

## TUGAS AKHIR

# ANALISIS THERMAL DAN EFISIENSI DAYA PADA BATERAI LITHIUM-ION UNTUK APLIKASI SISTEM LISTRIK RUMAH TANGGA

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

**Disusun Oleh :**

**RESTU ANA JULIA HUTABARAT**

**2407220088P**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2026**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir diajukan oleh:

Nama : Restu Ana Julia Hutabarat  
Nomor Induk Mahasiswa : 2407220087P  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : Analisis Thermal dan Efisiensi Daya Pada  
Baterai Lithium-Ion Untuk Aplikasi Sistem  
Rumah Tangga  
Bidang ilmu : Sistem Kontrol

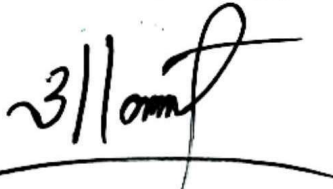
Medan, 17 April 2026  
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



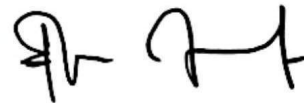
Assoc. Prof. Dr. Faisal Irsan Pasaribu, S.T., S.Pd., M.T

Dosen Pembanding I / Penguji




Assoc. Prof. Dr. Muhammad Fitra Zambak, M.Sc

Dosen Pembanding I / Penguji



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

Program Studi Teknik Elektro  
Ketua,  
  
Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

## SURAT PERNYATAAN KEAHLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Restu Ana Julia Hutabarat  
Tempat/Tanggal Lahir : Kabanjahe, 06 Maret 2003  
Nomor Induk Mahasiswa : 2407220088P  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

**"Analisis Thermal dan Efisiensi Daya Pada Baterai Lithium-Ion Untuk Aplikasi Sistem Rumah Tangga ",**

Bukan merupakan plagiarisme, 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 Tugas Akhir saya secara orisinal 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/ kesariaanaan sava. 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, 17 April 2026

Yang Menyatakan,



Restu Ana Julia Hutabarat

NPM. 2407220088P

## ABSTRAK

Perkembangan teknologi yang pesat mendorong meningkatnya kebutuhan akan pasokan energi listrik yang stabil dan ramah lingkungan, khususnya pada sektor rumah tangga yang memiliki kontribusi signifikan terhadap konsumsi listrik nasional maupun global. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah penggunaan baterai lithium-ion sebagai sistem penyimpanan energi, *uninterruptible power supply* (UPS), karena memiliki efisiensi yang tinggi dalam menyimpan dan menyalurkan energi. Namun, penerapan baterai lithium-ion masih menghadapi tantangan utama, yaitu optimalisasi efisiensi daya dan pengelolaan suhu selama proses pengisian (charging) dan pelepasan daya (discharging). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik thermal dan efisiensi daya baterai lithium-ion dalam aplikasi sistem rumah tangga. Metode yang digunakan meliputi analisis numerik dan pengujian langsung terhadap parameter tegangan, arus, daya, serta suhu baterai. Selain itu, dilakukan perhitungan waktu operasi baterai, kapasitas beban, serta pemodelan kenaikan suhu akibat proses elektrokimia dan rugi daya internal. Hasil kajian menunjukkan bahwa peningkatan arus dan beban dapat menyebabkan kenaikan suhu yang signifikan, yang berpotensi mempercepat degradasi baterai apabila tidak dikelola dengan baik. Penggunaan baterai lithium-ion yang terintegrasi dengan inverter memungkinkan konversi energi dari arus DC menjadi AC untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring berbasis teknologi yang mampu mengamati parameter listrik dan suhu secara real-time guna meningkatkan efisiensi, keamanan.

**Kata Kunci** : Baterai lithium-ion, PZEM004T, Tegangan, Arus, dan suhu, Listrik

## **ABSTRACT**

*The rapid advancement of technology has led to an increasing demand for stable and environmentally friendly electrical energy, particularly in the household sector, which contributes significantly to both national and global electricity consumption. One of the potential solutions is the use of lithium-ion batteries as energy storage systems, such as in solar home systems and uninterruptible power supply (UPS) applications, due to their high efficiency in storing and delivering energy. However, the implementation of lithium-ion batteries still faces major challenges, particularly in optimizing power efficiency and managing thermal conditions during charging and discharging processes. This study aims to analyze the thermal characteristics and power efficiency of lithium-ion batteries in household electrical applications. The method used includes numerical analysis and direct testing of parameters such as voltage, current, power, and temperature. In addition, calculations of battery runtime, load capacity, and temperature modeling based on internal heat generation are conducted. The results indicate that increased current and load can significantly raise battery temperature, which may accelerate battery degradation if not properly managed. The integration of lithium-ion batteries with inverters enables the conversion of DC power into AC power to meet household electricity needs. Therefore, a monitoring system capable of observing electrical parameters and temperature in real-time is essential to improve efficiency, safety, and battery lifespan. This research is expected to contribute to the development of more efficient, safe, and sustainable household energy storage systems.*

**Keywords:** *lithium-ion battery, power efficiency, voltage, household energy, inverte*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut Adalah “ Analisis Thermal dan Efisiensi Day Pada Baterai Lithium-Ion Untuk Aplikasi Sistem Rumah Tangga” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, selama proses penyusunan skripsi ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Ayahanda Sabar Hutabarat, Ibunda Detti Purba, Kakak Mega Siahaan yang senantiasa memberikan cinta, dukungan moral, dan materi tanpa henti. Terima kasih atas doa, nasihat, dan kasih sayang yang tiada habisnya.
2. Bapak Prof. Dr. H. Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, ST, MSc, Ph.D, selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi, S.T., M.T, selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Benny Oktrialdi, ST, MT, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Bapak Assoc.Prof.Dr. Faisal Irsan Pasaribu, S.T., S.Pd., M.T, yang dengan sabar telah yang telah membimbing, mengarahkan, dan memberikan masukan berharga selama proses penyusunan tugas akhir ini.

9. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, atas ilmu yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan.
10. Bapak/Ibu Staf Administrasi Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, atas dukungan administratif yang diberikan.
11. Seseorang yang menemani Penulis yang sudah memberikan segala dukungan,waktu, materi dan dalam berbagai bentuk selama penulisan skripsi ini berlangsung saya ucapkan terima kasih.
12. Teman-teman seperjuangan ekstensi 2024, Salsabilla dan Arihta Salsabilah Surbakti yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan bantuan selama proses penyusunan tugas akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia elektro.

Medan, 17 Januari 2026

Yang Menyatakan,



Restu Ana Julia Hutabarat

NPM. 2407220088P

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>i</b>
<b>SURAT PERNYATAAN KEAHLIAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan masalah.....	3
1.3 Ruang lingkup Penelitian .....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan .....	5
2.2 Landasan Teori .....	7
2.2.1 Baterai.....	7
2.2.2 Baterai Lithium-ion.....	10
2.2.3 Sensor Daya, Tegangan dan Arus (PZEM004T).....	14
2.2.4 Sensor Tegangan DC.....	16
2.2.5 Sensor Arus (ACS712).....	18
2.2.6 Sensor Suhu DS18B20 .....	21
2.2.7 Mikrokontroler Esp32 dan Arduino Nano .....	22

2.2.8 Power Supply .....	26
2.2.9 PWM.....	27
2.2.10 Inverter.....	28
2.2.11 Stopwatch.....	30
2.2.12 Internet of Things.....	31
2.2.13 Buzzer .....	33
2.2.14 LCD 16x 2 .....	34
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>39</b>
3.1 Waktu dan Tempat .....	39
3.2 Alat dan Komponen.....	39
3.2.1 Alat.....	39
3.2.2 Komponen.....	39
3.3 Tahap Penelitian .....	40
3.4 Diagram Alir.....	42
3.5 Prosedur Penelitian.....	43
3.5.1 Rangkaian ESP32 .....	43
3.5.2 Rangkaian Mikrokontroler dengan Sensor PZEM004T .....	44
3.5.3 Rangkaian Arduino dengan Sensor Arus (ACS712).....	44
3.5.4 Rangkaian Mikrokontroler dengan Inverter .....	45
3.5.5 Rangkain ESP32 dengan sensor tegangan DC .....	46
3.5.5 Rangkain ESP32 dengan Lcd .....	46
3.5.6 Rangkaian Sistem Keseluruhan .....	48
3.6 Flowchart.....	50
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>52</b>
4.1 Hasil Pengukuran Sistem .....	52
4.2 Pengujian dan Analisis Rangkaian Alat .....	53

4.2.1 Pengujian Rangkaian Sensor PZEM004T .....	53
4.2.3 Pengujian Rangkaian Sensor Arus (ACS712) .....	55
4.2.4 Pengujian Rangkaian Sensor Suhu DS18B20 .....	55
4.2.5 Pengujian Rangkaian Sensor dengan ESP32.....	59
4.3 Hasil Pengamatan Data .....	62
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>72</b>
5.1 Kesimpulan.....	72
5.2 Saran .....	73
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>74</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>79</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 kelebihan dan kekurangan Baterai Lithium-Ion.....	10
Tabel 2. 2 Spesifikasi sensor PZEM004t .....	15
Tabel 2. 3 spesifikasi sensor Tegangan DC .....	17
Tabel 2. 4 Spesifikasi Sensor ACS712 .....	20
Tabel 2. 5 spesifikasi sensor arus DS18B20 .....	21
Tabel 2. 6 Spesifikasi Mikrokontroler Arduino Nano.....	24
Tabel 2.7 Spesifikasi Mikrokontroler Esp32.....	25
Tabel 2.8 Spesifikasi Power Supply .....	27
Tabel 2.9 Tabel spesifikasi Inverter.....	29
Tabel 2.10 Tabel Spesifikasi Stopwatch .....	30
Tabel 2.11 Spesifikasi Internet of Things(IoT) .....	32
Tabel 2.12 Spesifikasi Buzzer .....	34
Tabel 2.13 Spesifikasi Liquid Crystal Display (LCD) [17] .....	37
Tabel 4. 1 Tegangan Terukur dan tegangan tampil pada lcd dan IoT.....	54
Tabel 4. 2 Sensor arus terukur dan sensor tampil pada lcd dan IoT.....	56
Tabel 4. 3 Sensor Suhu terukur yang tampil pada lcd dan IoT.....	58
Tabel 4. 4 Daya yang tampil pada lcd dan IoT.....	60
Tabel 4. 5 pembacaan Baterai Lithium-ion discharging tanpa beban. ....	62
Tabel 4. 6 Analisa Pembacaan sensor Lithium-ion Charging Tanpa beban. ....	63
Tabel 4. 8 Analisa baterai lithium-ion charging kondisi low hingga full.....	68

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bentuk fisik Baterai Lithium-ion [17].....	11
Gambar 2.2 Bentuk fisik Sensor PZEM004t [21].....	15
Gambar 2. 3 Bentuk Fisik Sensor Tegangan DC .....	17
Gambar 2.4 Bentuk fisik Sensor ACS712[25] .....	20
Gambar 2. 5 Bentuk fisik Arduino Nano .....	24
Gambar 2.6 Bentuk fisik ESP32 [32].....	25
Gambar 2.7 Bentuk Fisik Adaptor [35].....	27
Gambar 2.8 Bentuk fisik Inverter.....	30
Gambar 2.9 Bentuk fisik Stopwatch .....	31
Gambar 2.10 Bentuk fisik Iot (Internet of Things) .....	33
Gambar 2.11 Bentuk fisik Buzzer .....	34
Gambar 2.12 Bentuk fisik dari LCD .....	37
Gambar 3. 1Diagram Alir.....	42
Gambar 3. 2 Rangkaian ESP32.....	43
Gambar 3. 3 Rangkaian Mikrokontroller dengan Sensor PZEM004T .....	44
Gambar 3. 4 Rangkaian Arduino dengan Sensor Arus (ACS712) .....	45
Gambar 3. 5 Rangkaian Mikrokontroller dengan Inverter.....	46
Gambar 3. 6 Rangkain ESP32 dengan sensor tegangan DC.....	46
Gambar 3. 7 Rangkain ESP32 dengan Lcd.....	47
Gambar 3. 8 Rangkaian keseluruhan sistem .....	48
Gambar 3. 9 Flowchart Arduino Nano .....	50
Gambar 3. 10 Flowchart dengan Esp32 .....	51
Gambar 4. 1Fisik Rangkaian Alat .....	52
Gambar 4. 2 Alat Rangkaian .....	52

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada masa kini yang penuh kemajuan teknologi, permintaan terhadap pasokan listrik yang stabil dan ramah lingkungan semakin krusial, khususnya dalam ranah rumah tangga, di mana penggunaan listrik di tingkat domestik Indonesia menyumbang 35% dari keseluruhan kebutuhan nasional sepanjang 2022, setara dengan sekitar 100 TWh setiap tahun berdasarkan informasi dari Badan Pusat Statistik (BPS), sedangkan pada skala internasional, sektor rumah tangga berkontribusi 28% terhadap total konsumsi listrik global sesuai dengan publikasi *International Energy Agency* (IEA) [1].

Penggunaan baterai Li-ion pada masa sekarang adalah salah satu Solusi yang dapat digunakan pada aplikasi rumah tangga, seperti sistem penyimpanan energi surya (solar home system) atau sumber daya tak terputus (*uninterruptible power supply* (UPS)), memfasilitasi pemanfaatan energi terbarukan dengan tingkat efisiensi yang lebih tinggi. Meskipun demikian, kendala utama dalam penerapan ini meliputi optimalisasi efisiensi daya dan pengelolaan suhu. Efisiensi daya menggambarkan kemampuan baterai dalam menyimpan serta mengeluarkan energi dengan tingkat kerugian yang seminimal mungkin, sedangkan analisis termal menyoroti upaya pengaturan suhu selama tahap pengisian (*charging*) dan pelepasan daya (*discharging*) guna menghindari penurunan kualitas baterai [2].

Dengan meningkatnya permintaan akan energi bersih dan berkelanjutan, penggunaan sumber energi terbarukan semakin populer dalam berbagai sektor kehidupan, termasuk sektor rumah tangga. Salah satu teknologi yang mendukung transisi ini adalah sistem penyimpanan energi, terutama menggunakan baterai lithium-ion (Li-ion). Baterai ini semakin populer di sektor rumah tangga, khususnya dalam aplikasi penyimpanan energi dari panel surya, karena kemampuan mereka untuk menyimpan energi yang diproduksi pada siang hari dan melepaskannya saat kebutuhan energi lebih tinggi, seperti di malam hari. Namun, terdapat sejumlah tantangan teknis yang harus diatasi, salah satunya adalah pengelolaan termal dan efisiensi daya dari baterai lithium-ion [3].

Menurut penelitian Badan Pusat Statistik (BPS) 2022 studi ini mengevaluasi tentang kinerja baterai Li-ion khususnya dalam konteks penggunaan domestik, melalui metode analisis numerik serta simulasi. Teknik yang diterapkan meliputi penghitungan waktu operasi baterai (*battery runtime*) berdasarkan kapasitas standar dan tingkat pelepasan daya (*discharge rate*), perkiraan kemampuan beban terbesar yang bisa disediakan (*load capacity*) sesuai dengan grafik pelepasan daya, dan pemodelan suhu selama proses pengisian dengan memanfaatkan persamaan panas (*heat equation*) guna memprediksi kenaikan temperatur pada sel baterai.

Proses pengisian daya pada baterai melibatkan aliran arus ke dalam sel-selnya, yang memicu pembentukan panas akibat reaksi elektrokimia yang tidak dapat dibalik (seperti polarisasi ohmik dan reaksi sampingan) serta efek Joule yang disebabkan oleh hambatan internal. Pada aplikasi sistem rumah tangga, pengisian ini biasanya bersumber dari panel surya atau jaringan listrik, di mana tingkat arus yang tinggi (misalnya, 0.5C hingga 1C) berpotensi menaikkan suhu hingga 50°C atau lebih tinggi apabila tidak didukung oleh sistem pendingin aktif. Kondisi tersebut dapat mempercepat kerusakan elektrolit dan pertumbuhan lapisan SEI (*Solid Electrolyte Interphase*), sehingga menurunkan kapasitas baterai hingga 20% setiap tahun jika suhu operasional melampaui 45°C, khususnya pada baterai berukuran rumah tangga (5-20 kWh) [4].

Selama proses pelepasan daya, baterai mengalirkan energi ke inverter guna menyuplai beban AC. Pembentukan panas timbul akibat hambatan internal dan polarisasi, yang semakin signifikan pada tingkat pelepasan yang tinggi (misalnya, 1C atau lebih saat beban puncak pada malam hari). Baterai lithium-ion (Li-ion) berfungsi secara vital sebagai media penyimpanan energi, khususnya ketika digabungkan dengan inverter untuk mengubah arus DC menjadi AC demi memenuhi kebutuhan peralatan rumah tangga seperti pencahayaan, perangkat elektronik, dan sistem pendingin. Pada tahap pengosongan daya (*discharging*) baterai Li-ion ketika dipakai bersama inverter untuk beban AC, energi kimia yang tersimpan dilepaskan menjadi arus listrik DC, yang selanjutnya dikonversi oleh inverter menjadi arus AC. Mekanisme ini diawali dengan proses deinterkalasi ion litium dari katoda menuju anoda, yang membebaskan elektron untuk mengalir melalui rangkaian eksternal guna menyediakan daya bagi inverter. Selanjutnya,

inverter menjalankan konversi daya DC ke AC melalui metode modulasi lebar pulsa (PWM) atau pendekatan sinusoidal, sehingga memastikan kecocokan dengan beban AC konvensional (seperti 220V/50Hz di Indonesia) [5].

Berdasarkan pembahasan yang telah ditelusuri, penulis melakukan penelitian berjudul “ ANALISIS THERMAL DAN EFISIENSI DAYA PADA BATERAI LITHIUM-ION UNTUK APLIKASI PADA SISTEM RUMAH TANGGA “ penulis telah menggali potensi penggunaan baterai Lithium-ion dalam membantu sektor rumah tangga, Penelitian ini penting karena pengujian langsung dengan kondisi beban rumah tangga, dianalisis secara langsung dan terintegrasi, dan menggunakan iot sehingga memudahkan pengiriman data secara langsung kepada pengguna dan berharap bahwa melalui penelitian ini, kita akan mengetahui bagaimana efisiensi baterai lithium-ion jika digunakan untuk membackup listrik rumah tangga, yang pada penelitian ini dengan sistem pengecasan lalu dihubungkan inverter atau pengecasan sistem panel surya.

## **1.2 Rumusan masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang, maka permasalahan yang dikaji adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menganalisis Perubahan tegangan dan daya pada baterai lithium-ion pada saat dibebani.
2. Bagaimana menganalisis suhu baterai lithium-ion untuk aplikasi pada sistem listrik rumah tangga pada saat baterai dibebani.
3. Bagaimana faktor yang dapat memengaruhi perubahan suhu baterai pada saat pengisian.

## **1.3 Ruang lingkup Penelitian**

Adapun ruang lingkup dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada analisis daya yang dihasilkan baterai lithium-ion pada sistem listrik rumah tangga.
2. Analisis thermal yang dihasilkan baterai pada saat pengisian daya, tanpa menurunkan pasokan daya yang didapat ketika pengisian.

3. Analisis penelitian dibatasi pada proses pengisian dan faktor pendukung peningkatan suhu pada baterai pada saat digunakan.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Untuk membandingkan tegangan dan daya pada baterai lithium-ion pada Listrik sistem rumah tangga .
2. Untuk menguji sistem akurasi pengukuran suhu pada baterai lithium-ion pada saat dibebani dan tidak dibebani 150 Watt.
3. Untuk menguji proses pengisian dan faktor pendorong peningkatan suhu pada baterai saat digunakan.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Inovasi analisis dan efisiensi penggunaan baterai *lithium-ion* dirumah tangga.
2. Membantu mengoptimalkan pemakaian energi Listrik rumah tangga yang lebih aman dan efisien.
3. Kontribusi ilmiah di bidang pengukuran, dan memberikan dampak teoritis tentang pemahaman dinamika thermal baterai.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Pada penelitian [6] yang berjudul Tinjauan thermal Runaway Baterai Lithium-ion. Penggunaan Baterai litium-ion (Li-ion) telah semakin banyak digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti kendaraan listrik (EV), perangkat elektronik, dan sistem penyimpanan energi skala besar. Dengan masa pakai yang panjang, kepadatan energi yang tinggi, serta kepadatan daya yang tinggi, dan kualitas lainnya. Namun kerusakan internal atau eksternal dapat terjadi dan memengaruhi kinerja baterai, yang berpotensi menimbulkan masalah keselamatan serius, seperti *thermal runaway*. *Thermal runaway* menjadi tantangan utama dalam bidang baterai Li-ion dikarenakan sifatnya yang tidak terkendali dan tidak dapat diubah, sehingga dapat menyebabkan kebakaran dan ledakan yang mengancam keselamatan publik. Oleh karena itu, penelitian ini merupakan topik penelitian yang penting untuk mempelajari dan mengembangkan algoritma prognosis serta diagnosis *thermal runaway* secara efisien, pemodelan *thermal runaway* pada baterai Li-ion dapat berkontribusi dalam pengembangan upaya pencegahan dan mitigasi.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan [7]. Metode Numerik pada analisis laju perpindahan panas pada baterai Lithium-ion. Dengan menggunakan metode numerik ini, maka peneliti mendapat hasil terhadap panas yang tepat pada baterai lithium-ion dengan didapatkan kenaikan suhu maksimum terjadi pada keluaran 0,4 ohm, dengan suhu maksimal 325,8 K. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa laju perpindahan panas akan meningkat secara *polynomial* terhadap arus keluaran baterai. Simulasi laku panas baterai panas dengan *software ANSYS Fluent* menghasilkan nilai yang cukup mendekati dengan nilai error <7%, sehingga metode ini dapat mencerminkan fenomena panas pada baterai lithium-ion.

