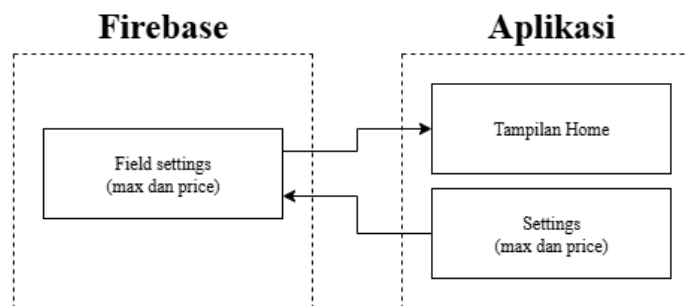
Proses integrasi sistem dilakukan melalui komunikasi dua arah menggunakan *Firebase Realtime Database* sebagai perantara. *Hardware* bertugas mengukur parameter kelistrikan dan mengirimkan data ke *Firebase*. Aplikasi kemudian

mengambil data tersebut untuk ditampilkan kepada pengguna. Sebaliknya, pengguna juga dapat memberikan input melalui aplikasi, seperti mengatur harga listrik, batas biaya maksimum, dan perintah reset energi. Input ini akan disimpan di *Firebase* dan dibaca oleh perangkat untuk dieksekusi.



Gambar 3. 7 Diagram Blok Proses Monitoring

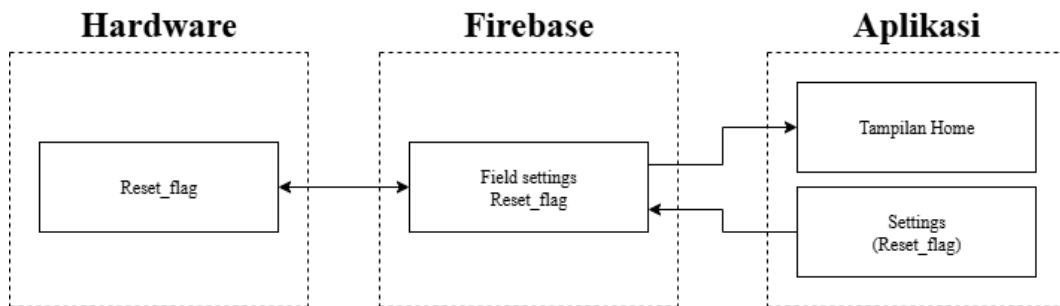
Pada Gambar 3. 7 merupakan diagram blok yang menunjukkan integrasi antara perangkat keras, *Firebase Realtime Database*, dan aplikasi Android dalam proses pemantauan data listrik. Perangkat keras mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke *Firebase* melalui dua *Field*, yaitu "sensor_latest" untuk data terbaru dan sensor untuk data histori. *Field* "sensor_latest" dibaca oleh tampilan *Home* di aplikasi untuk menampilkan data secara *realtime*, sedangkan *Field* "sensor" digunakan oleh tampilan *Charts* untuk menyajikan grafik histori konsumsi energi. Seluruh proses berjalan secara otomatis dan diperbarui setiap 10 menit. Alur komunikasi dua arah ini memastikan data yang ditampilkan selalu terkini dan akurat.



Gambar 3. 8 Diagram Blok Proses Pengaturan Batas Penggunaan dan Harga

Pada Gambar 3. 8 merupakan diagram blok integrasi pengaturan batas penggunaan dan harga listrik per kWh yang dikelola melalui *Field* "settings" pada *Firebase*. Pengguna dapat mengatur nilai pada *Field* "max" (batas maksimum biaya listrik

dalam rupiah) dan *Field* "price" (harga per kWh) melalui tampilan Settings pada aplikasi. Nilai yang dimasukkan oleh pengguna kemudian dikirim dan disimpan ke *Field* "settings". *Firebase* akan mengirimkan data ini kembali ke tampilan *Home* agar dapat digunakan dalam perhitungan estimasi biaya dan presentase penggunaan energi. Dengan adanya integrasi ini, pengguna dapat memantau dan mengatur penggunaan energi secara fleksibel sesuai kebutuhan.