Begitu pula dengan penelitian [7] yaitu prediksi temperature pengosongan baterai Lithium-ion menggunakan metode autoregressive integrated moving average dimana baterai lithium-ion dengan pembelajaran mesin terutama menekankan estimasi *state of charge* (SOC), *state of health* (SOH), dan prediksi

*remaining useful life* (RUL). Estimasi SOC menggunakan enam algoritma pembelajaran mesin—jaringan saraf tiruan (ANN), mesin vektor dukungan (SVM), regresi proses Gaussian (GPR), regresi linier, *ensemble bagging*, dan *ensemble boosting* menunjukkan bahwa ANN dan GPR memiliki kinerja terbaik. Prediksi RUL online dengan model jaringan saraf konvolusional residu paralel hibrida menghasilkan hasil yang andal berdasarkan data kapasitas pengisian sedangkan metode SOH menggunakan mesin vektor relevansi multi-kernel dan algoritma pengoptimalan *Whale* diverifikasi untuk prediksi jangka pendek dan panjang. Studi-studi ini mempertimbangkan parameter seperti tegangan, suhu, dan resistansi internal sebagai input, yang dipengaruhi kondisi operasi sehingga memengaruhi akurasi dan memerlukan waktu komputasi lama. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan prediksi suhu baterai menggunakan analisis deret waktu yang lebih mudah diterapkan [8].

Selanjutnya dari penelitian yang dilakukann [9] yaitu tentang analisis pengaruh temperature pendinginan pada lithium-battery box terhadap proses *charging* pada skuter tenaga surya mengenai pendinginan baterai litium menyoroti signifikansi manajemen termal dalam mempertahankan efisiensi dan keselamatan baterai. Teknik pendinginan pasif, seperti penggunaan *heat sink*, terbukti efektif dalam menyerap panas yang dihasilkan baterai dengan rentang suhu ideal antara 10°C dan 40°C untuk menghindari pengurangan umur pakai serta kapasitas daya baterai. Sistem Manajemen Termal Baterai (BTMS) pada kendaraan listrik memanfaatkan cairan pendingin guna menjaga stabilitas suhu baterai LiFePO<sub>4</sub>, sedangkan metode pendinginan semi-pasif dengan bahan perubahan fase (PCM) dan pelat pendingin bertujuan mencegah kerusakan mekanis akibat panas ekstrem. Faktor-faktor seperti suhu sekitar, kelembaban, serta kontak fisik turut memengaruhi tingkat self-discharge baterai. Dalam konteks kendaraan listrik yang didukung panel surya, pendinginan baterai sangat penting untuk aspek keamanan, khususnya selama proses pengisian di bawah sinar matahari intens, di mana baterai juga berfungsi sebagai penyimpan energi dari sumber terbarukan yang potensial.

Selanjutnya pada penelitian [10] dengan judul kinerja sistem panel surya atap untuk jaringan rumah tangga selama pandemi Covid-19 dimana penelitian sebelumnya hanya menggunakan panel surya sebagai sumber penghasil arus listrik

saja, Sehingga Energi listrik yang disuplai oleh PLN diupayakan penggunaannya seefisien mungkin untuk menekan konsumsi daya. Salah satu cara yang diterapkan adalah pemanfaatan panel surya atap di setiap rumah, dengan tujuan mengurangi ketergantungan terhadap pasokan energi dari PLN. Sistem PLTS rumah tangga ini menggunakan konsep *Off Grid*, yaitu tidak terhubung langsung dengan jaringan PLN, dan memanfaatkan baterai sebagai media penyimpanan energi untuk memenuhi kebutuhan listrik pada malam hari. Meskipun demikian, sistem tetap menggunakan Inverter Bidirectional, sehingga listrik dari PLN dapat berfungsi sebagai cadangan apabila energi dari PLTS yang tersimpan di baterai tidak mampu memenuhi kebutuhan listrik rumah.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Baterai**

Baterai merupakan komponen krusial dalam sistem PLTS off-grid. Karena sistem ini tidak terhubung ke jaringan PLN, baterai berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan panel surya pada siang hari. Jenis baterai yang umum digunakan pada sistem fotovoltaik off-grid adalah baterai timbal-asam, karena memiliki ketahanan yang baik, mudah dalam penggunaan, relatif aman, serta lebih ekonomis dibandingkan tipe baterai lainnya. Spesifikasi baterai biasanya ditentukan berdasarkan tegangan nominal dan kapasitas [11].

Baterai listrik merupakan perangkat yang tersusun dari dua atau lebih sel elektrokimia yang berfungsi mengubah energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik. Setiap sel memiliki dua kutub, yaitu kutub positif (katoda) dan kutub negatif (anoda). Kutub positif memiliki energi potensial yang lebih tinggi dibandingkan dengan kutub negatif. Sementara itu, kutub negatif berperan sebagai sumber elektron yang akan mengalir melalui rangkaian eksternal ketika baterai dihubungkan dengan suatu perangkat, sehingga dapat menyalurkan energi listrik ke beban. Pada saat baterai terhubung dengan rangkaian luar, elektrolit di dalam baterai akan bergerak dalam bentuk ion dan memicu terjadinya reaksi kimia pada kedua kutub. Pergerakan ion tersebut menghasilkan aliran arus listrik yang keluar dari baterai dan memungkinkan baterai melakukan kerja. Meskipun secara teknis

istilah baterai merujuk pada perangkat yang terdiri dari beberapa sel, dalam penggunaan sehari-hari satu sel tunggal juga sering disebut sebagai baterai.[12]

Saat ini, pengembangan energi berkelanjutan serta teknologi konversi dan penyimpanan energi yang efisien dan ekonomis menjadi sangat penting seiring meningkatnya permasalahan lingkungan dan ketergantungan terhadap sumber listrik portabel yang andal dan berkelanjutan. Berbagai penelitian difokuskan pada pemanfaatan dan konversi energi terbarukan, seperti energi surya, getaran mekanik, panas buangan, dan angin menjadi energi listrik. Dalam konteks ini, teknologi penyimpanan energi listrik memegang peranan strategis dalam mendukung pemenuhan kebutuhan energi hijau dan berkelanjutan.

Baterai atau akumulator merupakan sel listrik yang di dalamnya terjadi reaksi elektrokimia bersifat reversibel dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Reaksi elektrokimia reversibel tersebut memungkinkan terjadinya dua proses, yaitu konversi energi kimia menjadi energi listrik saat pengosongan (discharge) dan konversi energi listrik menjadi energi kimia saat pengisian (charge). Proses pengisian kembali dilakukan melalui regenerasi elektroda dengan cara mengalirkan arus listrik berlawanan arah polaritas di dalam sel. Dengan demikian, baterai menghasilkan energi listrik melalui reaksi kimia yang dapat berlangsung secara bolak-balik. Berdasarkan mekanisme reaksinya, baterai dibedakan menjadi dua jenis, yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer (*primary battery*) merupakan baterai yang hanya dapat digunakan satu kali pakai dan tidak dapat diisi ulang. Pada jenis ini, reaksi kimia yang terjadi bersifat tidak reversibel sehingga material elektrodanya tidak dapat kembali ke kondisi semula setelah energi listrik dihasilkan. Baterai sekunder (*secondary battery*) adalah baterai yang dapat digunakan dan diisi ulang berulang kali. Reaksi kimia yang terjadi di dalamnya bersifat reversibel, sehingga bahan aktif pada elektroda dapat diregenerasi melalui proses pengisian dan kembali ke keadaan awalnya [13].

Baterai sekunder sendiri terdapat banyak jenisnya dipasaran, antara lain : Baterai lithium-ion (Li-ion atau LIB) didalam baterai ini, ion lithium bergerak dari elektroda negative ke elektroda positif saat dilepaskan, dan Kembali saat diisi ulang. Baterai Li-ion memakai senyawa lithium interkalasi sebagai bahan elektrodanya, berbeda dengan lithium metalik yang dipakai di baterai lithium non-

isi ulang. Baterai ion lithium umumnya dijumpai pada barang elektronik konsumen. Baterai ini merupakan jenis baterai isi ulang yang paling populer untuk peralatan elektronik portable, karena memiliki salah satu kepadatan energi terbaik tanpa efek memori, dan mengalami kehilangan isi yang lambat saat tidak digunakan. Selain digunakan pada peralatan elektronik konsumen, LIB juga sering digunakan oleh industri militer, kendaraan Listrik, dan dirgantara. Sejumlah penelitian berusaha memperbaiki teknologi LIB tradisional, berfokus pada kepadatan energi, daya tahan, biaya dan keselamatan intrinsik. Baterai Lithium Polymer (Li-Po) Hampir sama dengan baterai Li-Ion akan tetapi baterai Li-Po tidak menggunakan cairan sebagai elektrolit melainkan menggunakan elektrolit polimer kering yang berbentuk seperti lapisan plastik gilm tipis. Lapisan film ini disusun berlapis-lapis diantara anoda dan katoda yang mengakibatkan pertukaran ion. Baterai *Lead Acid* (Accu) Baterai Lead Acid atau biasa disebut aki merupakan salah satu jenis baterai yang menggunakan asam timbal (*lead acid*) sebagai bahan kimianya. Secara umum terdapat dua jenis baterai *lead-acid*, yaitu : *Starting Battery*, dan *Deep Cycle Battery*. Baterai *Nicke-Metal Hydride* (Ni-MH) baterai jenis ini dibuat dengan komponen yang lebih terjangkau dan ramah lingkungan. Baterai Ni-MH menggunakan ion hydrogen untuk menyimpan energi, tidak seperti baterai lithium-ion yang menggunakan ion lithium. Baterai Ni-MH terdiri dari campuran nikel dan logam lain seperti titanium [14]

Tegangan nominal merupakan tegangan tengah yang diukur ketika baterai berada pada kondisi terisi 50%, sedangkan kapasitas menunjukkan jumlah arus yang mampu disuplai baterai dalam jangka waktu tertentu (Ah). Kapasitas ini umumnya diukur selama 10 jam dengan arus sebesar 1/10 dari kapasitas baterai tersebut. Dalam sistem tenaga surya, baterai berperan penting sebagai penyimpan energi yang dikumpulkan pada siang hari agar dapat dimanfaatkan pada malam hari ketika panel surya tidak menghasilkan listrik. Seiring perkembangan teknologi, baterai kini hadir dengan pilihan kapasitas penyimpanan yang lebih beragam dan daya tahan lebih tinggi [15].

### 2.2.2 Baterai Lithium-ion

Baterai lithium-ion adalah salah satu teknologi penyimpanan energi yang banyak digunakan karena memiliki kemampuan untuk diisi ulang. Namun, di balik keunggulan tersebut, baterai jenis ini memiliki keterbatasan dalam manajemen suhu, sehingga rentan mengalami kenaikan temperatur berlebih atau *overheating*. Pada baterai lithium-ion, proses untuk menghasilkan aliran listrik bekerja dengan prinsip yang serupa, namun terdapat perbedaan pada struktur elektrodanya (katoda dan anoda). Baik katoda maupun anoda pada baterai lithium sama-sama mengandung unsur lithium, berbeda dari baterai konvensional. Desain tersebut memungkinkan ion lithium bergerak bolak-balik secara *reversible* antara kedua elektroda. Saat baterai dialiri arus listrik, elektron akan mengalir menuju anoda, sehingga mendorong ion lithium ikut bermigrasi ke arah anoda. Perpindahan ion lithium menuju anoda umumnya terjadi saat baterai berada dalam kondisi pengisian (*charge*). Sebaliknya, ketika baterai lithium dihubungkan dengan beban seperti lampu, coil, atau perangkat lain, ion lithium bersama elektron yang berada di anoda akan bergerak menuju katoda. Pergerakan ion dari anoda ke katoda ini berlangsung ketika baterai berada dalam kondisi pelepasan daya (*discharge*) [14].

Komponen utama dalam baterai lithium-ion meliputi anoda, katoda, dan elektrolit. Seperti baterai pada umumnya, mekanisme kerjanya berbasis reaksi elektrokimia, di mana arus listrik muncul akibat perpindahan elektron dari anoda sebagai kutub negatif yang menampung ion bermuatan negatif menuju katoda yang berfungsi sebagai penerima ion bermuatan positif. Elektron yang bergerak dari anoda ke katoda akan mengalir melalui rangkaian luar sehingga menghasilkan aliran listrik. Adapun tabel kelebihan dan kekurangan dari baterai Lithium-ion adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 1 kelebihan dan kekurangan Baterai Lithium-Ion

No	Kelebihan	Kekurangan
1	Baterai yang ringan dibandingkan dengan sel baterai isi ulang lain dari berat yang sama	Baterai ini memiliki life time yang pendek dari 2 sampai 3 tahun dari tanggal pembuatannya.

2	Memiliki kepadatan energi yang sangat tinggi sehingga banyak energi yang dapat disimpan di dalamnya.	Baterai ini mengalami degradasi lebih cepat jika mereka terkena panas dibandingkan dengan paparan suhu normal karena mereka sangat sensitive terhadap suhu tinggi.
3	Biaya hilang oleh baterai lithium-ion Adalah serendah 5% perbulan.	Baterai lithium-ion hancur jika mereka benar-benar habis.

Baterai lithium-ion dipilih untuk perangkat ini karena menawarkan sejumlah keunggulan, seperti kepadatan energi dan daya yang tinggi, laju self-discharge yang rendah, kemampuan pengisian cepat, tidak mengalami efek memori, serta memiliki umur siklus yang Panjang Meskipun demikian, baterai berbasis lithium juga memiliki kelemahan, yaitu sangat peka terhadap perubahan temperatur. Selain itu, baterai lithium-ion umumnya hanya menghasilkan tegangan sekitar 3,7 V, sedangkan untuk digunakan sebagai sumber daya pada sistem kelistrikan rumah tangga diperlukan tegangan minimal 12V. Baterai lithium-ion terbagi menjadi beberapa jenis misalnya baterai NCA, NCM, LFP, dan lain lain [16]. Adapun spesifikasi baterai lithium-ion yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.



Gambar 2. 1 Bentuk fisik Baterai Lithium-ion [17]

### 1. Rumus Mencari Energi Baterai

Energi pada baterai dapat dihitung dengan mengalikan kapasitas baterai dengan tegangan nominalnya. Kapasitas baterai umumnya dinyatakan dalam satuan *milliampere-hour* (mAh), sehingga perlu dikonversi ke *ampere-hour* (Ah). Rumus Energi baterai Adalah :

$$W_h = V \times Ah \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana ;

$W_h$  = Energi Baterai

$V$  = Tegangan Baterai (Volt )

$Ah$  = Kapasitas baterai dalam ampere-hour

Selanjutnya yaitu mencari waktu maksimumnya, waktu maksimumnya dapat ditentukan dengan rumus :

$$\text{Waktu Maksimum} = \frac{W_h}{\text{total konsumsi daya}} \dots\dots\dots(2.2)$$

### 2. Rumus menghitung output pengisi daya (*Charger*)

Umumnya *charger* yang digunakan mempunyai output 2A dan memiliki efisiensi 85% sehingga dapat dihitung dengan rumus :

$$W = V \times A \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana ;

$W$  = Daya (watt)

$V$  = Tegangan (Volt)

$A$  = Arus (Ampere)

### 3. Rumus Daya Efektif (P)

Untuk mencari daya reaktif dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana;

$P$ = Daya (W)

$V$ = Tegangan (volt)

$I$ = Arus (Ampere)

Dengan mengetahui jumlah ampere yang di gunakan dalam pengisi daya yang di gunakan, maka waktu pengisian baterai juga dapat di hitung, dengan rumus:

$$\text{Waktu(Jam)} = \frac{\text{Energi Baterai (Wh)}}{\text{Daya Efektif}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Pada sistem elektronika, daya yang digunakan tidak sepenuhnya 100% karena adanya rugi-rugi pada regulator, kabel, maupun komponen pendukung lainnya. Untuk menghitung daya efektif yang benar-benar dapat digunakan, digunakan rumus:

$$P \text{ efektif} = P \times \eta \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana:

P efektif = daya efektif (watt)

P = daya teoritis (watt)

H = efisiensi (0-1), misalnya 0,8 (80%)

4. Rumus Energi, Daya dan Waktu : Energi listrik pada dasarnya merupakan hasil perkalian antara daya dengan waktu. Hubungan tersebut dapat dinyatakan dengan rumus :

$$Wh = W \times \text{jam} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

Wh = energi dalam Watt-hour

W = daya (Watt)

Jam = waktu aktif

5. Rumus Konversi Energi ke Kapasitas Baterai, jika diketahui energi baterai dalam satuan Wh, maka kapasitas dalam mAh dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{mAh} = \text{Wh} \times 1000 / V \dots\dots\dots(2.8)$$

6. Rumus Waktu Operasi Baterai Untuk mengetahui berapa lama baterai mampu menyalakan perangkat berdasarkan konsumsi daya total, waktu operasi dapat dihitung menggunakan rumus :

$$t = Wh \times \eta / P_{\text{beban}} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dengan keterangan:

t = waktu operasi (Jam)

Wh = energi baterai (Watt-hour)

$\eta$  = efisiensi sistem (0–1)

Pbeban = total daya beban (W) [18].

Pada gambar 2.1 Baterai lithium-ion dianggap sebagai pilihan dalam penelitian ini karena merupakan pilihan yang paling efektif untuk berbagai aplikasi modern seperti perangkat elektronik, kendaraan listrik, dan sistem energi rumah tangga karena memiliki sejumlah keunggulan teknis. Jenis baterai ini mampu menyimpan energi lebih besar dalam ukuran yang lebih kecil dan ringan, didukung oleh sifat litium sebagai logam paling ringan. Selain itu, baterai lithium-ion memiliki efisiensi pengisian pengosongan yang tinggi, dapat mencapai sekitar 95%, sehingga energi yang hilang selama proses penggunaan lebih rendah dibandingkan baterai timbal asam sehingga sangat cocok untuk peralatan yang sensitif terhadap perubahan tegangan. Waktu pengisiannya pun lebih cepat karena mendukung pengisian dengan arus lebih tinggi, menjadikannya lebih efisien dan praktis dalam penggunaan sehari-hari.

### 2.2.3 Sensor Daya, Tegangan dan Arus (PZEM004T)

Sensor merupakan komponen yang berfungsi mengubah suatu besaran fisik menjadi sinyal analog agar dapat diproses oleh rangkaian elektronik. Salah satu besaran yang umum diukur dalam sistem kontrol adalah suhu. Beragam teknik dapat digunakan dalam pembuatan sensor suhu, termasuk pemanfaatan material yang nilai hambatannya berubah sesuai dengan perubahan temperatur. Sensor sendiri memegang peran penting dalam sistem kendali otomatis dan, berdasarkan fungsi serta penerapannya, dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok utama: sensor termal, sensor mekanis, dan sensor optik [19].

Pada penelitian ini sensor yang digunakan Adalah Sensor PZEM004t. Dimana PZEM004t merupakan modul pengukuran listrik arus searah (DC) yang dirancang untuk memantau parameter kelistrikan pada sistem tenaga DC secara akurat dan andal. Modul ini mampu membaca tegangan hingga 300 VDC serta

mengukur arus listrik menggunakan shunt eksternal dengan rentang kapasitas mulai dari 50 A hingga 300 A. Selain itu, PZEM004t juga dapat mengukur berbagai parameter penting lainnya, seperti tegangan, arus, daya, dan energi, sehingga sangat cocok digunakan dalam aplikasi pemantauan konsumsi energi pada sistem tenaga surya, baterai, dan instalasi listrik DC lainnya [20].

PZEM-004T adalah sebuah modul elektronik yang berfungsi untuk mengukur : *Voltage* / Tegangan, Arus, Daya, Frekuensi, Energi dan Power Faktor. PZEM-004T merupakan sebuah sensor yang digunakan untuk mengukur beberapa parameter listrik, seperti tegangan, arus, daya, dan energi aktif pada suatu aliran listrik. Sensor ini dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti Arduino maupun berbagai platform *open source* lainnya. Modul PZEM-004T telah dilengkapi dengan sensor tegangan serta sensor arus berupa Current Transformer (CT) yang sudah terpasang secara terpadu dalam satu modul. Secara fisik, papan modul ini memiliki ukuran sekitar  $3,1 \times 7,4$  cm dilengkapi dengan kumparan trafo arus berdiameter 3 mm yang mampu mengukur arus hingga maksimum 100 A. Dalam penggunaannya, PZEM-004T dirancang khusus untuk pemakaian di dalam ruangan (*indoor*), serta beban listrik yang digunakan tidak boleh melebihi batas daya yang telah ditentukan[19]. Adapun spesifikasi dari sensor PZEM004t yang digunakan dalam penelitian ini Adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 2 Spesifikasi sensor PZEM004t

Parameter	Keterangan
Tegangan	0,05-300 V
Resolusi	0,01 v
Akurasi	1%
Arus	0,02-300 A
Daya	0,2-90kW



Gambar 2.2 Bentuk fisik Sensor PZEM004t [21]

Pada gambar 2.2 sensor PZEM-004t pada penelitian ini digunakan sebagai sensor atau modul pengukuran energi listrik arus searah (DC) yang dirancang untuk memantau berbagai parameter kelistrikan secara real time. Sensor ini mampu mengukur tegangan hingga sekitar 300 VDC dan arus listrik menggunakan shunt eksternal dengan rentang pengukuran mulai dari 50 A hingga 300 A, Dimana sensor ini akan mengukur besar tegangan, daya dan arus yang terdapat pada baterai lithium-ion pada saat charging dan discharging sehingga peneliti tidak perlu menambah sensor lain.