Gambar 3. 9 Diagram Blok Proses *Reset* Data Penggunaan

Pada Gambar 3. 9 merupakan diagram blok integrasi fitur *reset* energi. Aplikasi Android menyediakan tombol reset pada tampilan Settings yang akan mengubah nilai "reset_flag" di dalam *field settings Firebase*. Perangkat keras secara berkala membaca nilai "reset_flag". Jika bernilai "true", maka perangkat akan mereset perhitungan energi ke nol, lalu mengatur kembali "reset_flag" menjadi "false". Proses ini memungkinkan pengguna untuk mengatur ulang pemantauan energi tanpa harus mengakses perangkat secara langsung. Dengan sistem ini, perintah reset dapat dilakukan secara otomatis dan terintegrasi melalui *Firebase*.

3.9 Metode Pengujian

Adapun pengujian pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengujian sensor arus PZEM-004T, yaitu untuk mengetahui apakah sensor dapat membaca arus dan tegangan AC, serta daya dan energi dalam konsumsi penggunaan listrik AC.
2. Pengujian tampilan aplikasi, yaitu untuk memantau penggunaan energi dengan data yang dikirim oleh sensor.
3. Pengujian fitur aplikasi, yaitu untuk memberikan fitur atur maksimum

penggunaan energi, atur harga listrik sesuai ketentuan, *reset* data penggunaan energi dan notifikasi penggunaan energi.

3.10 Indikator Keberhasilan

Keberhasilan sistem yang dikembangkan dinilai berdasarkan kinerja aplikasi, *hardware*, dan *Firebase* selama proses perancangan. Evaluasi dilakukan dengan mengukur keandalan, responsivitas, dan akurasi sistem dalam memantau penggunaan energi listrik.

1. Perancangan *Hardware*
 - a) *Hardware* dapat berjalan sesuai dengan fungsionalitas.
 - b) Konsistensi pengiriman data ke *Firebase* dalam rentang waktu yang ditentukan.
2. Perancangan *Firebase*
 - a) *Firebase* dapat menyimpan dan memperbarui data konsumsi energi, harga per kWh, dan batas maksimum sesuai dengan *Hardware* dan aplikasi.
 - b) Data yang dikirim dari perangkat keras harus sesuai dengan data yang tersimpan di *Firebase* dan yang ditampilkan di aplikasi.
 - c) *Firebase* dapat menerima perintah dari aplikasi (seperti mengubah harga per kWh atau *me-reset* data) lalu meneruskannya ke perangkat keras dengan benar.
3. Perancangan Aplikasi
 - a) Aplikasi harus menampilkan parameter konsumsi daya, grafik, perkiraan tarif, dan batas maksimum dengan benar.
 - b) Notifikasi muncul ketika penggunaan energi mencapai 50%, 70%, dan 90% dari batas yang ditetapkan.
 - c) Harga per kWh dapat diubah oleh pengguna dan langsung diterapkan dalam perhitungan tarif.
 - d) Batas penggunaan energi dapat diubah sesuai keinginan pengguna dan berdampak langsung pada sistem peringatan.
 - e) Data penggunaan energi dapat *direset* tanpa mengganggu fungsi aplikasi lainnya.

3.11 Tahap Analisis Hasil

Pada tahap ini dilakukan pengujian untuk mengevaluasi performa sistem monitoring energi listrik berbasis IoT. Terdapat tiga aspek utama yang diuji, yaitu akurasi pembacaan sensor, kinerja aplikasi Android, serta kestabilan sistem akuisisi dan pengiriman data. Metodologi pengujian ini dirancang untuk memberikan dasar analisis dengan prosedur pengujian sebagai berikut:

3.11.1 Pengujian Kinerja Sensor

Kinerja pembacaan sensor merupakan aspek penting dalam sistem monitoring energi listrik karena menentukan akurasi data yang ditampilkan pada aplikasi dan tersimpan di *Firestore*. Untuk menilai akurasi sensor yang digunakan, yaitu PZEM-004T, dilakukan pengujian terhadap tiga parameter utama: tegangan (V), arus (A), dan faktor daya ($\cos \phi$). Hasil pembacaan sensor dibandingkan langsung dengan pengukuran menggunakan alat ukur standar (multimeter dan cosphi meter) dalam berbagai kombinasi beban listrik rumah tangga. Selisih antara keduanya dinyatakan dalam bentuk persen *error*, dihitung berdasarkan rumus:

$$e = \left| \frac{s-a}{a} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (3. 1)$$

Dimana:

- e : Nilai error dalam bentuk persentase
- s : Nilai dari hasil pembacaan sensor PZEM-004T
- a : Nilai dari hasil pembacaan alat ukur

Persamaan 3. 1 ini digunakan untuk mengukur besar deviasi pembacaan sensor terhadap nilai acuan tanpa memperhatikan arah selisih (lebih besar atau lebih kecil). Semakin kecil nilai error yang diperoleh, semakin tinggi pula tingkat akurasi sensor dalam membaca parameter kelistrikan.

3.11.2 Pengambilan Data dan Pengujian Kinerja Akuisisi Data

Pengujian kinerja akuisisi data dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana sistem mampu membaca, merekam, dan mengirimkan data secara kontinu dari perangkat keras (ESP32 dan sensor PZEM-004T) ke *Firestore Realtime Database*. Fokus

pengujian ini meliputi konsistensi pengiriman data, kestabilan koneksi jaringan, serta kelengkapan data selama periode tertentu.

Pengumpulan data dilakukan selama 10 hari berturut-turut, dimulai dari tanggal 27 Mei 2025 pada pukul 22.30 hingga 7 Juni 2025 pukul 22.20, dengan interval waktu pengiriman setiap 10 menit. Artinya, setiap 10 menit sistem akan mengirimkan data parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, dan energi ke *Field* “sensor” di *Firebase*. Selama periode ini, data disimpan dalam format *timestamped*, sehingga setiap titik data dapat dilacak berdasarkan waktu pengirimannya. Untuk mengevaluasi kelengkapan data yang diperoleh, dilakukan proses *resampling* data menggunakan *Python*, dengan pustaka seperti *pandas*. *Resampling* dilakukan untuk menstandarkan seluruh data agar memiliki interval waktu tetap, yaitu 10 menit. Hal ini penting untuk mendeteksi keberadaan *missing timestamp* (data yang tidak terkirim pada waktu tertentu).

Pada proses *resampling*, sistem akan menghasilkan baris data baru pada setiap interval 10 menit, dan apabila ada waktu tertentu yang tidak memiliki data (karena perangkat tidak mengirim atau terjadi gangguan jaringan), maka baris tersebut akan diisi dengan nilai NaN (*Not a Number*). Dengan pendekatan ini, jumlah dan persentase *missing value* dapat dihitung secara akurat.

Hasil dari proses *resampling* kemudian divisualisasikan untuk menunjukkan berapa banyak data yang hilang selama masa pengujian. Dari total data yang seharusnya terkirim selama 10 hari, dapat dihitung persentase kehilangan data, yang menjadi indikator stabilitas sistem akuisisi data secara keseluruhan. Proses ini penting untuk memastikan bahwa sistem dapat diandalkan dalam pemantauan energi listrik secara *realtime* dan jangka panjang.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem pemantauan energi listrik berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan integrasi *Firebase* dan aplikasi Android bernama SAVE (*Smart App for Visualizing Energy*), maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Sistem berhasil dikembangkan secara terpadu, terdiri dari mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, sensor PZEM-004T sebagai pembaca parameter listrik (tegangan, arus, daya, dan energi), *Firebase Realtime Database* sebagai media penyimpanan *cloud*, serta aplikasi Android sebagai antarmuka pengguna. Semua komponen dapat berkomunikasi dan berfungsi secara sinkron.
2. Akurasi sensor PZEM-004T menunjukkan kinerja yang cukup baik untuk skala pemantauan energi rumah tangga. Hasil pengujian menunjukkan *error* pembacaan tegangan berkisar antara 0,70% hingga 1,44%, *error* arus antara 7,56% hingga 13,09%, serta *error* faktor daya ($\cos \phi$) antara 3,75% hingga 5,81%. Nilai *error* tersebut masih dalam batas yang dapat diterima untuk pemantauan non-industri.
3. Kinerja akuisisi data perangkat tergolong andal, dengan tingkat keberhasilan pengiriman data sebesar 97,79% selama periode pengujian 10 hari. Meskipun terdapat kehilangan data sebesar 2,21% akibat gangguan sinyal jaringan *Wi-Fi*, sistem mampu melanjutkan proses pengiriman data secara otomatis setelah koneksi kembali tersedia.
4. Aplikasi SAVE berhasil menampilkan data pemantauan secara *realtime*, dilengkapi dengan grafik konsumsi energi, estimasi biaya berdasarkan tarif per kWh yang dapat dikonfigurasi pengguna, serta pengaturan batas konsumsi. Selain itu, fitur notifikasi otomatis bekerja dengan baik ketika konsumsi mencapai 50%, 70%, dan 90% dari batas biaya yang ditentukan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem pemantauan energi listrik berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan integrasi *Firebase* dan aplikasi Android bernama SAVE (*Smart App for Visualizing Energy*), maka saran yang dapat diberikan penulis adalah sebagai berikut:

1. Perlu ditambahkan sistem penanganan kehilangan data akibat gangguan jaringan, misalnya dengan menyimpan data sementara di memori tambahan pada mikrokontroler (ESP32) saat koneksi ke *Firebase* terputus. Data yang tersimpan dapat dikirim kembali secara otomatis setelah koneksi jaringan tersedia kembali, sehingga kehilangan data dapat diminimalkan.
2. Akurasi pembacaan arus dan faktor daya perlu ditingkatkan, terutama untuk penggunaan yang memerlukan pengukuran lebih presisi. Hal ini dapat dilakukan melalui proses kalibrasi sensor PZEM-004T secara berkala atau dengan mempertimbangkan penggunaan sensor tambahan yang memiliki tingkat akurasi lebih tinggi.
3. Pengembangan fitur pemantauan multisaluran (*multi-channel monitoring*) direkomendasikan agar sistem dapat digunakan untuk memantau konsumsi energi dari beberapa perangkat atau ruangan secara terpisah. Dengan fitur ini, pengguna dapat lebih mudah mengidentifikasi beban mana yang paling besar dan mengambil langkah efisiensi yang lebih tepat.
4. Perluasan *platform* aplikasi ke versi *iOS* dan *dashboard* berbasis *web* sebaiknya dipertimbangkan agar sistem pemantauan dapat diakses oleh lebih banyak pengguna, tidak terbatas pada pengguna Android saja. Hal ini juga dapat meningkatkan fleksibilitas pemantauan dan pengelolaan data energi dari berbagai perangkat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. R. A.M and M. Muskhir, “Alat Ukur Pemakaian Energi dan Biaya Listrik Berbasis Arduino,” JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia, vol. 4, no. 2, pp. 760–770, Sep. 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i2.476.
- [2] Moh. Muzakki Firmansyah, Akhmad Ahfas, Syamsudduha Syahririni, and Dwi Hadidjaja Rasjid Saputra, “Smartphone-Based Digital KWH Meter and SMS Gateway in Residential *Homes*,” Procedia of Engineering and Life Science, vol. 1, no. 1, Mar. 2021, doi: 10.21070/pels.v1i1.743.
- [3] Naziya Sulthana, Rashmi N., Prakyathi N. Y., Bhavana S., and K. B. Shiva Kumar, "Smart energy meter and monitoring system using iot," International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), vol. 8, no. 14, pp. 50-56, 2020, doi: 10.17577/IJERTCONV8IS14011
- [4] B. N. Rao and R. Sudheer, “Energy Monitoring using IOT,” 2020 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), pp. 868–872, Feb. 2020, doi: 10.1109/icict48043.2020.9112426.
- [5] A. Ramelan, F. Adriyanto, B. A. C. Hermanu, M. H. Ibrahim, J. S. Saputro, and O. Setiawan, “IoT Based Building Energy Monitoring and Controlling System Using LoRa Modulation and MQTT Protocol,” IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 1096, no. 1, p. 012069, Mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1096/1/012069.
- [6] S. M. Tsyrlunyk, V. M. Tkachuck, and M. O. Tsyrlunyk, “Prototyping IOT project at WOKWI service,” Proceedings of XVI International Conference Measurement and Control in Complex System (MCCS-2022), Dec. 2022, doi: 10.31649/mccs2022.03.
- [7] W. Chaiyong and S. Sonasang, “Applications of energy monitoring using the IoT,” SNRU Journal of Science and Technology, vol. 14, no. 2, p. 245041, May 2022, doi: 10.55674/snrujst.v14i2.245041.