Keunggulan utama sensor PZEM-004t terletak pada kemampuannya berkomunikasi menggunakan antarmuka RS485 dengan protokol Modbus-RTU. Hal ini memungkinkan sensor diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti Arduino, ESP8266, atau ESP32 untuk keperluan monitoring jarak jauh dan pencatatan data. Dengan tingkat akurasi yang baik dan kemudahan instalasi, PZEM-004t banyak digunakan dalam aplikasi monitoring sistem PLTS, UPS, kendaraan listrik, serta berbagai proyek penelitian dan otomasi industri.[22].

#### **2.2.4 Sensor Tegangan DC**

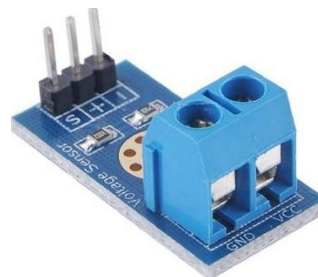
Tegangan merupakan salah satu parameter dasar dalam sistem elektronika, baik pada sistem analog maupun digital. Tegangan DC dapat diukur dan dibaca menggunakan sensor tegangan DC. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip pembagi tegangan yang memanfaatkan nilai resistansi tertentu. Melalui prinsip tersebut, tegangan masukan yang diterima sensor akan diturunkan hingga sekitar lima kali lebih kecil dari tegangan aslinya, sehingga dapat dibaca dengan aman oleh sistem pengolah seperti mikrokontroler.

Besaran tegangan pada sistem analog dapat diolah, diproses, atau dikonversi menjadi bentuk lain sesuai dengan kebutuhan sistem. Dalam sistem digital, sinyal tegangan analog akan dikonversi menjadi data digital menggunakan *Analog to Digital Converter* (ADC). Sensor sendiri merupakan suatu transduser yang berfungsi mengubah parameter fisik tertentu menjadi sinyal listrik, yang umumnya direpresentasikan dalam bentuk tegangan analog agar dapat diproses pada tahap selanjutnya.[23]

Pada mikrokontroler Arduino, pembacaan sensor dengan keluaran tegangan analog dilakukan melalui pin analog A0 hingga A5. Pin-pin tersebut terhubung dengan modul ADC yang memiliki resolusi 10-bit, sehingga menghasilkan nilai digital antara 0 hingga 1023 yang merepresentasikan tegangan dalam rentang 0–5 V. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip pembagi tegangan yang memanfaatkan nilai resistansi tertentu. Oleh karena itu, tegangan analog maksimum yang dapat diterima oleh pin analog Arduino adalah sebesar 5 VDC [24]. Adapun spesifikasi dari sensor DC Adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 3 spesifikasi sensor Tegangan DC

Spesifikasi	Keterangan
Input Tegangan DC	0-25 V
Jangkauan tegangan DC	0.02445-25V,
Tegangan Analog	0.00489V
Tegangan input DC	Pin Positif dengan VCC Negatif dengan GND



Gambar 2. 3 Bentuk Fisik Sensor Tegangan DC

Pada gambar 2.3 Tegangan DC dapat diukur dan dibaca menggunakan sensor tegangan DC. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip pembagi tegangan yang memanfaatkan nilai resistansi tertentu. Melalui prinsip tersebut, tegangan masukan yang diterima sensor akan diturunkan hingga sekitar lima kali lebih kecil dari tegangan aslinya, sehingga dapat dibaca dengan aman oleh sistem pengolah seperti mikrokontroler.

### 2.2.5 Sensor Arus (ACS712)

ACS712 merupakan sebuah *IC* terintegrasi yang berfungsi sebagai sensor arus dan dapat digunakan sebagai pengganti transformator arus yang umumnya memiliki ukuran lebih besar. Prinsip kerja ACS712 serupa dengan sensor efek Hall lainnya, yaitu dengan memanfaatkan medan magnet yang dihasilkan oleh aliran arus listrik, kemudian mengonversinya menjadi tegangan keluaran yang linier terhadap perubahan arus. Nilai tegangan yang dihasilkan oleh sensor ini selanjutnya digunakan sebagai input bagi mikrokontroler untuk diproses lebih lanjut. Keluaran dari sensor ACS712 masih berupa sinyal tegangan AC, sehingga sebelum diolah oleh mikrokontroler, sinyal tersebut perlu disearahkan menggunakan rangkaian penyearah[25].

Arus listrik merupakan bentuk energi yang mengalir melalui penghantar, seperti kabel, akibat perpindahan muatan listrik yang melewati suatu titik dalam selang waktu tertentu pada konduktor. Dalam kehidupan sehari-hari, arus listrik memiliki peranan yang sangat penting karena menjadi kebutuhan utama seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi elektronika. Secara umum, arus listrik dibedakan menjadi dua jenis, yaitu arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC).

Untuk memantau dan mengukur arus listrik tersebut, diperlukan sensor arus yang mampu mendeteksi besarnya arus dan menghasilkan keluaran berupa sinyal analog, sehingga penggunaan energi listrik dapat dikontrol dan diatur. Salah satu sensor yang umum digunakan adalah ACS712, yang bekerja berdasarkan prinsip efek Hall. Sensor ini mampu mengukur arus AC maupun DC dengan tingkat akurasi dan linearitas yang baik, serta menggunakan catu daya 5V DC dengan tegangan keluaran hingga 4,5V. Selain itu, sensor ACS712 dirancang dalam bentuk IC yang kompak dan bekerja dengan mendeteksi medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik pada penghantar. Sensor ini mengombinasikan fungsi resistor shunt dan transformator arus, sehingga mampu memberikan hasil pengukuran yang akurat dengan rangkaian pengolahan data yang relatif sederhana [26].

Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan peristiwa hall effect yang bekerja menggunakan prinsip gaya Lorenz. Sensor ini juga memiliki tegangan kerja 5 V dan memiliki resistansi internal sebesar 1.2 m $\Omega$ . Bagian-bagian dari sensor arus ACS712 yaitu:

- Pin 1 : IP+ yang merupakan masukan arus.
- Pin 2 : IP+ yang merupakan masukan arus
- Pin 3 : IP- yang merupakan keluaran arus
- Pin 4 : IP- yang merupakan keluaran arus
- Pin 5 : Ground
- Pin 6 : Terminal untuk kapasitor eksternal
- Pin 7 : Keluaran tegangan analog
- Pin 8 : Power supply 5 V

Dalam rangkaian listrik, pergerakan elektron melalui media konduktor menyebabkan terbentuknya arus listrik yang dapat dimanfaatkan untuk mengoperasikan berbagai peralatan listrik. Arus listrik biasanya dilambangkan dengan huruf *I* yang menyatakan intensitas arus. Satuan arus listrik dalam Sistem Internasional (SI) adalah *ampere* (A). Besarnya arus listrik dapat didefinisikan sebagai jumlah muatan listrik yang melewati suatu titik dalam rangkaian setiap detik. Secara matematis hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan :

$$I = \frac{Q}{t} \dots \dots \dots (2.10)$$

- Dimana *I* = arus Listrik (*ampere*)  
*Q* = muatan Listrik (*coulomb*) dan  
*t* = waktu (detik)

Hubungan antara arus listrik, tegangan, dan hambatan dijelaskan melalui Hukum Ohm. Hukum ini menyatakan bahwa besar arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar berbanding lurus dengan tegangan yang diberikan dan berbanding terbalik dengan hambatan pada penghantar tersebut. Secara matematis, hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan:

$$I = \frac{V}{R} \dots \dots \dots (2.11)$$

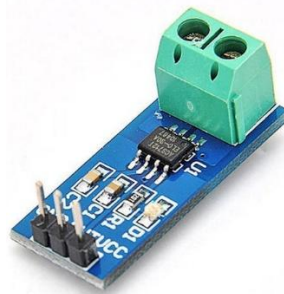
- Dimana *I* = arus Listrik (*ampere*)  
*V* = Tegangan (*Volt*)  
*R* = Hambatan (ohm)

Berdasarkan arah alirannya, arus listrik dibedakan menjadi dua jenis, yaitu arus searah (Direct Current / DC) dan arus bolak-balik (Alternating Current / AC). Arus searah adalah arus yang mengalir hanya dalam satu arah secara konstan. Sumber arus DC umumnya berasal dari baterai atau sumber daya sejenis. Sementara

itu, arus bolak-balik merupakan arus listrik yang arah alirannya berubah secara periodik terhadap waktu. Bentuk gelombang arus AC pada umumnya berupa gelombang sinus, meskipun pada beberapa aplikasi tertentu dapat berbentuk gelombang segitiga atau gelombang persegi. Contoh sumber arus AC adalah listrik dari jaringan listrik rumah tangga yang dihasilkan oleh generator pada pembangkit listrik. Selain itu, gelombang audio dan gelombang radio juga merupakan contoh fenomena yang menggunakan prinsip arus bolak-balik [27]. Adapun spesifikasi dari sensor arus ACS712 yaitu sebagai berikut.

Tabel 2. 4 Spesifikasi Sensor ACS712

Karakteristik	Simbol	Rating Maksimal
Tegangan Supply	Vcc	8 V
Output Tegangan	V out	8V
Toleransi Arus Lebih	Ip	100A
Sensitivitas		Tipe 5 T = 185 mV/A Tipe 20 T = 100 mV/A Tipe 30 T = 66 mV/A
Waktu Kenaikan perubahan		5 $\mu$ s.
Frekuensi		80 KHz
Error		1.5 %
Suhu		25oC.
Resistansi konduktor		1.2 m $\Omega$
Tegangan Isolasi		2.1 KVRMS antara pin 1-4 dan pin 5-8
Tegangan		5VDC



Gambar 2.4 Bentuk fisik Sensor ACS712[25]

Pada gambar 2.4 Penggunaan sensor arus ACS712 ini Kebanyakan memiliki kekurangan yakni nilai arus yang di dapatkan dari sensor tidak linear sehingga

terkadang kita membutuhkan tingkat linear yang lebih tinggi. Sebelum membahas lebih lanjut, akan di jelaskan terlebih dahulu tentang sensor arus ACS712. ACS712 ini memiliki tipe variasi sesuai dengan arus maksimal yakni 5A, 20A, 30A. ACS712 ini menggunakan VCC 5V [24].

### 2.2.6 Sensor Suhu DS18B20

Sensor DS18B20 merupakan sensor suhu digital yang memiliki kemampuan tahan air (*waterproof*) sehingga dapat digunakan untuk mengukur suhu pada lingkungan yang lembap atau berair. Sensor ini mampu bekerja pada rentang suhu sekitar  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Namun, apabila sensor menggunakan pelindung kabel berbahan PVC, penggunaannya disarankan tidak melebihi suhu  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  agar tidak merusak lapisan pelindung kabel [23].

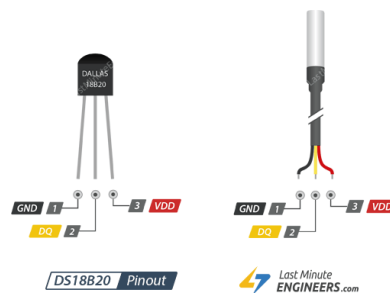
Secara umum, sensor suhu adalah komponen yang berfungsi mengubah energi panas menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca oleh sistem elektronik. Berdasarkan material penyusunnya, sensor suhu biasanya dibedakan menjadi dua jenis, yaitu sensor berbahan dasar logam dan sensor berbahan dasar semikonduktor. Pada sensor yang berbahan logam, peningkatan suhu akan menyebabkan nilai resistansi semakin besar. Sebaliknya, pada sensor berbahan semikonduktor, kenaikan suhu akan mengakibatkan nilai resistansi semakin kecil[27].

Sensor DS18B20 diproduksi oleh perusahaan Dallas Semiconductor dan memiliki keunggulan berupa keluaran data digital secara langsung. Dengan keluaran digital tersebut, sensor ini tidak memerlukan rangkaian *Analog to Digital Converter* (ADC) tambahan untuk membaca nilai suhu. Selain itu, sensor ini memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dan dapat digunakan untuk mengukur suhu pada lokasi yang sulit dijangkau atau berada di dalam air karena sifatnya yang tahan terhadap kondisi lingkungan tersebut [28]. Adapun spesifikasi dari sensor Arus DS18B20 yaitu sebagai berikut.

Tabel 2. 5 spesifikasi sensor arus DS18B20

Parameter	Keterangan
Jenis sensor	Sensor suhu digital
Tipe komunikasi	

	1-Wire (satu jalur data)
Rentang Pengukuran Suhu	-55 °C hingga +125 °C
Akurasi Pengukuran	±0,5 °C pada rentang -10 °C sampai +85 °C
Tegangan Operasi	3,0 V – 5,5 V
Resolusi Pengukuran	9-bit sampai 12-bit (dapat diatur)
Waktu Konversi suhu	93,75ms – 750ms(tergantung resolusi)
Tipe Output	data digital
Konsumsi Arus	1 mA saat konversi



Gambar 2.5 Bentuk fisik dari sensor DS18B20[23]

Pada gambar 2.5 sensor DS18B20 menghasilkan keluaran berupa data digital sehingga tidak memerlukan rangkaian konversi analog ke digital tambahan. Selain itu, DS18B20 memiliki resolusi pengukuran yang dapat diatur dari 9-bit hingga 12-bit, sehingga memberikan fleksibilitas dalam menentukan tingkat ketelitian pengukuran suhu. Karena keunggulan tersebut, sensor DS18B20 sering digunakan pada berbagai aplikasi seperti sistem monitoring suhu, pengendalian temperatur, serta pemantauan kondisi termal pada perangkat elektronik dan baterai.

### 2.2.7 Mikrokontroler Esp32 dan Arduino Nano

Mikrokontroler berfungsi sebagai pusat pengendali pada sebuah robot, dimana perangkat ini bekerja berdasarkan program yang ditanamkan sesuai kebutuhan perancang. Sistem minimum merupakan rangkaian mikrokontroler yang telah dilengkapi komponen dasar sehingga dapat menjalankan suatu aplikasi secara

mandiri. Dalam pembuatan sistem minimum, diperlukan rangkaian clock dan reset, meskipun beberapa jenis mikrokontroler sudah memiliki clock internal sehingga dapat beroperasi tanpa rangkaian tambahan. Salah satu papan sistem minimum mikrokontroler yang bersifat open source adalah Arduino Uno, yang telah menyediakan seluruh kebutuhan dasar untuk mendukung kinerja mikrokontroler [29].

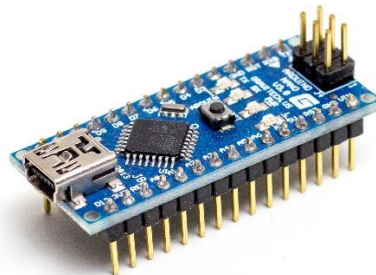
Mikrokontroller yang dipakai pada penelitian ini yaitu Mikrokontroler ESP32 salah satu keunggulan utama ESP32 adalah sudah terintegrasinya fitur WiFi dan Bluetooth, sehingga sangat mendukung pembuatan sistem IoT yang membutuhkan koneksi nirkabel. Modul ini juga dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti sistem kontrol, monitoring, dan aplikasi lainnya. ESP32 dilengkapi dengan fitur *deep sleep* yang memungkinkan penghematan daya dengan mematikan modul saat tidak sedang digunakan. Mikrokontroler ini dikenal sebagai perangkat berbiaya rendah dan hemat energi, karena modul WiFi dan Bluetooth berdaya rendah telah tertanam langsung pada chip mikrokontrolernya, membuatnya lebih fleksibel. Selain itu, papan NodeMCU ESP32 merupakan board prototipe yang kompak serta mudah diprogram menggunakan Arduino IDE maupun Python [30].

Arduino Nano adalah salah satu jenis papan mikrokontroler dalam keluarga Arduino. Pada papan ini terdapat mikrokontroler 8-bit dari seri ATmega yang diproduksi oleh Atmel Corporation sebagai komponen utamanya. Setiap varian papan Arduino menggunakan tipe ATmega yang berbeda sesuai dengan spesifikasi dan kebutuhannya. Secara fungsional, Arduino Nano memiliki kemampuan yang serupa dengan Arduino Uno maupun jenis Arduino lainnya. Arduino Nano memiliki sejumlah kelebihan dibandingkan dengan Arduino Uno. Mikrokontroler ini dikenal sebagai perangkat berbiaya rendah dan hemat energi, karena modul WiFi dan Bluetooth berdaya rendah telah tertanam langsung pada chip mikrokontrolernya, membuatnya lebih fleksibel. Salah satu keunggulannya adalah ukurannya yang lebih kecil sehingga lebih praktis digunakan, serta harganya yang relatif lebih ekonomis. Keunggulan utama Arduino Nano terletak pada konsumsi daya yang rendah, fleksibilitas tinggi, serta kemudahan integrasi dengan berbagai sensor seperti sensor suhu DS18B20 dan sensor arus. Selain itu, Arduino Nano juga

menyediakan jumlah pin input-output analog yang lebih banyak, yaitu delapan pin, sedangkan Arduino Uno hanya memiliki enam pin analog. Adapun Spesifikasi dari Arduino Nano Adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 6 Spesifikasi Mikrokontroler Arduino Nano

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Mikrokontroler	Atmega 168 atau ATmega
2	Tegangan operasi	5 v
3	Tegangan Input	7-12 v
4	Tegangan input(Maksimal)	6-20 v
5	Pin I/O Digital	14(6 digunakan untuk output PWM)
6	Pin Analog	8
7	Arus DC tiap pin I/O	40 mA



Gambar 2. 5 Bentuk fisik Arduino Nano

Pada gambar 2.5 Arduino Nano dapat dimanfaatkan dalam berbagai jenis proyek, mulai dari pembuatan alat, robot, sistem otomatis, hingga perangkat pengukuran yang menggunakan mikrokontroler sebagai pusat kendali. Penggunaan Arduino Nano banyak dipilih karena biaya yang relatif murah dan desainnya yang praktis. Selain itu, ukurannya yang kecil membuatnya tidak membutuhkan banyak ruang, sehingga sangat ideal untuk diaplikasikan pada proyek atau perangkat berukuran kompak [31]

Sistem merilis ESP32 sebagai penerus dari mikrokontroler ESP8266. Keunggulan utama ESP32 terletak pada sudah terintegrasinya modul WiFi dan Bluetooth, sehingga proses pengembangan sistem IoT yang membutuhkan koneksi

nirkabel menjadi lebih mudah. Dibandingkan dengan ESP8266, ESP32 memberikan peningkatan signifikan karena ESP8266 belum memiliki fitur tersebut. Berbagai perangkat lunak dapat digunakan untuk memprogram ESP32, di antaranya yaitu Arduino IDE, Espressif IoT Development Framework, Arduino Promini, serta ekstensi ESP-IDF pada Visual Studio Code. Adapun spesifikasi Esp32 yang dipakai dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.

Tabel 2.7 Spesifikasi Mikrokontroler Esp32

Parameter	Keterangan
Prosesor	Tensilica L108 32 bit
Tegangan	3,3 volt
RAM	520K
Kecepatan prosesor	Dual 160MHz
ADC	7
GPIO	34
UART	2
I2C	2
SPI	4



Gambar 2.6 Bentuk fisik ESP32 [32]

Pada gambar 2.6 ESP32 berfungsi untuk merilis ESP32 sebagai penerus dari mikrokontroler ESP8266. Keunggulan utama ESP32 terletak pada sudah terintegrasinya modul *WiFi* dan Bluetooth, sehingga proses pengembangan sistem *IoT* yang membutuhkan koneksi nirkabel menjadi lebih mudah. Dibandingkan dengan ESP8266, ESP32 memberikan peningkatan signifikan karena ESP8266 belum memiliki fitur tersebut. Berbagai perangkat lunak dapat digunakan untuk memprogram ESP32, di antaranya yaitu Arduino IDE, Espressif *IoT Development Framework*, Arduino Promini, serta ekstensi ESP-IDF pada *Visual Studio Code*[15]

Pada penelitian ini Esp32 digunakan sebagai mikrokontroler yang Dimana sebagai tempat pengolahan data yang dikirimkan oleh sensor RTC dan sensor PZEM017 dimana tegangan yang dimasukkan berupa arus DC dan akan diubah di mikrokontroler ESP32 dan Dimana data yang dihasilkan berupa tegangan output berubah arus AC dan akan dikirimkan dan ditampilkan di LCD dan dapat juga ditampilkan di Iot.

### 2.2.8 Power Supply

*Power supply* adalah perangkat yang berfungsi sebagai sumber penyedia energi listrik bagi peralatan elektronik lainnya. Terdapat beberapa jenis power supply, di antaranya DC power supply, AC *power supply*, dan switch mode power supply. DC power supply merupakan catu daya yang menghasilkan tegangan dan arus searah (DC) dengan polaritas tetap, yaitu positif dan negatif. AC *power supply* digunakan untuk mengubah tegangan AC ke tingkat tegangan lain sesuai kebutuhan. Sementara itu, switch mode *power supply* berfungsi untuk menyearahkan serta menyaring tegangan AC menjadi tegangan DC yang lebih stabil [33]

Salah satu penerapan baterai dapat ditemukan pada sistem UPS (*Uninterruptible Power Supply*) yang berfungsi sebagai sumber daya cadangan ketika terjadi gangguan, seperti pemadaman listrik. Sistem daya cadangan ini memiliki peranan yang sangat penting dalam menjaga agar peralatan tetap dapat beroperasi tanpa gangguan, baik dari sisi kinerja perangkat maupun kontinuitas pasokan energi listrik.

Sumber utama energi pada UPS berasal dari baterai yang terdapat di dalamnya. Semakin besar kapasitas penyimpanan baterai, maka semakin lama UPS mampu menyuplai daya listrik. Namun demikian, kapasitas penyimpanan baterai pada UPS memiliki batasan tertentu. Secara umum, kemampuan baterai dalam menyimpan arus relatif terbatas, misalnya sekitar 9 Ah, tergantung pada spesifikasi baterai yang digunakan.

Di sisi lain, parameter-parameter penting pada UPS seperti sisa energi baterai, kondisi pasokan listrik dari PLN, serta besarnya daya yang digunakan oleh beban, umumnya belum dapat dimonitor secara langsung (*real-time*). Hal ini

menyebabkan informasi terkait kondisi baterai dan penggunaan energi tidak dapat diketahui secara cepat untuk dilakukan tindakan yang diperlukan.

Oleh karena itu, data-data tersebut perlu dipantau dan disimpan secara kontinu agar pengguna dapat mengetahui kondisi dan performa baterai. Sebagai contoh, apabila kapasitas baterai mulai menurun dan laju pengosongan (*discharge rate*) semakin cepat, maka baterai tersebut perlu segera diganti untuk menjaga kinerja sistem tetap optimal [34]. Adapun Spesifikasi dari adaptor yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 2.8 Spesifikasi Power Supply

Parameter	Keterangan
Tegangan input	220 V AC
Arus maksimum	5 A
Tegangan output	12 V DC
Daya Output	60 watt
Efisiensi	85%
Suhu operasi	0-50 C



Gambar 2.7 Bentuk Fisik Adaptor [35]

Pada gambar 2.7 adaptor ini adalah catu daya yang canggih, memberikan output yang stabil dengan kerugian daya yang rendah. Catu daya ini tidak memerlukan penyearah tambahan karena dirancang untuk memberikan output yang bersih dan stabil [36].

### 2.2.9 PWM

PWM (Pulse Width Modulation) atau dalam bahasa Indonesia dikenal sebagai modulasi lebar pulsa merupakan suatu metode modulasi yang bekerja

dengan cara mengatur lebar pulsa, sementara nilai frekuensi dan amplitudo sinyal tetap konstan. Teknik PWM dapat dipandang sebagai kebalikan dari ADC (Analog to Digital Converter) yang berfungsi mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital. Sebaliknya, PWM digunakan untuk menghasilkan sinyal yang menyerupai analog dari perangkat digital, seperti mikrokontroler. Pada platform Arduino, PWM diterapkan dengan mengubah nilai duty cycle tanpa mengubah amplitudo dan frekuensi sinyal. Satu periode PWM terdiri dari kondisi logika tinggi (*high*) yang kemudian bertransisi ke kondisi rendah (*low*). Lebar pulsa PWM memiliki hubungan yang sebanding dengan amplitudo sinyal analog sebelum dimodulasi. Duty cycle merupakan perbandingan waktu sinyal berada pada kondisi *high* dalam satu periode dan dinyatakan dalam bentuk persentase dengan rentang 0% hingga 100%. [37]

Pengendalian PWM dapat dilakukan melalui pemrograman menggunakan Arduino dengan menuliskan kode pada Arduino IDE untuk menentukan arah sudut serta mengatur besarnya tegangan keluaran. Hasil pengaturan tersebut dapat diamati melalui simulasi gelombang pulsa menggunakan osiloskop. Sinyal PWM yang dihasilkan kemudian diinputkan ke mikrokontroler Arduino untuk menjalankan proses switching pada nine-switch inverter yang berfungsi menggerakkan dua motor BLDC. APWM pada penelitian ini digunakan untuk Selain itu, penerapan PWM membantu menjaga stabilitas operasi baterai lithium-ion dengan mengontrol proses pengisian dan pengosongan daya secara terukur. Pengendalian yang tepat melalui PWM dapat meminimalkan fluktuasi arus, meningkatkan efisiensi daya, serta memperpanjang umur pakai baterai. Dengan demikian, PWM menjadi komponen penting dalam analisis thermal dan efisiensi daya, karena berkontribusi terhadap pengelolaan energi yang lebih optimal dan aman pada sistem listrik rumah tangga.

### **2.2.10 Inverter**

Inverter adalah komponen yang mengubah arus DC (dari baterai atau panel surya) menjadi arus AC yang bisa digunakan oleh peralatan listrik rumah tangga. Banyak beban rumah tangga menggunakan AC, jadi konversi ini sangat penting. Terdapat beberapa jenis inverter: *on-grid*, *off-grid*, dan *hybrid* (gabungan *on-grid*

dan *off-grid*). Dalam konteks sistem hybrid, inverter hybrid dapat berfungsi sebagai pengubah daya sekaligus mengelola aliran energi antara panel, baterai, dan jaringan PLN. Efisiensi inverter sangat menentukan performa sistem. Inverter dengan efisiensi tinggi dapat meminimalkan kerugian daya saat konversi, misalnya melalui teknologi MPPT, kontrol frekuensi, dan tegangan output yang stabil. Beberapa penelitian (misalnya simulasi sistem inverter *grid-forming*) menunjukkan bahwa inverter bisa dikontrol agar meniru perilaku generator sinkron tradisional, yang penting dalam situasi kritis seperti black start (memulai sistem setelah pemadaman total) [38]

Inverter tipe *off-grid* mampu beroperasi secara mandiri, tetapi tidak bisa disambungkan ke jaringan listrik, dan daya keluarannya menyesuaikan kebutuhan beban AC. Inverter tipe *off-grid* mampu beroperasi secara mandiri, tetapi tidak bisa disambungkan ke jaringan listrik, dan daya keluarannya menyesuaikan kebutuhan beban AC. Untuk menjaga kestabilan daya akibat perubahan sumber energi surya maupun variasi beban, sistem PLTS mandiri biasanya dilengkapi dengan baterai. Saat ini tersedia inverter tipe *on/off-grid (grid-tie hybrid)* yang dapat berfungsi sebagai inverter mandiri maupun terhubung ke jaringan, sehingga merupakan kombinasi dari kedua jenis inverter sebelumnya. Ketika suplai listrik dari PLN tersedia, inverter akan beroperasi sebagai *on-grid* inverter dan menghasilkan daya yang dapat mengurangi konsumsi listrik dari PLN. Namun ketika terjadi pemadaman, inverter beralih ke mode *off-grid* dengan menyalurkan energi dari panel surya dan baterai sebagai penyimpanan [39]. Adapun spesifikasi dari inverter yaitu sebagai berikut ini.

Tabel 2.9 Tabel spesifikasi Inverter

Parameter	Keterangan
Tegangan Input (DC)	12/24/48 V DC
Rentang Tegangan Masukan	$\pm 10-15\%$ dari tegangan nominal
Tegangan Output (AC)	220–230 V AC
Frekuensi Input	50 Hz atau 60 Hz
Daya Nominal	300 W – 5000 W (d disesuaikan kebutuhan)
Daya Puncak (Surge Power)	$2 \times$ daya nominal

Bentuk Gelombang AC	Pure Sine Wave atau Modified Sine Wave
Efisiensi konversi	85% – 95%
Total Harmonic Distortin(THD)	3% (untuk pure sine wave)



Gambar 2.8 Bentuk fisik Inverter

Pada gambar 2.8 masalah muncul karena inverter jenis ini tidak memiliki sistem kontrol khusus untuk mengatur proses penyimpanan energi ke baterai. Pada mode on-grid, idealnya baterai diputus dari sistem untuk mencegah *over-discharge*, sebab inverter dengan MPPT akan bekerja pada kapasitas maksimum. Sebaliknya, dalam mode *off-grid* baterai harus tetap terhubung untuk membantu menstabilkan output inverter akibat fluktuasi sumber dan beban AC [40]

### 2.2.11 Stopwatch

Dalam pengukuran waktu kerja, *direct stopwatch time* adalah metode pengukuran yang menggunakan stopwatch sebagai alat untuk mencatat lamanya penyelesaian suatu aktivitas secara langsung (*actual time*). Waktu yang diperoleh kemudian disesuaikan dengan memperhitungkan kecepatan kerja operator serta ditambahkan. Sebelum dilakukan pengukuran, pekerjaan yang diamati harus dipecah terlebih dahulu menjadi elemen-elemen kerja yang lebih rinci. Setelah itu, setiap elemen diamati dan waktu penyelesaiannya diukur serta dicatat [41]. Adapun tabel spesifikasi dari stopwatch yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.

Tabel 2.10 Tabel Spesifikasi Stopwatch

Parameter	Keterangan
Rentang Pengukuran Waktu	0-23 jam 59 menit 59 detik

Resolusi Waktu	1/100 detik atau 1/1000 detik
Jumlah memori lap	30-100 data(tergantung tipe)
Akurasi	$\pm 0.001\%$ atau $\pm 0.01$ detik per jam
Jenis Baterai	CR2032/LR44
Daya tahan baterai	1-2 tahun
Berat	50-80 Gram
Dimensi	$\pm 80-90 \times 60-70 \times 20-30$ mm
Jenis Display	LCD



Gambar 2.9 Bentuk fisik Stopwatch

Pada gambar 2.9 pada penelitian ini stopwatch digunakan untuk mencatat durasi pengujian dan interval pengambilan data suhu pada baterai lithium-ion. Pengukuran waktu yang akurat sangat penting dalam analisis termal karena perubahan suhu baterai terjadi secara bertahap selama proses pengisian, pengosongan, maupun saat baterai berada dalam kondisi beban tertentu waktu kerja menggunakan jam henti ini cocok digunakan pada pekerjaan yang berdurasi singkat dan dilakukan secara berulang. Dalam penerapannya, terdapat syarat tertentu yang harus dipenuhi, yaitu pekerjaan yang diukur harus memiliki standar kerja yang telah ditetapkan dan mengikuti metode yang berlaku dalam proses penyelesaiannya.

### 2.2.12 Internet of Things

*Internet of Things* (IoT) telah berkembang pesat dari kombinasi teknologi nirkabel, *micro-electromechanical systems* (MEMS), dan internet. IoT menggunakan beberapa teknologi yang bekerja sama dengan satu sama lain termasuk sensor yang berfungsi sebagai pembaca data dan memiliki koneksi ke internet. Pemrograman argumen adalah cara kerja *IoT*, di mana perintah argumen

dapat menghasilkan interaksi antar mesin yang terhubung secara otomatis tanpa campur tangan manusia dan tanpa batasan jarak jauh. Internet merupakan penghubung antara dua interaksi sistem. Pada *IoT*, manusia hanya bertanggung jawab dalam mengontrol dan mengendalikan mesin yang bekerja secara langsung [42].

Mikrokontroler bekerja dengan menerjemahkan bahasa pemrograman yang telah dimasukkan ke dalam sistem, sehingga perangkat IoT dapat berfungsi sesuai dengan perintah yang diberikan. Terdapat berbagai jenis mikrokontroler yang umum digunakan, seperti Arduino, Raspberry Pi, serta NodeMCU, yang masing-masing memiliki tingkat kemampuan dan karakteristik berbeda, termasuk dari segi kinerja dan biaya.

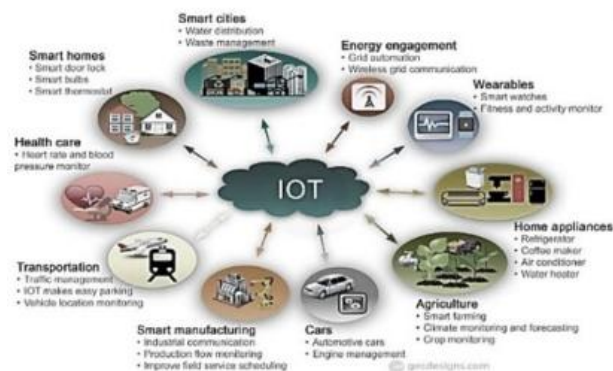
Dalam pengembangan sistem IoT, diperlukan suatu perantara untuk menghubungkan pengguna dengan mikrokontroler, yaitu melalui API (Application Programming Interface). Selain itu, konektivitas internet memegang peranan penting dalam sistem IoT, karena kualitas koneksi akan sangat memengaruhi kecepatan dan keakuratan informasi yang dikirimkan dari perangkat ke pengguna. Jika koneksi internet tidak stabil, maka informasi yang diterima pengguna menjadi kurang optimal [43].

Beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan dalam pengembangan IoT meliputi penggunaan berbagai protokol jaringan, kompleksitas transmisi data, keberagaman perangkat (heterogenitas), serta kemampuan skalabilitas sistem. Protokol jaringan seperti Bluetooth, Wi-Fi, dan ZigBee berperan dalam proses pengiriman data pada sistem IoT. Selain itu, heterogenitas perangkat menjadi salah satu karakteristik utama, karena IoT terdiri dari beragam perangkat yang terbagi ke dalam tiga lapisan utama, yaitu perangkat akhir (*end device*), perangkat perantara (*gateway*), dan sistem komputasi. Skalabilitas juga menjadi faktor penting, karena menentukan kemampuan sistem IoT dalam menangani peningkatan jumlah perangkat dan kebutuhan operasional secara keseluruhan. Adapun spesifikasi dari *internet of things*(*iot*) yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut.

Tabel 2.11 Spesifikasi *Internet of Things*(IoT)

Parameter	Keterangan
Kecepatan prosesor	80-240 MHz

Arsitektur	32-bit
Ram	128 KB-520 KB
Flash Storage	4MB-16MB
Input	GPIO(10-30 Pin)
ADC	10-12 bit
Tegangan Input	3,3 V atau 5 V
Konsumsi Daya	50 mA- 500 mA tergantung mode operasi



Gambar 2.10 Bentuk fisik Iot (*Internet of Things*)

Pada gambar 2.10 fungsi utama IoT dalam penelitian ini adalah untuk mengumpulkan data parameter penting, seperti tegangan, arus, daya, dan suhu baterai lithium-ion secara kontinu dan otomatis. Data yang diperoleh dari sensor kemudian dikirimkan melalui modul komunikasi (misalnya WiFi) ke platform monitoring, sehingga memudahkan pengguna dalam menganalisis performa baterai tanpa harus melakukan pengukuran secara manual. Dengan adanya sistem ini, proses analisis thermal dapat dilakukan dengan lebih akurat karena perubahan suhu dapat terdeteksi secara langsung, sementara efisiensi daya dapat dihitung berdasarkan data yang tersimpan secara sistematis.

### 2.2.13 Buzzer

*Buzzer/speaker* pada dasarnya memiliki prinsip kerja yang sama yang merupakan komponen yang memiliki fungsi untuk mengubah arus listrik menjadi suara. *Buzzer* mempunyai kumparan diafragma, kumparan yang dialiri arus Listrik tersebut menyebabkan terjadinya proses electromagnet. *Buzzer* dapat dilihat pada gambar berikut, yang digunakan sebagai indikator apabila suhu yang dideteksi

mencapai batassuhu 40 C. *Buzzer* merupakan alat sederhana yang dapat membuat nada dasar dan bip. *Buzzer* bekerja dengan menggunakan kristal piezo, bahan khusus yang berubah bentuk ketika diberikan tegangan. *Buzzer* dapat dihubungkan dengan mikrokontroler untuk berbagai tujuan, seperti memberikan peringatan alarm suara untuk pengukuran jarak. Kristal, seperti kerucut speaker kecil, dapat mendorong diafragma dan menghasilkan gelombang tekanan yang ditangkap oleh telinga manusia sebagai suara. Piezo akan mulai menghasilkan suara dengan sangat cepat jika hanya mengubah frekuensi tegangan yang diberikan kepadanya [44]. Spesifikasi dari *buzzer* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 2.12 Spesifikasi Buzzer

Parameter	Keterangan
Catu Daya	2.2V-5.5V
Arus	30 mA
Jarak Kebisingan	10cm:80dB
Frekuensi	2300+-300 MHz



Gambar 2.11 Bentuk fisik Buzzer

Pada gambar 2.11 *buzzer* memiliki kumparan yang terpasang seacara diafragma dimana ketika kumparan itu dialiri arus listrik maka ia akan menjadi elektromagnetik yang mengakibatkan kumparan tertarik ke dalam ataupun keluar mengikuti arah arus dan polaritas magnetnya. Ketika kumparan menggerakkan diafragma tersebut bergerak secara bolak-balik maka hal itu akan menghasilkan suara[44].

#### 2.2.14 LCD 16x 2

LCD (*Liquid Crystal Displays*) digunakan untuk menampilkan status atau parameter dalam sistem *embedded*. Layar LCD khusus diproduksi untuk digunakan

dengan mikrokontroler, tidak dapat diaktifkan oleh sirkuit IC standar. Terdapat pin di sepanjang satu sisi LCD, yang terdiri dari 16 pin. Pin-pin tersebut mencakup 8 pin data (D0-D7) dan 3 pin kontrol (RS, RW, EN). Selain itu, ada pin suplai dan pin lampu latar, total 5 pin. Layar LCD mampu menampilkan 16 karakter per baris dan memiliki dua baris karakter. Setiap karakter pada layar LCD diatur dalam matriks piksel [16].

LCD bekerja berdasarkan prinsip menghalangi cahaya daripada memancarkan ini memiliki keunggulan unik karena memiliki konsumsi daya yang rendah dari pada LED (*Light Emitting Diode*). LED ini terdiri dari beberapa lapisan yang mencakup dua filter panel terpolarisasi dan elektroda dan Cahaya diproyeksikan dari lensa pada lapisan kristal cair. Kombinasi Cahaya berwarna dengan gambar kristal abu-abu (dibingkai saat arus listrik mengalir pada kristal) membentuk gambar berwarna. Gambar yang ditampilkan di layar dan LCD harus dikontrol oleh arus yang diberikan. Kristal cair harus mampu mengendalikan kedua operasi untuk mentransmisikan atau juga dapat mengubah cahaya terpolarisasi . LCD mendominasi jenis tampilan untuk komputer karena membutuhkan daya listrik yang rendah, bentuk tipis, mengeluarkan sedikit panas dan memiliki resolusi tinggi. LCD digunakan dalam suatu proyek untuk memvisualisasikan output dari aplikasi. Ini adalah modul tampilan elektronik dan memiliki jangkauan luas aplikasi. Itu dapat menampilkan 16 karakter per baris dan memiliki 2 garis seperti itu. LCD 16x2 mampu menampilkan Teks. Jumlah karakter nya 16 kolom dan 2 baris yang berarti layar dapat menampilkan maksimal 16 karakter dalam satu baris, dengan dua baris teks. Karakter dan simbol yang berbeda LCD 16x2 adalah jenis LCD karakter yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik untuk menampilkan teks kelebihanannya termasuk konsumsi daya yang rendah, keandalan, dan kemudahan penggunaan dengan mikrokontroler. Di Sini LCD memiliki fungsi pin-pin digunakan untuk menunjukkan apakah pembayaran berhasil dilakukan atau tidak yaitu sebagai berikut.

- Pinout LCD 16x2 ditunjukkan di bawah ini.
- Pin 1 (Ground / Source Pin): Ini adalah pin tampilan GND, digunakan untuk menghubungkan terminal GND unit mikrokontroler atau sumber daya.

- Pin 2 (VCC / Source Pin): Ini adalah pin catu tegangan pada layar, digunakan untuk menghubungkan pin catu daya dari sumber listrik.
  - Pin 3 (V0 / VEE / Control Pin): Pin ini mengatur perbedaan tampilan, yang digunakan untuk menghubungkan POT yang dapat diubah yang dapat memasok 0 hingga 5V.
  - Pin 4 (*Register Select / Control Pin*): Pin ini berganti-ganti antara perintah atau data register, digunakan untuk menghubungkan pin unit mikrokontroler dan mendapatkan 0 atau 1 (0 = mode data, dan 1 = mode perintah).
  - Pin 5 (Pin Baca / Tulis / Kontrol): Pin ini mengaktifkan tampilan di antara operasi baca atau tulis, dan terhubung ke pin unit mikrokontroler untuk mendapatkan 0 atau 1 (0 = Operasi Tulis, dan 1 = Operasi Baca).
  - Pin 6 (Mengaktifkan / Mengontrol Pin): Pin ini harus dipegang tinggi untuk menjalankan proses Baca / Tulis, dan terhubung ke unit mikrokontroler & terus menerus dipegang tinggi.
  - Pin 7-14 (Pin Data): Pin ini digunakan untuk mengirim data ke layar. Pin ini terhubung dalam mode dua-kawat seperti mode 4-kawat dan mode 8-kawat. Dalam mode 4-kawat, hanya empat pin yang terhubung ke unit mikrokontroler seperti 0 hingga 3, sedangkan dalam mode 8-kawat, 8-pin terhubung ke unit mikrokontroler seperti 0 hingga 7.
  - Pin 15 (+ve pin LED): Pin ini terhubung ke +5V
  - Pin 16 (-ve pin LED): Pin ini terhubung ke GND.
- Fitur-fitur LCD ini terutama meliputi yang berikut.
- Tegangan operasi LCD ini adalah 4.7V-5.3V.
  - Ini termasuk dua baris di mana setiap baris dapat menghasilkan 16 karakter.
  - Pemanfaatan arus adalah 1mA tanpa backlight
  - Setiap karakter dapat dibangun dengan kotak  $5 \times 8$  piksel.
  - Huruf & angka LCD alfanumerik.
  - Tampilan ini dapat bekerja pada dua mode seperti 4-bit & 8-bit. • Ini dapat diperoleh dalam Backlight Biru & Hijau.
  - Ini menampilkan beberapa karakter yang dibuat khusus.