- [8] H. S. Madupu, V. A. Nidumolu, and V. M. Panchagnula, "IoT based *realtime* energy monitoring," ICIC Express Letters, vol. 16, no. 8, pp. 827–834, Aug. 2022, doi: 10.24507/icicel.16.08.827.
- [9] S. A. Mohd, N. Sazali, A. S. Jamaludin, and N. Misdan, "IOT-based energy monitoring system for energy conservation," E3S Web of Conferences, vol. 437, p. 04006, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202343704006.
- [10] N. Z. Taha and A. I. Badran, "IoT based energy monitoring and control system," International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology (IRJIET), vol. 7, no. 3, pp. 72–77, Mar. 2023, doi: 10.47001/IRJIET/2023.703009.
- [11] K. A. Yasa, I. M. Purbhawa, I. M. S. Yasa, I. W. Teresna, A. Nugroho, and S. Winardi, "IoT-based Electrical Power Recording using ESP32 and PZEM-004T Microcontrollers," Journal of Computer Science and Technology Studies, vol. 5, no. 4, pp. 62–68, Nov. 2023, doi: 10.32996/jcsts.2023.5.4.7.
- [12] H. J. El-Khozondar et al., "A smart energy monitoring system using ESP32 microcontroller," e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, vol. 9, p. 100666, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.prime.2024.100666.
- [13] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The internet of things: A survey," *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, Oct. 2010, doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- [14] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntič, and O. Težak, "Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices," *Sensors*, vol. 23, no. 15, p. 6739, Jul. 2023, doi: 10.3390/s23156739.
- [15] "ESP32 Module," *ICStation*, [Online]. Tersedia di: <https://www.icstation.com>. [Diakses: 13-Mar-2025].
- [16] P. Harahap, F. I. Pasaribu, dan M. Adam, "Prototype Measuring Device for Electric Load in Households Using the Pzem-004T Sensor," *Budapest International Research in Exact Sciences (BirEx) Journal*, vol. 2, no. 3, pp. 347–361, Jul. 2020, doi: 10.33258/birex.v2i3.1074.
- [17] "PZEM-004T V3.0 Datasheet and User Manual," *Innovators Guru*, Jun. 2019. [Online]. Tersedia di: <https://innovatorsguru.com/wp-content/uploads>

- /2019/06/PZEM-004T-V3.0-Datasheet-User-Manual.pdf. [Diakses: 13-Mar-2025].
- [18] "PZEM-004T V2.0 and PZEM-004T V3.0 Module," *NN Digital*, Jul. 2019. [Online]. Tersedia di: <https://www.nn-digital.com/wp-content/uploads/2019/07/PZEM-004T-V2.0-and-PZEM-004T-V3.0.gif>. [Diakses: 13-Mar-2025].
- [19] F. Djuandi, *Pengenalan Arduino*, Jakarta: www.tobuku.com, Jul. 2011. [Online]. Tersedia: http://103.178.17.35/moodle/pluginfile.php/4485/mod_resource/content/1/Arduino-Pengenalan.pdf. [Diakses: 15-Mar-2025].
- [20] G. S. A. Putra, A. Nabila, and A. B. Pulungan, "Power Supply Variabel Berbasis Arduino," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 139–143, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.53.
- [21] P. Chougale, V. Yadav, and A. Gaikwad, "Firebase - Overview and Usage," *Journal of Engineering and Technology Management.*, vol. 3, no. 12, pp. 1178–1183, Dec. 2021. [Online]. Tersedia: https://www.researchgate.net/publication/362539877_FIREBASE_OVERVIEW_AND_USAGE. [Diakses: 15-Mar-2025].
- [22] F. R. Chan, Harni Dusri, Muhammad Ramadani, Hanifah, and Liza Efriyanti, "Perancangan Aplikasi Pengelolaan Gudang Berbasis Android Menggunakan Android Studio," *Journal of Informatics and Advanced Computing (JIAC)*, vol. 3, no. 2, pp. 103–107, Nov. 2022, doi: 10.35814/jiac.v3i2.4522
- [23] A. Febriandirza, "Perancangan Aplikasi Absensi Online Dengan Menggunakan Bahasa Pemrograman Kotlin," *Pseudocode*, vol. 7, no. 2, pp. 123–133, Sep. 2020, doi: 10.33369/pseudocode.7.2.123-133.
- [24] I. Fjodorovs and S. Kodors, "Jetpack Compose And Xml Layout Rendering Performance Comparison," *Human Environment Technologies Proceedings of the Students International Scientific and Practical Conference*, no. 25, pp. 49–54, Apr. 2021, doi: 10.17770/het2021.25.6779.
- [25] D. Halliday, R. Resnick, dan J. Walker, *Fundamentals of Physics*, 9th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2010.
- [26] D. H. Manik, R. Nandika, and P. Gunoto, "Penerapan Internet Of Things (Iot) Pada Sistem Monitoring Pemakaian Daya Listrik Rumah Tangga Berbasis

Mikrokontroler Dan Website,” Sigma Teknika, vol. 4, no. 2, pp. 255–261, Nov. 2021, doi: 10.33373/sigmateknika.v4i2.3618.

- [27] Indonesia, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 7 Tahun 2024 tentang Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)*, Jakarta, 6 Juni 2024. [Online]. Tersedia: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/294347/permen-esdm-no-7-tahun-2024>. [Diakses: 16-Mar-2025].