- Perintah-perintah LCD 16X2 termasuk yang berikut ini.
- Untuk Hex Code-01, perintah LCD akan menjadi layar LCD yang jelas.
  - Untuk Hex Code-02, perintah LCD akan kembali ke beranda.
  - Untuk Hex Code-04, perintah LCD akan menjadi kursor penurunan.
  - Untuk Hex Code-06, perintah LCD akan menjadi kursor Penambahan.
  - Untuk Hex Code-05, perintah LCD akan bergeser tampilan ke kanan.
  - Untuk Hex Code-07, perintah LCD akan bergeser ke kiri layar.
  - Untuk Hex Code-08, perintah LCD akan *Display off, cursor off*.
  - Untuk Hex Code-0C, perintah LCD akan mati kursor, ditampilkan pada
  - Untuk Hex Code-0E, perintah LCD akan berkedip kursor, Tampilan aktif.
  - Untuk Hex Code-0F, perintah LCD akan berkedip kursor, Tampilan aktif.
  - Untuk Hex Code-14, perintah LCD akan memindahkan posisi kursor ke kanan.
  - Untuk Hex Code-18, perintah LCD akan Menggeser seluruh tampilan ke kiri.

LCD 16x2 banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti sistem kontrol, peralatan elektronik, alat pengukur, dan lainnya di mana diperlukan tampilan teks yang sederhana dan jelas. Kelebihannya termasuk konsumsi daya yang rendah, keandalan, dan kemudahan penggunaan dengan mikrokontroler. Adapun spesifikasi dari lcd yang digunakan yaitu sebagai berikut.

Tabel 2.13 Spesifikasi *Liquid Crystal Display* (LCD) [17]

Parameter	Detail
Ukuran	16 kolom dan 2 baris
Karakter	192 karakter
Tegangan	5 V



Gambar 2.12 Bentuk fisik dari LCD

Pada gambar 2.12 LCD memiliki 16 pin, pin-pin tersebut dibagi menjadi pin data dan pin kontrol. Pin kontrol membantu dalam mengatur LCD dalam mode perintah dan data. Pin kontrol juga membantu konfigurasi dalam mode tulis atau baca, serta menentukan operasi baca atau tulis. Layar LCD 16x2 dapat dioperasikan dalam mode 8-bit atau mode 4-bit tergantung pada kebutuhan. Untuk mengoperasikannya dalam mode yang berbeda, diperlukan perintah khusus untuk memulai LCD. Setelah LCD siap dengan perintah khusus, transfer data dalam mode data dapat dilakukan [18].

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat**

Tempat penelitian dilakukan di UPT Laboratorium Penelitian Terpadu Fakultas FMIPA Universitas Sumatera Utara yang ada di jl. Tri Dharma No.09 Padang Bulan,Kec.Medan Kota,Kota Medan,Sumatera Utara 20222. Adapun waktu pelaksanaan tugas akhir ini mulai pada bulan September 2025.

#### **3.2 Alat dan Komponen**

Terdapat beberapa alat dan bahan yang digunakan dan dibutuhkan dalam pembuatan alat ini.

##### **3.2.1 Alat**

- Komputer
- Multimeter Digital
- Solar power meter
- Obeng
- Kabel
- Klem

##### **3.2.2 Komponen**

- Baterai Lithium-Ion
- Sensor Arus,Daya,dan Tegangan (PZEM004T)
- Mikrokontroler Esp32
- Sensor
- Inverter
- Lcd 12 x 2
- Power Supply
- Beban Listrik
- Mikrokontroler Arduino nano

### 3.3 Tahap Penelitian

#### 1. Studi Literatur

Mengumpulkan dan mempelajari referensi dari buku, jurnal ilmiah, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan baterai lithium-ion, karakteristik termal baterai, efisiensi daya, sistem manajemen baterai (BMS), teknik *Pulse With Modulation* (PWM), *Internet of Things* (IoT), sensor suhu, sensor tegangan dan arus, serta penerapannya pada sistem kelistrikan rumah tangga. Studi ini bertujuan untuk memahami konsep dasar, metode pengujian, serta standar keselamatan dan performa baterai lithium-ion.

#### 2. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Mengidentifikasi permasalahan yang meliputi peningkatan suhu baterai selama proses pengisian dan pengosongan, efisiensi daya pada penggunaan beban rumah tangga, pengaruh PWM terhadap kinerja baterai, serta kebutuhan pemantauan kondisi baterai secara *real-time* berbasis IoT. Berdasarkan hasil identifikasi tersebut, ditetapkan tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, serta manfaat yang diharapkan.

#### 3. Perancangan Penelitian

Merancang sistem penelitian yang mencakup perangkat keras berupa baterai lithium-ion, sensor suhu, sensor tegangan dan arus, mikrokontroler, modul IoT, inverter, serta rangkaian PWM. Selain itu, dirancang pula perangkat lunak untuk pengolahan data, pemantauan berbasis IoT, dan pengaturan PWM sebagai pengendali daya pada sistem listrik rumah tangga.

#### 4. Pengumpulan Data / Eksperimen

- Pengambilan data suhu baterai selama proses pengisian dan pengosongan.
- Pengukuran tegangan, arus, daya, dan energi yang digunakan oleh beban rumah tangga.
- Pengujian pengaruh variasi *duty cycle* PWM terhadap suhu dan efisiensi daya baterai.
- Pengujian sistem pemantauan IoT dalam mengirim dan menampilkan data secara *real-time*.

## 5. Pengolahan dan Analisis Data

Data hasil pengujian diolah dan dianalisis untuk:

- Menganalisis karakteristik *thermal* baterai lithium-ion.
- Menghitung efisiensi daya pada berbagai kondisi beban dan pengaturan PWM.
- Mengevaluasi pengaruh PWM terhadap kestabilan suhu dan performa baterai.
- Menganalisis keandalan sistem IoT dalam pemantauan parameter baterai.

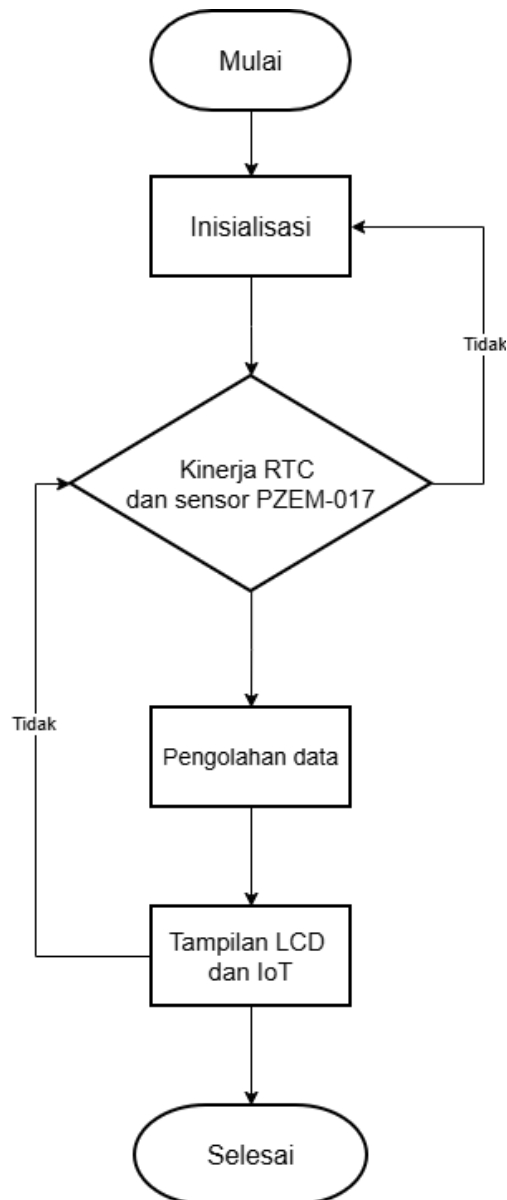
## 6. Evaluasi dan Pembahasan

Membandingkan hasil penelitian dengan teori, standar teknis baterai lithium-ion, serta penelitian sebelumnya untuk mengidentifikasi kelebihan dan keterbatasan sistem. Pembahasan difokuskan pada hubungan antara pengendalian PWM, kondisi thermal, dan efisiensi daya dalam aplikasi sistem rumah tangga.

## 7. Kesimpulan dan Saran

Menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis thermal dan efisiensi daya baterai lithium-ion, serta peran PWM dan IoT dalam meningkatkan kinerja sistem. Selanjutnya, diberikan saran untuk pengembangan penelitian, seperti optimasi algoritma PWM, penambahan sistem pendinginan, atau peningkatan fitur pemantauan IoT.

### 3.4 Diagram Alir



Gambar 3. 1Diagram Alir

Pada gambar 3.1 ditunjukkan sebuah diagram alir yang menjelaskan mekanisme kerja sistem analisis thermal efisiensi daya pada baterai lithium-ion untuk aplikasi sistem Listrik rumah tangga. Tahapan awal dimulai dengan menyiapkan seluruh peralatan dan komponen yang digunakan, meliputi baterai lithium-ion, bms, sensor suhu, stopwatch serta beban listrik yang mempresentasikan kebutuhan sistem rumah tangga, kemudian dilakukan inisialisasi yang memastikan bahwa segala sensor aktif dan siap digunakan. Kemudian baterai lithium-ion akan dihidupkan pada saat pengisian dan pengosongan sesuai dengan penggunaan

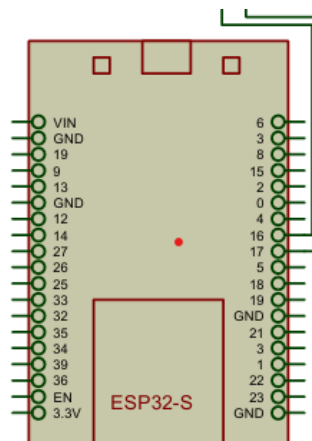
rumah tangga. Kemudian suhu baterai akan diukur secara berkala menggunakan sensor yaitu pzem dan RTC dengan rentan waktu tertentu yang ditentukan menggunakan stopwatch.

Dan kemudian data diolah di mikrokontroler ESP32, jika data suhu, arus, daya, dan tegangan sudah terkumpul kemudian akan dianalisis untuk mengetahui karakteristik kenaikan suhu baterai terhadap waktu dan beban. Selanjutnya, data yang sudah terkumpul akan ditampilkan pada layer lcd dan ditampilkan pada platform Iot, jika jika tidak tampil maka data akan dikirimkan Kembali ke proses pembacaan sensor PZEM004T. Terakhir pengambilan data dilakukan secara berulang.

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Rangkaian ESP32

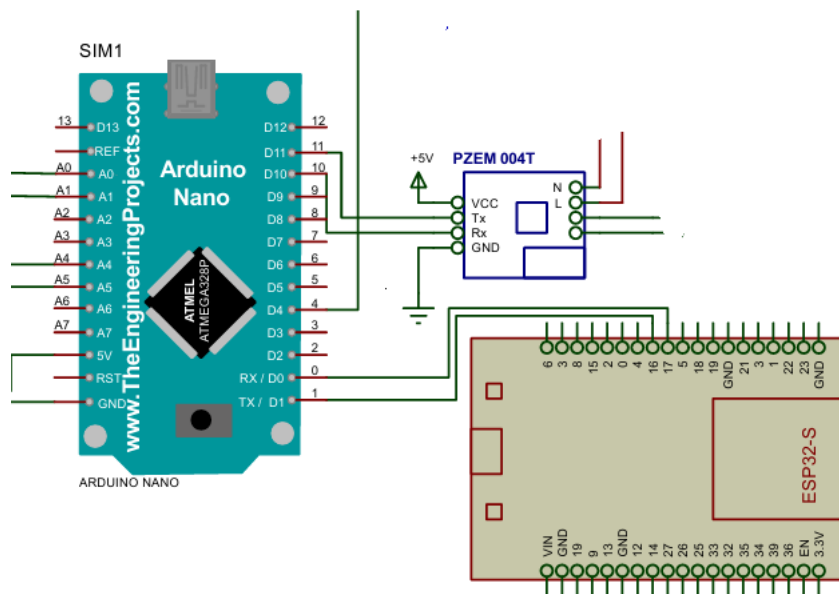
Dan kemudian data diolah di mikrokontroler ESP32, jika data suhu, arus, daya, dan tegangan sudah terkumpul kemudian akan dianalisis untuk mengetahui karakteristik kenaikan suhu baterai terhadap waktu dan beban. Selanjutnya, data yang sudah terkumpul akan ditampilkan pada layar lcd dan ditampilkan pada platform Iot, jika jika tidak tampil maka data akan dikirimkan Kembali ke proses pembacaan sensor PZEM004T. Terakhir pengambilan data dilakukan secara berulang.



Gambar 3. 2 Rangkaian ESP32

### 3.5.2 Rangkaian Mikrokontroler dengan Sensor PZEM004T

Mikrokontroler seperti Arduino Nano atau ESP32 pada rangkaian tersebut berfungsi sebagai pusat pengolah dan pengendali sistem yang bekerja bersama sensor PZEM-004T dalam melakukan monitoring parameter listrik. Sensor PZEM-004T bertugas mengukur besaran listrik seperti tegangan, arus, dan daya dari beban yang terhubung dengan inverter, kemudian data hasil pengukuran tersebut dikirimkan ke mikrokontroler melalui komunikasi serial. Selanjutnya, mikrokontroler mengolah data tersebut untuk ditampilkan secara real-time pada layar LCD, serta dapat digunakan untuk mengaktifkan perangkat lain seperti buzzer sebagai indikator peringatan apabila terjadi kondisi tertentu, misalnya kelebihan beban. Selain itu, dengan dukungan modul seperti ESP32, data juga dapat dikirimkan ke sistem berbasis Internet of Things (IoT) sehingga memungkinkan pemantauan jarak jauh secara lebih efektif dan terintegrasi.

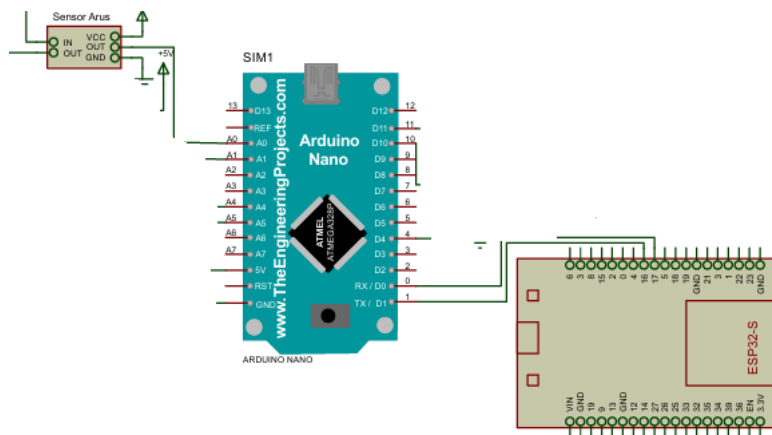


Gambar 3. 3 Rangkaian Mikrokontroler dengan Sensor PZEM004T

### 3.5.3 Rangkaian Arduino dengan Sensor Arus (ACS712)

Rangkaian sensor arus yang terhubung dengan ESP32 berfungsi untuk mengukur besarnya arus listrik yang mengalir pada suatu beban, kemudian mengolah dan memantau data tersebut secara real-time. Sensor arus akan mendeteksi aliran arus listrik dan mengubahnya menjadi sinyal analog atau digital

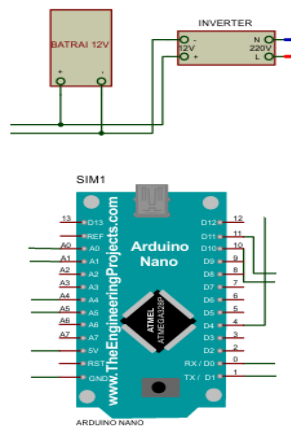
yang kemudian dibaca oleh ESP32 melalui pin input. Selanjutnya, ESP32 mengolah data tersebut untuk ditampilkan, disimpan, atau dikirim ke platform Internet of Things (IoT) sehingga dapat dipantau dari jarak jauh. Selain itu, sistem ini juga dapat digunakan sebagai pengaman, di mana ESP32 dapat memberikan peringatan atau mengaktifkan alarm jika arus melebihi batas yang telah ditentukan, sehingga membantu menjaga keamanan dan efisiensi penggunaan energi listrik.



Gambar 3. 4 Rangkaian Arduino dengan Sensor Arus (ACS712)

### 3.5.4 Rangkaian Mikrokontroler dengan Inverter

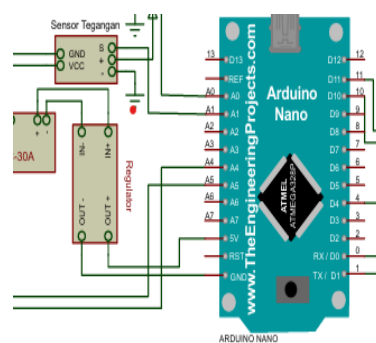
Mikrokontroler pada rangkaian yang terhubung dengan inverter berfungsi sebagai pengendali dan sistem monitoring kinerja inverter dalam mengubah tegangan DC dari baterai menjadi tegangan AC untuk beban rumah tangga. Dalam sistem tersebut, mikrokontroler tidak secara langsung melakukan konversi daya, melainkan mengawasi parameter listrik seperti tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan inverter melalui sensor (seperti PZEM-004T). Data yang diperoleh kemudian diolah untuk ditampilkan pada LCD atau dikirim melalui sistem IoT, sehingga pengguna dapat memantau kondisi inverter secara real-time. Selain itu, mikrokontroler juga dapat berfungsi sebagai sistem proteksi, misalnya dengan mengaktifkan buzzer atau memberikan peringatan ketika terjadi kelebihan beban, tegangan tidak stabil, atau kondisi abnormal lainnya, sehingga meningkatkan keamanan dan efisiensi sistem secara keseluruhan.



Gambar 3. 5 Rangkaian Mikrokontroler dengan Inverter

### 3.5.5 Rangkain ESP32 dengan sensor tegangan DC

Dan kemudian data diolah di mikrokontroler ESP32, jika data suhu, arus, daya, dan tegangan sudah terkumpul kemudian akan dianalisis untuk mengetahui karakteristik kenaikan suhu baterai terhadap waktu dan beban. Selanjutnya, data yang sudah terkumpul akan ditampilkan pada layer lcd dan ditampilkan pada platform Iot, jika tidak tampil maka data akan dikirimkan kembali ke proses pembacaan sensor PZEM017 dan RTC. Terakhir pengambilan data dilakukan secara berulang.

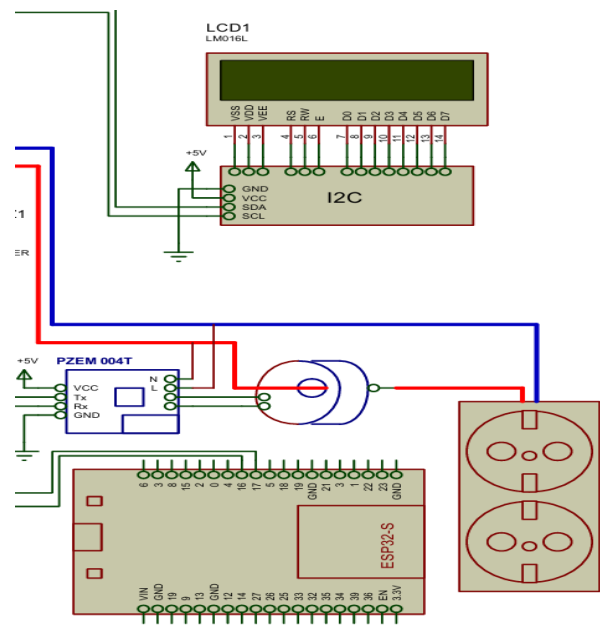


Gambar 3. 6 Rangkain ESP32 dengan sensor tegangan DC

### 3.5.5 Rangkain ESP32 dengan Lcd

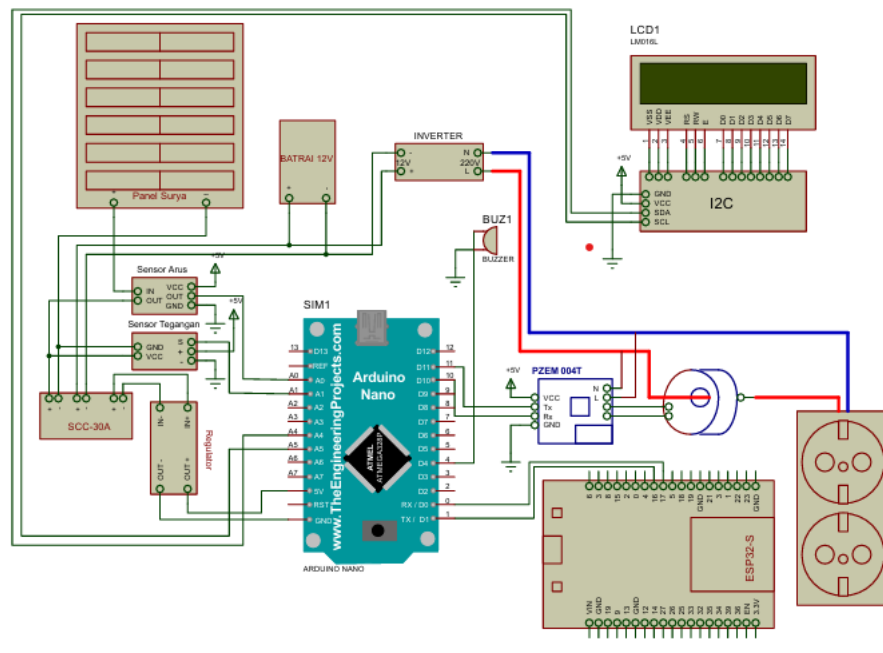
Mikrokontroler seperti Arduino Nano atau ESP32 pada rangkaian tersebut berfungsi sebagai pusat pengolah dan pengendali sistem yang bekerja bersama

sensor PZEM-004T dalam melakukan monitoring parameter listrik. Sensor PZEM-004T bertugas mengukur besaran listrik seperti tegangan, arus, dan daya dari beban yang terhubung dengan inverter, kemudian data hasil pengukuran tersebut dikirimkan ke mikrokontroler melalui komunikasi serial. Selanjutnya, mikrokontroler mengolah data tersebut untuk ditampilkan secara real-time pada layar LCD, serta dapat digunakan untuk mengaktifkan perangkat lain seperti buzzer sebagai indikator peringatan apabila terjadi kondisi tertentu, misalnya kelebihan beban. Selain itu, dengan dukungan modul seperti ESP32, data juga dapat dikirimkan ke sistem berbasis Internet of Things (IoT) sehingga memungkinkan pemantauan jarak jauh secara lebih efektif dan terintegrasi.



Gambar 3. 7 Rangkain ESP32 dengan Lcd

### 3.5.6 Rangkaian Sistem Keseluruhan



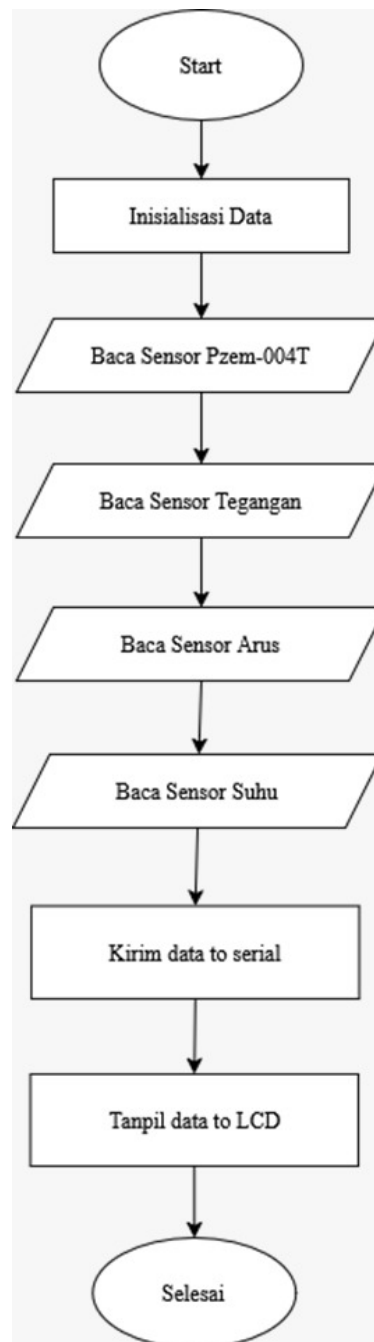
Gambar 3. 8 Rangkaian keseluruhan sistem

Berdasarkan pada gambar 3.8 merupakan sistem monitoring dan pengelolaan energi listrik berbasis baterai lithium-ion yang dirancang untuk aplikasi rumah tangga dan terintegrasi dengan teknologi IoT. Proses kerja sistem dimulai dari panel surya yang menghasilkan energi listrik dalam bentuk arus searah (DC). Energi ini kemudian dialirkan ke Solar Charge Controller (SCC 30A) yang berfungsi mengatur proses pengisian baterai 12V agar berlangsung secara aman, stabil, dan efisien, sehingga dapat mencegah overcharge maupun kerusakan baterai. Selama proses ini, parameter listrik seperti arus dan tegangan dipantau menggunakan sensor arus ACS712 dan sensor tegangan. Data dari kedua sensor tersebut dibaca dan diproses oleh mikrokontroler Arduino Nano untuk selanjutnya digunakan dalam menganalisis kinerja baterai, termasuk efisiensi daya dan kondisi operasional sistem.

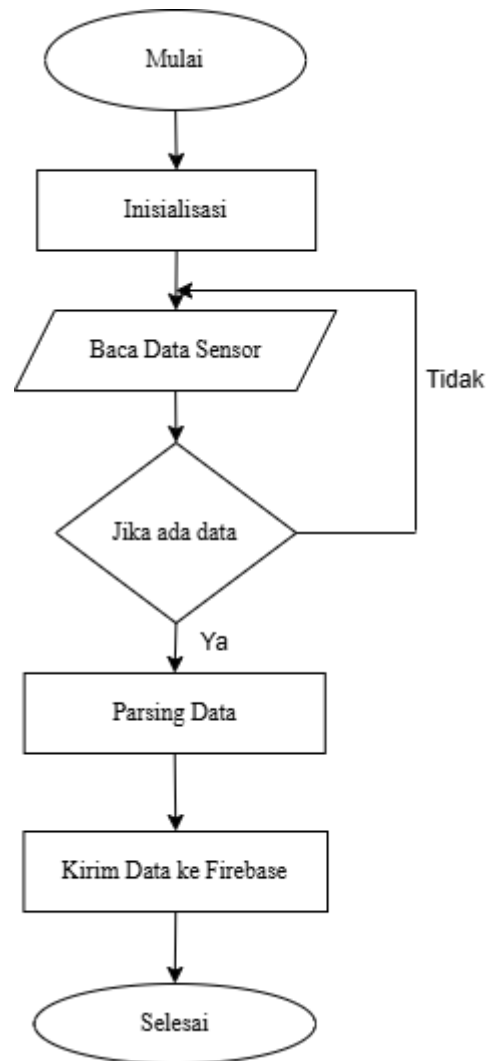
Energi yang tersimpan di dalam baterai kemudian dikonversi dari DC menjadi AC menggunakan inverter 220V agar dapat digunakan oleh peralatan listrik rumah tangga, yang pada rangkaian ini direpresentasikan melalui stop kontak. Untuk memantau penggunaan energi pada sisi AC, digunakan modul PZEM-004T yang mampu mengukur tegangan, arus, dan daya secara real-time. Selain itu, sistem

dilengkapi dengan buzzer sebagai indikator peringatan apabila terjadi kondisi tertentu, seperti tegangan tidak normal. Data hasil pengukuran tidak hanya ditampilkan secara lokal melalui LCD berbasis I2C, tetapi juga dikirimkan melalui modul ESP32 ke platform IoT, sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem dari jarak jauh secara lebih praktis, akurat, dan efisien.

### 3.6 Flowchart



Gambar 3. 9 Flowchart Arduino Nano



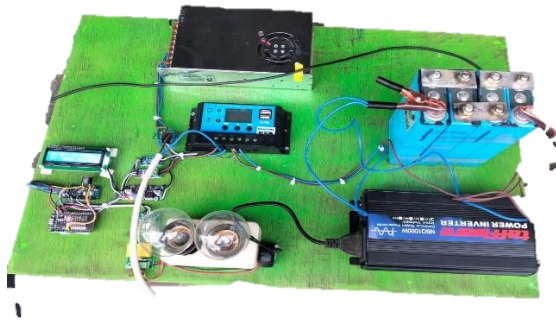
Gambar 3. 10 Flowchart dengan Esp32

## BAB IV

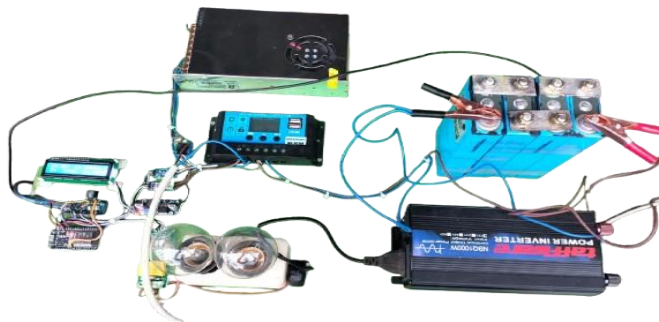
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Pengukuran Sistem

Hasil data analisis diolah di mikrokontroller Arduino nano, jika data suhu, arus, daya, dan tegangan sudah terkumpul kemudian akan dianalisis untuk mengetahui karakteristik kenaikan suhu baterai terhadap waktu dan beban. Selanjutnya, data yang sudah terkumpul akan ditampilkan pada layar lcd dan ditampilkan pada platform Iot, jika tidak tampil maka data akan dikirimkan kembali ke proses pembacaan sensor PZEM004T. Terkait pengambilan data dilakukan secara berulang.



Gambar 4. 1 Fisik Rangkaian Alat



Gambar 4. 2 Alat Rangkaian

Berdasarkan Gambar 4.1 dan gambar 4.2 memperlihatkan suatu rangkaian uji baterai lithium-ion yang dikembangkan untuk mengevaluasi aspek thermal dan

efisiensi daya dalam penerapan sistem kelistrikan rumah tangga berbasis Internet of Things (IoT). Dalam konfigurasi ini, baterai lithium-ion berperan sebagai sumber utama energi yang menyimpan listrik dalam bentuk arus searah (DC). Pengisian energi dilakukan melalui power supply, kemudian energi yang tersimpan dialirkan ke inverter untuk dikonversi menjadi arus bolak-balik (AC) sehingga dapat dimanfaatkan oleh beban berupa lampu sebagai representasi perangkat rumah tangga. Selama proses pengisian dan pemakaian berlangsung, besaran listrik seperti tegangan, arus, dan daya dipantau menggunakan modul pengukuran seperti PZEM004T. Di sisi lain, sensor arus dan suhu yang terhubung dengan mikrokontroler digunakan untuk memantau kondisi operasional baterai secara langsung. Informasi yang diperoleh ditampilkan melalui layar LCD dan juga dapat diintegrasikan dengan sistem IoT untuk memungkinkan pemantauan dari jarak jauh. Melalui sistem ini, karakteristik kinerja baterai meliputi stabilitas tegangan, efisiensi penggunaan daya, serta perubahan suhu selama operasi dapat dianalisis sebagai dasar dalam meningkatkan keandalan dan aspek keselamatan penggunaan baterai lithium-ion di lingkungan rumah tangga.

## **4.2 Pengujian dan Analisis Rangkaian Alat**

Dan kemudian data diolah di mikrokontroller ESP32, jika data suhu, arus, daya, dan tegangan sudah terkumpul kemudian akan dianalisis untuk mengetahui karakteristik kenaikan suhu baterai terhadap waktu dan beban. Selanjutnya, data yang sudah terkumpul akan ditampilkan pada layar LCD dan ditampilkan pada platform IoT, jika tidak tampil maka data akan dikirimkan kembali ke proses pembacaan sensor PZEM004T. Terkait pengambilan data dilakukan secara berulang.

### **4.2.1 Pengujian Rangkaian Sensor PZEM004T**

Pengujian rangkaian sensor PZEM004T dilakukan untuk memastikan bahwa sensor tersebut mampu mengukur parameter listrik, meliputi tegangan, arus, daya, dan energi, secara akurat dan stabil. Proses pengujian diawali dengan menghubungkan sensor PZEM004T ke sumber listrik serta beban yang telah ditentukan, kemudian dilakukan pembacaan data melalui mikrokontroler, seperti

ESP32 atau Arduino. Selanjutnya, hasil pengukuran dibandingkan dengan alat ukur standar, seperti multimeter atau wattmeter, untuk mengetahui tingkat akurasi sensor. Selain itu, pengujian juga mencakup evaluasi kestabilan pembacaan data dalam interval waktu tertentu serta respons sensor terhadap perubahan beban. Dengan demikian, pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa rangkaian sensor PZEM004T dapat berfungsi dengan baik dan layak digunakan dalam sistem pemantauan energi listrik. Adapun rumus mencari tegangan Adalah sebagai berikut.

$$V = \frac{P}{I} \dots\dots\dots(4.1)$$

**Contoh:**

Daya (P) = 15 W

Arus (I) = 1.2 A

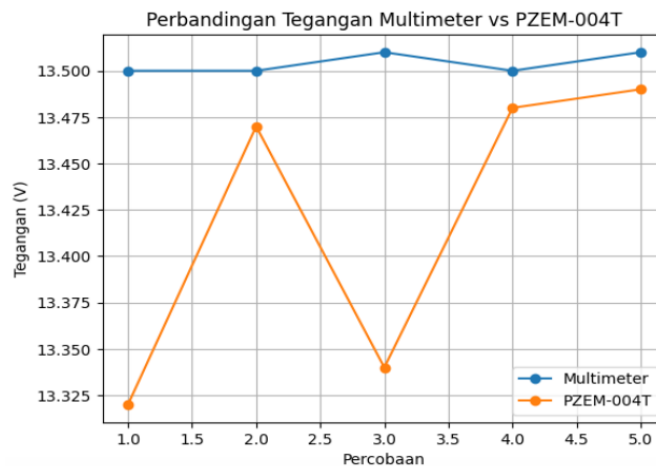
$$V = \frac{15}{1.2} = 12.5 \text{ V}$$

Tabel 4. 1 Tegangan Terukur dan tegangan tampil pada lcd dan IoT.

No	Nilai (V)			Persentase ketepatan (%)
	Multimeter	Pzem004t	IoT	
1	13.50	13.32	13.32	98,64%
2	13.50	13.47	13.47	99.77%
3	13.51	13.34	13.34	99.72%
4	13.50	13.48	13.48	99.85%
5	13.51	13.49	13.49	99.85%
<b>Rata Rata</b>	<b>13.50</b>	<b>13,42</b>	<b>13,42</b>	<b>99.56%</b>

Berdasarkan tabel 4.1 hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh perbandingan nilai tegangan antara alat ukur standar (multimeter) dan sensor PZEM004T yang menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi. Nilai tegangan yang terbaca oleh multimeter berada pada kisaran 13,50–13,51 V, sedangkan sensor PZEM004T menunjukkan nilai antara 13,32–13,49 V. Berdasarkan perhitungan persentase ketepatan, diperoleh nilai akurasi masing-masing sebesar 98,67%,

99,78%, 98,74%, 99,85%, dan 99,85%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor PZEM004T memiliki tingkat ketelitian yang sangat baik dalam mengukur tegangan, dengan selisih yang relatif kecil terhadap alat ukur acuan. Dengan demikian, sensor ini dapat dinyatakan layak digunakan dalam sistem monitoring berbasis IoT untuk pengukuran parameter Listrik pada aplikasi baterai lithium-ion dalam sistem rumah tangga.



Gambar 4. 3 Grafik perbandingan tegangan Terukur dan tegangan tampil

Berdasarkan gambar 4.3 memperlihatkan perbandingan pengukuran tegangan antara multimeter dan sensor PZEM-004T yang dilakukan sebanyak lima kali percobaan. Secara keseluruhan, hasil pengukuran menggunakan multimeter cenderung lebih konsisten, dengan nilai tegangan berada di kisaran 13,50 V hingga 13,51 V pada setiap pengujian. Sebaliknya, nilai yang ditunjukkan oleh PZEM-004T mengalami variasi yang lebih besar, yaitu berkisar antara 13,32 V hingga 13,49 V. Perbedaan nilai antara kedua alat cukup mencolok karena PZEM-004T menunjukkan tegangan yang lebih rendah dibandingkan multimeter. Pada percobaan kedua, nilai tegangan dari PZEM-004T meningkat dan mulai mendekati hasil multimeter, namun pada percobaan ketiga kembali terjadi penurunan yang cukup signifikan. Selanjutnya, pada percobaan keempat dan kelima, nilai pengukuran PZEM-004T kembali meningkat dan semakin mendekati hasil yang diperoleh dari multimeter. Hal ini menunjukkan bahwa PZEM-004T masih memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dan layak digunakan untuk keperluan monitoring.

### 4.2.3 Pengujian Rangkaian Sensor Arus (ACS712)

Pengujian rangkaian sensor arus ACS712 bertujuan untuk mengkaji kinerja sensor dalam mengukur arus listrik secara tepat, stabil, serta mampu merespons perubahan beban dengan baik. Tahapan pengujian dimulai dengan menghubungkan sensor ACS712 pada rangkaian listrik yang dialiri arus dengan variasi nilai tertentu, kemudian data pengukuran diperoleh melalui mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32. Hasil pengukuran tersebut selanjutnya dibandingkan dengan alat ukur acuan, seperti amperemeter atau multimeter, untuk mengetahui tingkat akurasi dan besarnya kesalahan pengukuran. Selain itu, dilakukan pula pengamatan terhadap kestabilan sinyal keluaran sensor dalam rentang waktu tertentu serta respons sensor terhadap fluktuasi arus yang terjadi. Dengan demikian, pengujian ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa rangkaian sensor arus ACS712 dapat beroperasi secara optimal dan layak digunakan dalam sistem pemantauan arus listrik. Adapun rumus mencari Arus yaitu sebagai berikut.

$$I = \frac{P}{V} \dots \dots \dots (4.2)$$

#### Contoh:

Daya (P) = 12 W

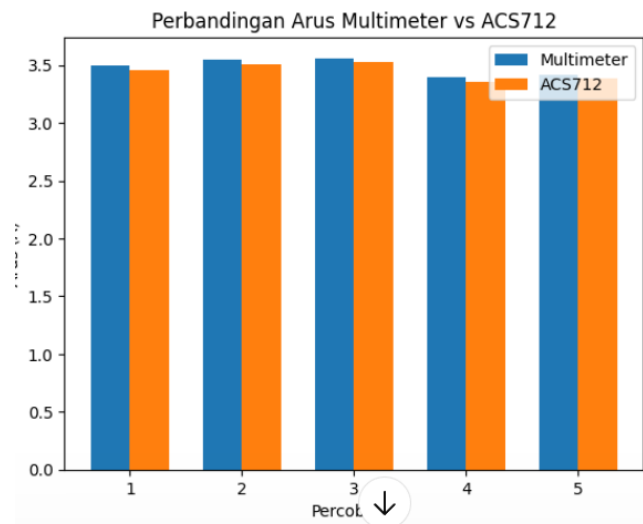
Tegangan (V) = 12 V

$$I = \frac{12}{12} = 1 \text{ A}$$

Tabel 4. 2 Sensor arus terukur dan sensor tampil pada lcd dan IoT.

No	Nilai (I)			Persentase ketepatan(%)
	Multimeter	Arus(ACS712)	IoT	
1	3.50	3.46	3.46	98.86%
2	3.55	3.51	3.51	99.87%
3	3.56	3.53	3.53	99.16%
4	3.40	3.35	3.35	99.53%
5	3.42	3.39	3.39	99.12%
<b>Rata-Rata</b>	<b>3.5</b>	<b>3.4</b>	<b>3.4</b>	<b>98.85%</b>

Berdasarkan tabel 4.2 hasil perbandingan pengukuran arus antara sensor ACS712 dan alat ukur acuan multimeter, diperoleh nilai arus yang relatif berdekatan pada setiap pengujian. Nilai arus yang diukur menggunakan multimeter berada pada kisaran 3,40 A hingga 3,56 A, sedangkan sensor ACS712 menunjukkan hasil pengukuran antara 3,35 A hingga 3,53 A. Berdasarkan perhitungan persentase ketepatan, diperoleh nilai akurasi dengan rata-rata sebesar 98,85%. Selisih pengukuran yang relatif kecil ini menunjukkan bahwa sensor ACS712 memiliki tingkat ketelitian yang cukup baik dalam membaca arus listrik. Dengan demikian, sensor ACS712 dapat dinyatakan layak digunakan dalam sistem monitoring arus berbasis IoT, khususnya untuk mendukung analisis kinerja baterai lithium-ion pada sistem kelistrikan rumah tangga



Gambar 4. 4 Sensor arus terukur & sensor tampil pada lcd dan IoT.

Berdasarkan gambar 4.4 menunjukkan perbandingan hasil pengukuran arus antara multimeter dan sensor ACS712 pada lima kali percobaan. Secara umum, kedua alat ukur menampilkan nilai arus yang relatif berdekatan pada setiap percobaan, dengan multimeter cenderung menunjukkan nilai sedikit lebih tinggi dibandingkan ACS712. Nilai arus yang diukur berada pada kisaran sekitar 3,4 A hingga 3,6 A, di mana variasi antar percobaan tidak terlalu signifikan. Pada percobaan pertama hingga ketiga, terlihat bahwa kedua pengukuran hampir seragam dengan selisih yang sangat kecil. Pada percobaan keempat terjadi sedikit penurunan nilai arus pada kedua alat, namun tetap menunjukkan konsistensi yang baik. Selanjutnya, pada percobaan kelima nilai arus kembali meningkat dan tetap

mempertahankan kedekatan antara hasil pengukuran multimeter dan ACS712. Berdasarkan grafik tersebut, dapat disimpulkan bahwa sensor ACS712 memiliki tingkat akurasi yang cukup baik karena hasil pengukurannya mendekati nilai yang ditunjukkan oleh multimeter, sehingga layak digunakan untuk sistem monitoring arus.

#### 4.2.4 Pengujian Rangkaian Sensor Suhu DS18B20

Pengujian rangkaian sensor suhu DS18B20 bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sensor dalam mengukur suhu secara tepat, stabil, dan konsisten pada berbagai kondisi pengujian. Tahapan pengujian dimulai dengan menghubungkan sensor DS18B20 ke mikrokontroler, seperti Arduino atau ESP32, kemudian sensor ditempatkan pada media uji dengan variasi suhu tertentu. Data hasil pengukuran selanjutnya diambil dan dicatat secara berkala untuk dianalisis. Untuk menentukan tingkat akurasi, hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan alat ukur suhu standar, seperti termometer digital. Selain itu, dilakukan pula pengamatan terhadap kestabilan data dalam selang waktu tertentu serta respons sensor terhadap perubahan suhu yang terjadi. Dengan demikian, pengujian ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa rangkaian sensor suhu DS18B20 dapat beroperasi dengan baik dan layak digunakan dalam sistem pemantauan suhu.

Celsius ke Kelvin

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273 \dots \dots \dots (4.3)$$

Kelvin ke Celsius

$$T(^{\circ}C) = T(K) - 273 \dots \dots \dots (4.4)$$

Celsius ke Fahrenheit

$$T(^{\circ}F) = \frac{9}{5} \times T(^{\circ}C) + 32 \dots \dots \dots (4.5)$$

Tabel 4. 3 Sensor Suhu terukur yang tampil pada lcd dan IoT.

No	DS18B20
1	32,25 °
2	32.56 °
3	32.50 °
4	32.63 °

5	32.25 °
<b>Rata Rata</b>	<b>32.44 °</b>

Berdasarkan tabel 4.3 hasil pengukuran suhu menggunakan sensor DS18B20, diperoleh nilai suhu yang relatif stabil pada setiap pengujian, yaitu berada pada kisaran 32,25°C hingga 32,63°C. Dari lima kali pengukuran yang telah dilakukan, diperoleh nilai rata-rata suhu sebesar 32,44°C. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor DS18B20 mampu memberikan pembacaan suhu yang konsisten dengan fluktuasi yang relatif kecil. Tingkat kestabilan ini mengindikasikan bahwa sensor DS18B20 memiliki kinerja yang baik dan dapat diandalkan dalam proses monitoring suhu, khususnya pada analisis thermal baterai lithium-ion dalam sistem kelistrikan rumah tangga.

#### 4.2.5 Pengujian Rangkaian Sensor dengan ESP32

Pengujian rangkaian sensor dengan ESP32 dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh sensor yang terhubung dapat berkomunikasi dan bekerja dengan baik dalam sistem berbasis mikrokontroler ESP32. Proses pengujian diawali dengan menghubungkan berbagai sensor ke pin input ESP32 sesuai dengan konfigurasi yang telah dirancang, kemudian dilakukan pemrograman untuk membaca dan menampilkan data sensor secara real-time. Selanjutnya, data hasil pembacaan diamati untuk memastikan keakuratan, kestabilan, serta kesesuaian dengan kondisi sebenarnya. Pengujian ini juga mencakup evaluasi respons sistem terhadap perubahan nilai yang dibaca oleh sensor serta keandalan komunikasi data. Dengan demikian, pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa rangkaian sensor yang terintegrasi dengan ESP32 dapat berfungsi secara optimal dan layak digunakan dalam sistem monitoring atau pengukuran. Adapun perhitungan rumus mencari Daya yaitu sebagai berikut.

$$P = V \cdot I \dots \dots \dots (4.6)$$

Contoh :  $V = 13.32$  volt

$I = 3.46$  Ampere

Sehingga.  $P = V \cdot I$

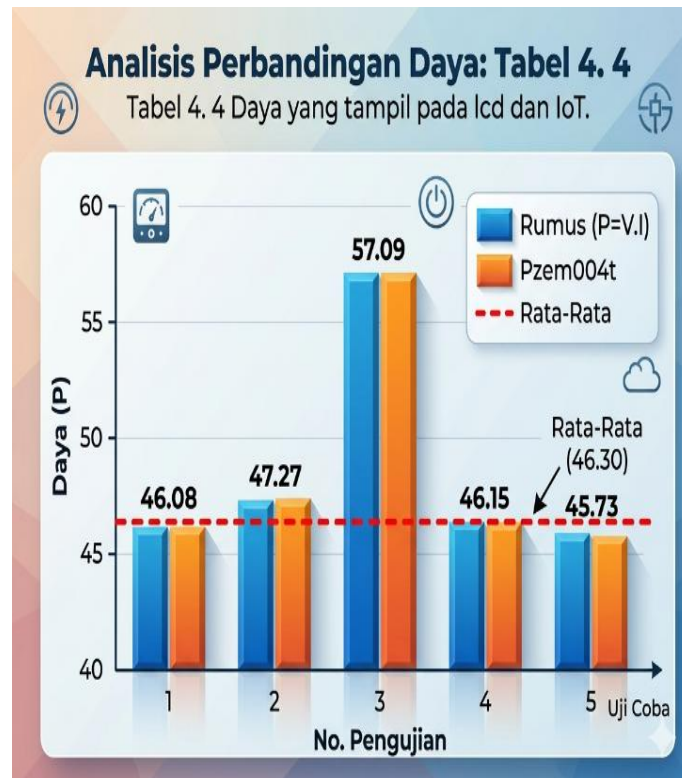
$= 13,32 \times 3.46$

= 46.08 Watt

Tabel 4. 4 Daya yang tampil pada lcd dan IoT.

Pengujian	Daya(P)	
	Rumus $P = V \cdot I$	Pzem004t
1	46.08	46.08
2	47.27	47.27
3	57.09	57.09
4	46.15	46.15
5	45.73	45.73
<b>Rata-Rata</b>	<b>46.30</b>	<b>46.30</b>

Berdasarkan tabel 4.4 hasil pengujian daya yang telah dilakukan, diperoleh nilai daya yang dihitung menggunakan rumus ( $P = V \cdot I$ ) memiliki kesesuaian yang sama dengan hasil pembacaan pada sensor PZEM004T. Nilai daya pada setiap pengujian berada pada kisaran 45,73 W hingga 57,09 W, dengan nilai rata-rata sebesar 46,30 W. Kesamaan antara hasil perhitungan manual dan hasil pengukuran sensor menunjukkan bahwa PZEM004T memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dalam membaca parameter daya listrik. Selain itu, nilai daya yang relatif stabil pada setiap pengujian mengindikasikan bahwa sistem bekerja secara konsisten tanpa adanya fluktuasi yang signifikan. Dengan demikian, sensor PZEM004T dapat dinyatakan layak dan andal untuk digunakan dalam sistem monitoring daya berbasis IoT, khususnya dalam analisis efisiensi daya pada baterai lithium-ion untuk aplikasi rumah tangga.



Gambar 4. 5 Grafik perbandingan Daya pada lcd dan iot

Berdasarkan gambar 4.5 menampilkan perbandingan nilai daya hasil perhitungan menggunakan rumus ( $P = V \cdot I$ ) dengan daya yang diukur menggunakan sensor PZEM004T pada lima kali pengujian. Secara umum, kedua metode menunjukkan hasil yang sangat konsisten dan hampir identik pada setiap percobaan. Nilai daya yang diperoleh berturut-turut adalah sekitar 46,08 W pada percobaan pertama, 47,27 W pada percobaan kedua, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 57,09 W pada percobaan ketiga. Selanjutnya, pada percobaan keempat dan kelima, nilai daya kembali menurun menjadi 46,15 W dan 45,73 W. Garis rata-rata yang ditampilkan pada grafik menunjukkan nilai sekitar 46,30 W, yang merepresentasikan kecenderungan umum dari seluruh data pengujian. Kesamaan hasil antara perhitungan manual dan pembacaan sensor menunjukkan bahwa PZEM004T memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dalam mengukur daya, sehingga dapat diandalkan untuk keperluan monitoring dan analisis sistem kelistrikan.

### 4.3 Hasil Pengamatan Data

Pembacaan sensor tegangan DC pada saat proses pengisian (charging) tanpa beban dilakukan untuk mengetahui karakteristik tegangan sumber atau baterai dalam kondisi tanpa adanya konsumsi daya dari beban. Pengujian ini diawali dengan menghubungkan sensor tegangan DC ke sumber yang sedang diisi, kemudian data tegangan dibaca secara berkala melalui mikrokontroler. Hasil pembacaan digunakan untuk mengamati kestabilan tegangan, tren kenaikan selama proses pengisian, serta memastikan tidak terjadi fluktuasi yang signifikan. Dengan kondisi tanpa beban, data yang diperoleh mencerminkan tegangan murni dari sumber atau baterai, sehingga dapat dijadikan acuan dalam analisis performa sistem pengisian.

Tabel 4. 5 Hasil pembacaan Baterai Lithium-ion pada saat discharging tanpa menggunakan beban.

Percobaan	Multimeter			Sensor Pzem004T			Suhu
	V	I	P	V	I	P	
1	13.50	3.50	47.25	13.32	3.46	46.08	32.63 °
2	13.50	3.55	47.92	13.47	3.51	47.27	32.25°
3	13.51	3.56	48,09	13.34	3.53	57.09	32.30°
4	13.50	3.40	45.90	13.48	3.35	46.15	32.50°
5	13.51	3.42	46.20	13.49	3.39	45.73	32.44°
6	12.41	3.55	44.05	12.61	3.51	44.26	32.31°
7	12.41	3.50	43.35	12.72	3.47	44.13	32.56°
8	12.40	3.50	43,4	12.78	3.46	44.21	32.38°
9	12.40	3.55	44.02	12.83	3.51	45.03	32.31°
10	12.41	3.65	45.29	12.68	3.61	45.77	32.41°
11	12.40	3.80	47.12	12.78	3.75	47.92	32.69°
12	12.40	3.85	47.74	12.61	3.81	48.04	33.21°

Berdasarkan tabel 4.5 hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh perbandingan nilai tegangan, arus, daya, dan suhu antara pengukuran menggunakan multimeter sebagai alat ukur acuan dan sensor PZEM004T serta ACS712. Nilai

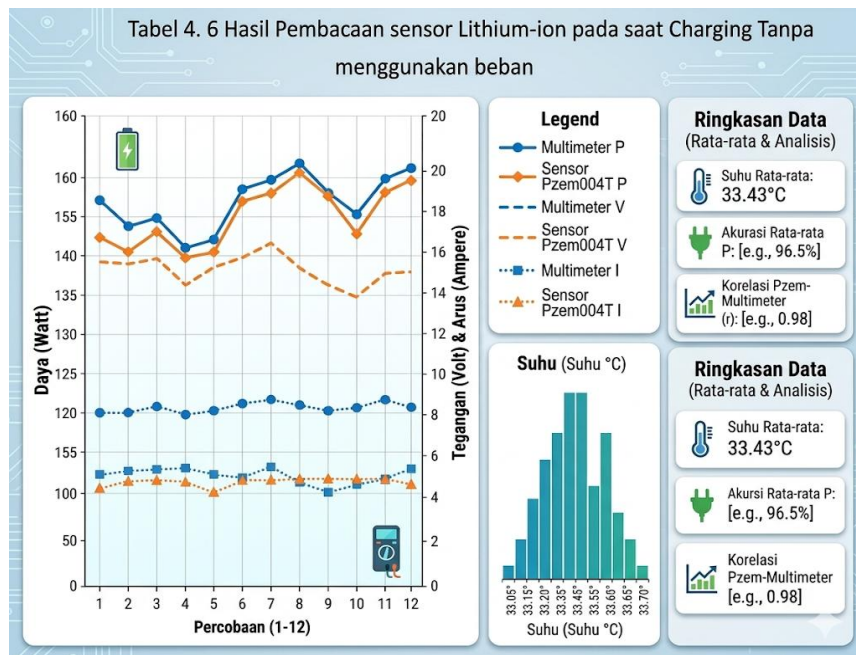
daya yang diukur menggunakan multimeter berada pada kisaran 43,35 W hingga 48,09 W dengan nilai rata-rata sebesar 45,94 W, sedangkan hasil pengukuran menggunakan sensor berada pada kisaran 44,14 W hingga 48,05 W dengan nilai rata-rata sebesar 45,90 W. Selisih antara kedua hasil pengukuran tersebut relatif kecil, sehingga menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang baik dalam membaca parameter listrik. Selain itu, hasil pengukuran suhu menunjukkan nilai yang relatif stabil dengan kisaran 32,31°C hingga 33,21°C dan rata-rata sebesar 32,56°C, yang mengindikasikan bahwa sistem bekerja dalam kondisi termal yang aman tanpa adanya kenaikan suhu yang signifikan. Dengan demikian, sistem monitoring berbasis sensor yang digunakan dapat dinyatakan andal dan layak untuk digunakan dalam analisis kinerja baterai lithium-ion pada aplikasi sistem kelistrikan rumah tangga .

Tabel 4. 6 Hasil pembacaan Baterai Lithium-ion pada saat discharging menggunakan beban 150 Watt.

Percobaan	Nilai(V)		Nilai(V)		Suhu
	Multimeter	Pzem004t	Multimeter	Pzem004t	
1	12.75	12.80	12.75	12.80	31.2°
2	12.74	12.78	12.74	12.78	31.3°
3	12.72	12.76	12.72	12.76	31.5°
4	12.70	12.74	12.70	12.74	31.7°
5	12.69	12.72	12.69	12.72	31.9°
6	12.66	12.70	12.66	12.70	32.0°
7	12.65	12.68	12.65	12.68	32.3°
8	12.66	12.64	12.66	12.64	32.5°
9	12.65	12.62	12.65	12.62	32.6°
10	12.67	12.63	12.65	12.64	32.7°

Berdasarkan tabel 4.6 hasil pengukuran pada tabel perbandingan antara multimeter dan PZEM-004T, diperoleh bahwa nilai tegangan yang dihasilkan oleh kedua alat menunjukkan hasil yang saling mendekati dengan selisih yang sangat kecil. Tegangan pada multimeter berada pada rentang 12.65 V hingga 12.75 V,

sedangkan pada PZEM-004T berada pada kisaran 12.62 V hingga 12.80 V, yang menunjukkan bahwa kedua alat memiliki karakteristik pembacaan yang konsisten dan stabil. Selain itu, terlihat adanya perubahan suhu yang meningkat secara bertahap dari 31.2°C hingga 32.7°C, yang mengindikasikan adanya kenaikan temperatur akibat proses pengukuran atau beban sistem, namun masih dalam kondisi yang aman dan stabil



Gambar 4. 6 grafik pembacaan Baterai Lithium-ion discharging dengan beban 150 Watt.

Berdasarkan gambar grafik 4.6 menunjukkan hasil pembacaan parameter baterai lithium-ion saat proses charging tanpa beban selama 12 kali percobaan, meliputi daya, tegangan, dan arus yang diukur menggunakan multimeter dan sensor PZEM004T. Secara umum, kedua metode pengukuran memperlihatkan tren yang hampir serupa, di mana nilai daya mengalami fluktuasi dengan kecenderungan meningkat pada pertengahan pengujian dan mencapai puncak sekitar percobaan ke-7 hingga ke-8, kemudian menurun dan kembali stabil hingga percobaan ke-12. Tegangan dan arus yang terukur juga menunjukkan pola perubahan yang relatif konsisten antara multimeter dan sensor, meskipun terdapat sedikit selisih nilai pada beberapa titik. Selain itu, data suhu yang ditampilkan menunjukkan distribusi dengan rata-rata sekitar 33,43°C, yang menandakan kondisi baterai masih berada

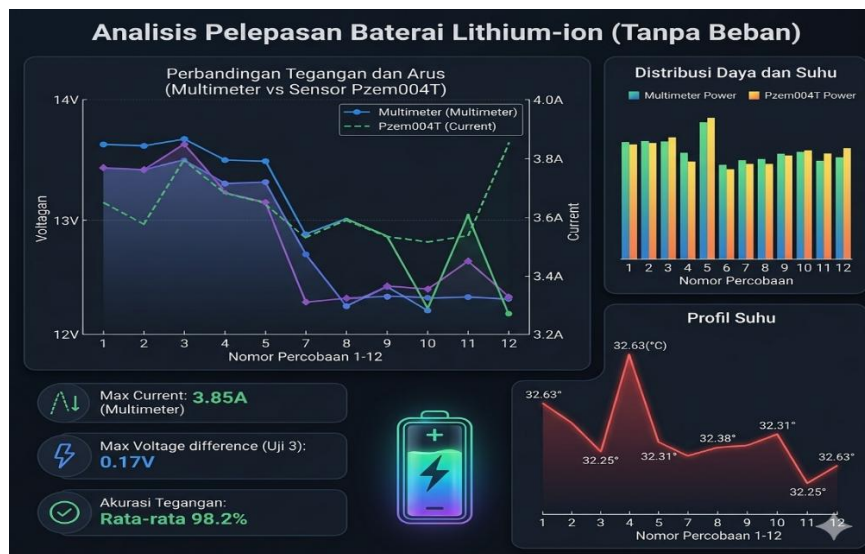
dalam batas aman selama proses pengisian tanpa beban. Secara keseluruhan, kesesuaian pola antara kedua alat ukur menunjukkan bahwa sensor PZEM004T memiliki tingkat akurasi yang baik dan dapat diandalkan untuk monitoring parameter listrik pada sistem baterai lithium-ion.

Tabel 4. 7 Hasil Pembacaan sensor Lithium-ion pada saat Charging Tanpa menggunakan beban..

Percobaan	Multimeter			Sensor Pzem004T			Suhu
	V	I	P	V	I	P	
1	12.89	12.85	165.63	12.39	12.72	157.60	33.10°
2	12.86	12.70	163.32	13.15	12.57	165.29	33.25°
3	12.85	12.30	158.05	12.68	12.18	154.44	33.05°
4	12.87	12.50	160.87	13.15	12.47	163.98	33.30°
5	12.86	12.35	158.82	12.51	12.20	152.62	33.45°
6	12.87	12.38	159.33	12.59	12.22	153.84	33.50°
7	12.87	12.55	161.51	13.10	12.42	162.702	33.65°
8	12.86	12.55	161.39	12.95	12.13	157.08	33.40°
9	12.89	12.25	157.90	12.68	12.40	157.23	33.55°
10	12.90	12.45	160.60	13.05	12.38	163.66	33.60°
11	13.00	12.50	162.50	13.22	12.32	162.87	33.70°
12	13.00	12.50	162.50	13.10	12.39	162.30	33.45°

Berdasarkan tabel 4.7 hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh perbandingan nilai tegangan, arus, daya, dan suhu antara pengukuran menggunakan multimeter sebagai alat ukur acuan dan sensor PZEM004T. Nilai daya yang dihasilkan oleh multimeter berada pada kisaran 153,12 W hingga 165,63 W, sedangkan hasil pengukuran sensor berada pada kisaran 152,62 W hingga 165,30 W, yang menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang baik dalam membaca parameter listrik. Selain itu, nilai arus yang terukur berada pada kisaran 12,25 A hingga 12,85 A, yang menunjukkan beban kerja sistem cukup besar. Hasil pengukuran suhu juga menunjukkan kondisi yang stabil dengan kisaran 33,05°C

hingga  $33,70^{\circ}\text{C}$ , sehingga mengindikasikan bahwa sistem masih bekerja dalam batas aman secara termal.



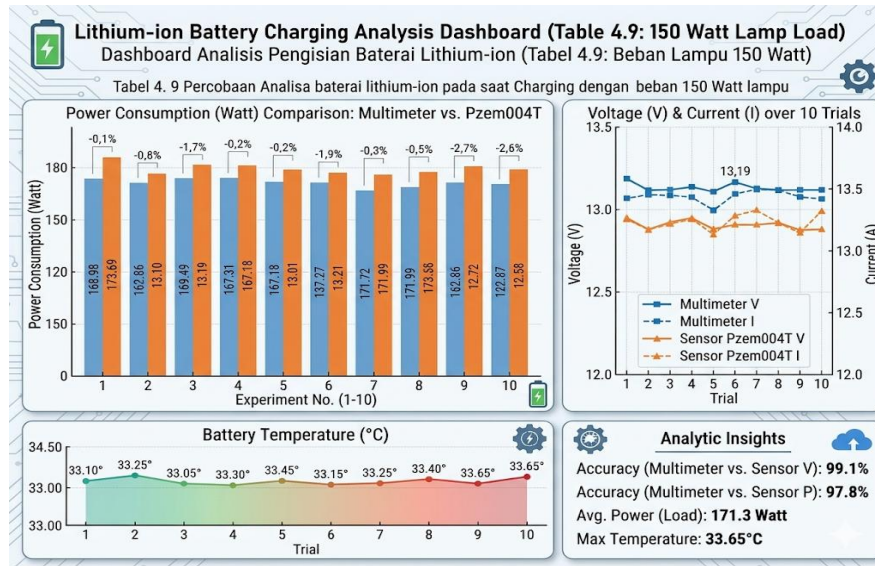
Gambar 4. 7 Hasil Pembacaan sensor Lithium-ion pada saat Charging Tanpa menggunakan beban

Berdasarkan gambar grafik 4.7 menunjukkan perubahan tegangan, arus, daya, dan suhu selama 12 kali percobaan, di mana tegangan yang diukur menggunakan multimeter dan sensor PZEM004T awalnya berada di kisaran 13,5–13,7 V lalu menurun secara bertahap hingga sekitar 12,2 V pada percobaan terakhir dengan tren yang serupa meskipun terdapat selisih maksimum 0,17 V pada percobaan ke-3, menandakan akurasi alat yang masih baik; arus dari sensor PZEM004T terlihat relatif stabil di awal, sedikit berfluktuasi, dan meningkat hingga mencapai sekitar 3,85 A di akhir pengujian, menunjukkan adanya perubahan karakteristik pelepasan meskipun tanpa beban signifikan; distribusi daya yang diukur oleh kedua alat menunjukkan pola yang hampir sama tanpa lonjakan ekstrem sehingga sistem dapat dikatakan stabil; sementara itu, profil suhu hanya berfluktuasi kecil di sekitar  $32^{\circ}\text{C}$  dengan rentang  $32,25^{\circ}\text{C}$  hingga  $32,63^{\circ}\text{C}$ , yang menunjukkan tidak adanya peningkatan suhu yang signifikan, sehingga secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa baterai mengalami penurunan tegangan secara bertahap dengan arus dan daya yang relatif stabil serta suhu yang terjaga, didukung oleh tingkat akurasi pengukuran yang tinggi dengan rata-rata mencapai 98,2%.

Tabel 4. 8 Percobaan Analisa baterai lithium-ion pada saat Charging dengan beban 150 Watt lampu

Percobaan	Multimeter			Sensor Pzem004T			Suhu
	V	I	P	V	I	P	
1	12.89	13.11	168.98	13.05	13.31	173.69	33.10°
2	12.86	13.10	169.46	13.22	13.30	175.82	33.25°
3	12.85	13,19	169.49	13.24	13.39	177.28	33.05°
4	12.87	13.00	167.31	13.22	13.20	174.76	33.30°
5	12.86	13.01	167.18	13.27	13.21	175.29	33.45°
6	12.87	13.03	167.69	12.98	13.23	171.72	33.50°
7	12.87	13.03	167.69	13.00	13.23	171.99	33.65°
8	12.86	13.00	167.18	13.15	13.20	173.58	33.40°
9	12.89	12.72	163.96	13.00	12.92	167.96	33.55°
10	12.87	12.58	161.90	13.12	12.78	167.67	33.60°

Berdasarkan Tabel 4.8 hasil pengukuran pada tabel perbandingan antara multimeter dan sensor PZEM-004T, diperoleh bahwa nilai tegangan, arus, dan daya pada kedua alat menunjukkan pola yang relatif mendekati satu sama lain dengan selisih yang masih dalam batas kecil. Pada pengukuran multimeter, tegangan berada pada rentang 12.85 V hingga 12.89 V, arus 12.58 A hingga 13.19 A, serta daya 161.90 W hingga 169.49 W. Sementara itu, pada PZEM-004T, tegangan berada pada kisaran 12.98 V hingga 13.27 V, arus 12.78 A hingga 13.39 A, dan daya 167.67 W hingga 177.28 W. Selain itu, suhu sistem juga menunjukkan peningkatan yang stabil pada rentang 33.05°C hingga 33.65°C, yang masih dalam kondisi operasi normal tanpa adanya kenaikan signifikan.



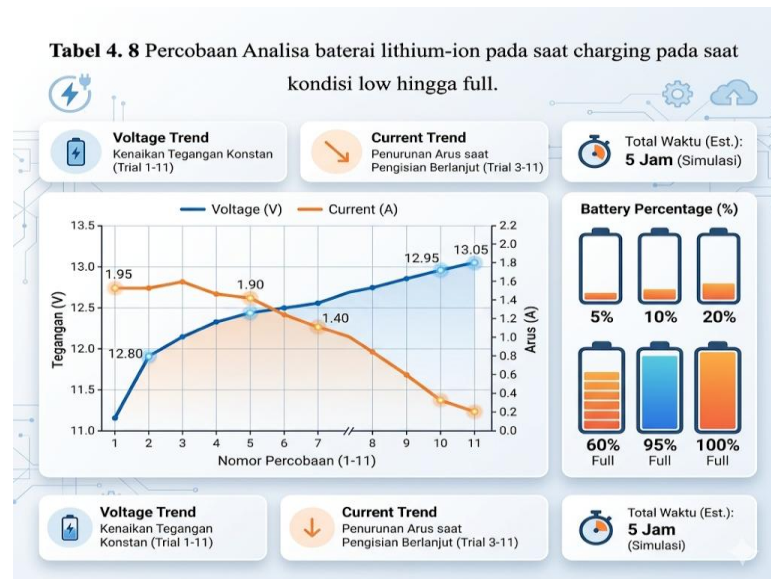
Gambar 4. 8 Percobaan Analisa baterai lithium-ion pada saat Charging dengan beban 150 Watt lampu

Berdasarkan gambar 4.8 menggambarkan kinerja baterai selama proses pengisian dengan beban lampu 150 watt dalam 10 percobaan, di mana konsumsi daya yang diukur menggunakan multimeter dan sensor PZEM004T menunjukkan pola yang relatif konsisten dengan perbedaan kecil di tiap percobaan, umumnya berada pada kisaran sekitar 165–185 watt, menandakan kestabilan sistem meskipun terdapat deviasi kecil yang ditampilkan dalam persentase pada grafik tegangan dan arus, tegangan cenderung stabil di kisaran 13,0–13,5 V dengan nilai puncak sekitar 13,19 V, sementara arus juga menunjukkan fluktuasi ringan namun tetap dalam rentang yang wajar, serta hasil pengukuran antara multimeter dan sensor memiliki kesesuaian yang tinggi suhu baterai selama pengujian relatif stabil dengan kenaikan bertahap dari sekitar 33,10°C hingga mencapai maksimum 33,65°C, menunjukkan bahwa proses pengisian tidak menyebabkan peningkatan suhu yang signifikan, data ini didukung oleh tingkat akurasi pengukuran yang tinggi, yaitu sekitar 99,1% untuk tegangan dan 97,8% untuk arus, dengan rata-rata konsumsi daya sebesar 171,3 watt, sehingga dapat disimpulkan bahwa proses pengisian baterai berlangsung stabil, efisien, dan aman dalam kondisi beban yang diberikan.

Tabel 4.9 Percobaan Analisa baterai lithium-ion pada saat charging pada saat kondisi low hingga full.

Percobaan	Tegangan(V)	Arus(A)	Persentase Baterai (%)
1	11.80	1.95	5%
2	11.95	1.95	10 %
3	12.10	1.90	20%
4	12.25	1.80	30%
5	12.40	1.60	40%
6	12.50	1.40	50%
7	12.55	1.20	60%
8	12.65	1.00	70%
9	12.85	0.70	90%
10	12..95	0.40	95%
11	13.05	0.20	100 %

Bedasarkan tabel 4.9 hasil pengisian baterai lithium-ion dari kondisi low hingga mencapai 100%, terlihat bahwa tegangan baterai mengalami peningkatan secara bertahap seiring dengan bertambahnya persentase kapasitas baterai. Pada awal pengisian, yaitu pada kondisi 5% hingga 40%, arus pengisian masih relatif tinggi yang menunjukkan bahwa proses berada pada fase constant current (CC), di mana baterai menerima arus yang stabil untuk mempercepat pengisian. Selanjutnya, pada kondisi 50% hingga mendekati penuh, arus mulai mengalami penurunan secara signifikan meskipun tegangan terus meningkat, yang menandakan peralihan ke fase constant voltage (CV). Pada tahap akhir pengisian hingga mencapai 100%, arus menjadi sangat kecil sebagai bentuk perlindungan agar baterai tidak mengalami overcharging. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengisian baterai lithium-ion berlangsung sesuai dengan karakteristik standarnya, yaitu kombinasi fase CC dan CV untuk menjaga efisiensi serta keamanan baterai.



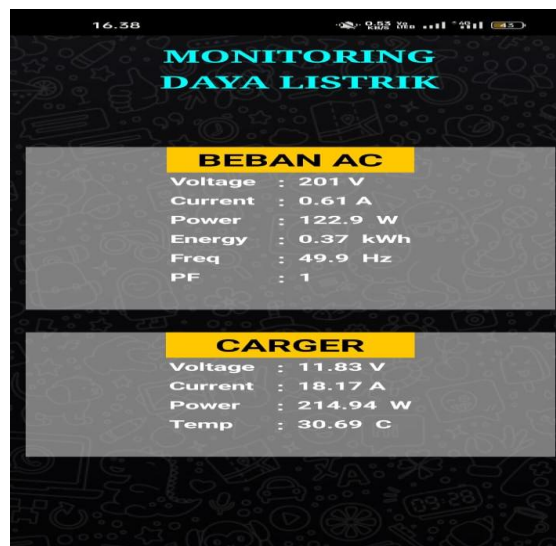
Gambar 4. 9 Percobaan Analisa baterai lithium-ion pada saat charging pada saat kondisi low hingga full.

Berdasarkan gambar grafik 4.8 menunjukkan bahwa selama 11 percobaan, tegangan baterai mengalami kenaikan yang konsisten dari sekitar 11,1 V pada awal pengisian hingga mencapai sekitar 13,05 V pada kondisi mendekati penuh, mencerminkan proses pengisian yang stabil sebaliknya, arus menunjukkan tren menurun, dimulai dari sekitar 1,95 A pada tahap awal lalu berangsur turun hingga mendekati 0,2–0,3 A pada percobaan akhir, yang menandakan mekanisme pengisian normal di mana arus berkurang seiring meningkatnya kapasitas baterai; visualisasi persentase baterai juga memperlihatkan peningkatan bertahap dari kondisi sangat rendah (5%, 10%, 20%) hingga hampir penuh (60%, 95%, 100%), memperkuat bahwa proses charging berlangsung progresif; selain itu, estimasi waktu total pengisian sekitar 5 jam menunjukkan efisiensi yang cukup baik untuk mencapai kondisi penuh, sehingga secara keseluruhan grafik ini menggambarkan karakteristik pengisian baterai lithium-ion yang stabil, terkontrol, dan sesuai dengan pola pengisian umum.

#### 4.4 Hasil Pengamatan IoT

Berdasarkan hasil pengujian sistem Internet of Things (IoT) yang diterapkan pada pengukuran parameter listrik dan suhu, diperoleh data yang menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dalam melakukan akuisisi dan monitoring data secara real-time. Sistem ini mengintegrasikan sensor PZEM004T untuk

pengukuran tegangan, arus, dan daya, serta sensor DS18B20 untuk pengukuran suhu pada lingkungan pengujian baterai. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa data yang diperoleh dari sensor PZEM004T memiliki nilai yang sangat mendekati hasil pengukuran menggunakan multimeter sebagai alat pembanding (referensi). Pada pengukuran tegangan, selisih antara sensor dan multimeter tergolong kecil dengan rata-rata deviasi yang rendah, sehingga dapat dikatakan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang baik.



Gambar 4.10 Hasil pengujian IoT

Berdasarkan gambar 4.10 menampilkan antarmuka sistem monitoring daya listrik berbasis IoT yang digunakan untuk memantau kondisi beban AC dan proses pengisian (charger) baterai secara real-time. Pada bagian Beban AC, ditampilkan beberapa parameter penting yaitu tegangan sebesar 201 V, arus 0,61 A, daya 122,9 W, energi terpakai sebesar 0,37 kWh, frekuensi 49,9 Hz, serta faktor daya (power factor) bernilai 1. Sementara itu, pada bagian Carger (*Charger*) ditampilkan informasi terkait proses pengisian baterai, meliputi tegangan 11,83 V, arus pengisian sebesar 18,17 A, daya 214,94 W, serta suhu baterai sebesar 30,69°C. Informasi ini memberikan gambaran kondisi pengisian baterai secara aktual, termasuk besar daya yang masuk dan suhu operasional baterai. Dengan adanya tampilan ini, pengguna dapat memantau kinerja sistem secara menyeluruh, baik dari sisi penggunaan energi maupun proses pengisian baterai, sehingga membantu dalam menjaga efisiensi dan keamanan.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil Analisa thermal dan efisiensi daya pada baterai lithium-ion pada sistem aplikasi listrik rumah tangga, maka dapat ditarik Kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada kondisi pengujian dengan beban 150 Watt, nilai tegangan yang diperoleh dari kedua alat berada pada kisaran 12.62 V hingga 12.80 V dengan selisih yang relatif kecil, serta suhu sistem meningkat secara bertahap dari 31.2°C hingga 32.7°C yang masih dalam kondisi stabil. Sementara itu, pada pengujian dengan variasi beban yang lebih kompleks diperoleh rentang pengukuran yang lebih besar, yaitu tegangan 12.85 V hingga 13.27 V, arus 12.58 A hingga 13.39 A, serta daya 161.90 W hingga 177.28 W, tetap menunjukkan pola perubahan yang sejalan antara multimeter dan PZEM-004T.
2. Berdasarkan hasil pengujian pada kedua tabel, sistem baterai lithium-ion menunjukkan kinerja yang stabil baik secara elektrik maupun termal. Tegangan berada pada kisaran 12,8–13,2 V dan arus relatif konstan, sehingga daya yang dihasilkan juga stabil meskipun terdapat sedikit variasi beban. Perbedaan hasil antara multimeter dan sensor PZEM004T masih dalam batas wajar, sehingga sensor dapat dikatakan cukup andal untuk monitoring, meskipun perlu kalibrasi untuk meningkatkan akurasi. Dari sisi suhu, sistem berada pada kisaran 33,05°C–33,70°C dan cenderung stabil tanpa adanya indikasi overheating. Secara keseluruhan, sistem bekerja dengan aman, stabil, dan layak digunakan untuk aplikasi rumah tangga
3. Proses pengisian (charging) pada baterai lithium-ion berlangsung melalui dua tahap utama, yaitu *Constant Current* (CC) dan *Constant Voltage* (CV). Dimana baterai menerima arus konstan sehingga tegangan secara perlahan meningkat. Ketika tegangan mendekati batas maksimum, tegangan dijaga tetap konstan sementara arus akan menurun secara bertahap hingga baterai mencapai kondisi penuh (100%) bertujuan untuk menjaga keamanan serta mencegah *overcharging* pada baterai. Dan Faktor yang memengaruhi Peningkatan suhu baterai dipengaruhi oleh resistansi internal yang mengubah energi listrik menjadi panas,

serta besarnya arus beban yang semakin tinggi. Selain itu, kondisi baterai, umur (degradasi).

## **5.2 Saran**

Mahasiswa harus lebih teliti lagi dalam pengambilan data maupun perhitungan daya dan perlu dilakukan pengembangan sistem untuk pendinginan atau manajemen thermal agar suhu baterai tetap berada pada kondisi aman saat dibebani maupun saat pengisian. dan disarankan menambahkan metode kalibrasi sensor yang lebih akurat dan variasi beban yang lebih besar agar hasil menjadi lebih akurat

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A Sisikaningrum, “Ir - perpustakaan universitas airlangga,” *Perpust. Univ. Airlangga*, pp. 1–8, 2019.
- [2] Q. Wang, P. Ping, X. Zhao, G. Chu, J. Sun, and C.-H. Chen, “Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery,” *J. Power Sources*, vol. 208, pp. 210–224, 2012, doi: 10.1016/j.jpowsour.2012.02.038.
- [3] A. Kurnia and A. Asrori, “Analisis Pengaruh Temperatur Pendinginan Pada Lithium-Battery Box Terhadap Proses Charging Pada Skuter Tenaga Surya,” *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 8, no. 2, pp. 109–118, 2023, doi: 10.20527/sjmekinematika.v8i2.264.
- [4] X. Feng, M. Ouyang, X. Liu, L. Lu, Y. Xia, and X. He, “Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review,” *Energy Storage Mater.*, vol. 10, pp. 246–267, 2018, doi: 10.1016/j.ensm.2017.05.013.
- [5] A. History, P. C. No, C. Attribution-, and I. License, “E-issn : 2988-1986,” vol. 10, no. 5, pp. 1–4, 2025.
- [6] M. K. Tran, A. Mevawalla, A. Aziz, S. Panchal, Y. Xie, and M. Fowler, “A Review of Lithium-Ion Battery Thermal Runaway Modeling and Diagnosis Approaches,” *Processes*, vol. 10, no. 6, 2022, doi: 10.3390/pr10061192.
- [7] Y. N. Hilal, P. Muliandhi, and E. N. Ardina, “Analisa Balancing Bms (Battery Management System) Pada Pengisian Baterai Lithium-Ion Tipe Inr 18650 Dengan Metode Cut Off,” *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 14, no. 2, pp. 367–374, 2023, doi: 10.24176/simet.v14i2.9852.
- [8] A. Khaparde, V. Deshmukh, V. Sharma, and U. Singh, “Li-Ion Battery Temperature Forecasting Method: Case-Study,” *WSEAS Trans. Electron.*, vol. 14, pp. 112–121, 2023, doi: 10.37394/232017.2023.14.13.
- [9] F. Sacchelli, L. Cattani, and F. Bozzoli, “Thermal Performance Study of a Novel Double-Phase Cooling Strategy in Electric Vehicle Battery Systems,” *Energies*, vol. 18, no. 18, pp. 1–21, 2025, doi: 10.3390/en18184937.
- [10] P. Harahap, F. I. Pasaribu, C. A. P. Siregar, and B. Oktrialdi, “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, doi: 10.18196/jet.v5i1.12089.
- [11] B. S. Gumilang, S. Djulihenanto, S. L. Hermawan, K. L. Andinia, and Y. I. Wardania, “Sistem Pengisian Baterai VRLA 200Ah 24V Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya 6x100 Wp di PPYD Al-Ikhlas, Singosari, Kabupaten Malang,” *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, 2024, doi: 10.33795/elposys.v11i3.6308.
- [12] D. F. Alifyanti, J. M. Tambunan, J. T. Elektro, and J. T. Elektro, “1) 2) 1) 2),” vol. 1, no. 1, pp. 79–95.
- [13] A. A. Yusuf and A. Asrori, “Perbandingan Konsumsi Daya Baterai Li-Ion 18650 Dengan Lifepo4 32700 Berdasarkan Jarak Tempuh,” vol. 6, no. 2, pp. 26–30, 2023.
- [14] M. Thowil Afif and I. Ayu Putri Pratiwi, “Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik - Review,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 95–99, 2015, doi: 10.21776/ub.jrm.2015.006.02.1.
- [15] P. Ramineni, A. Pandian, M. K. Kumar, and K. M. Sundaram, “Improved operation of li-ion Li-ion battery with supercapacitor realized to solar-electric vehicle,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 256–264, 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.10.191.
- [16] Mengbai *et al.*, “Study on the thermal radiation tolerance characteristics of lithium-ion batteries,” *RSC Adv.*, vol. 15, pp. 29500–29508, 2025, doi: 10.1039/d5ra03552j.
- [17] G. Qian, X. Liao, Y. Zhu, F. Pan, X. Chen, and Y. Yang, “Designing Flexible Lithium-Ion Batteries by Structural Engineering,” *ACS Energy Lett.*, 2019, doi: 10.1021/acsenerylett.8b02496.
- [18] K. Baterai and U. Pamulang, “FINGERPRINT DENGAN,” vol. 14, no. 1.
- [19] “Melkyanus Bili Umbu Kaleka Universitas Flores Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan eka.umbu@yahoo.co.id,” *J. Ilm. Din. sains*, vol. 67, no. 5, pp. 1–4, [Online]. Available: file:///C:/Users/USER/Downloads/125-Article Text-192-1-10-20191203 (1).pdf

- [20] P. B. N. Esp, M. Adi, S. Antara, and I. W. A. Suteja, “Analisis Arus , Tegangan , Daya , Energi , Dan Biaya Pada Sensor,” vol. 5, no. 1, pp. 76–84, 2021.
- [21] A. Tontini, L. Gasparini, and M. Perenzoni, “Numerical Model of SPAD-Based Direct Time-of-Flight Flash LIDAR CMOS Image Sensors,” *Sensors (Basel)*, vol. 20, 2020, doi: 10.3390/s20185203.
- [22] R. Sudrajat and F. Rofifah, “Rancang Bangun Sistem Kendali Kipas Angin dengan Sensor Suhu dan Sensor Ultrasonik Berbasis Arduino Uno,” *Remik*, vol. 7, no. 1, pp. 555–564, 2023, doi: 10.33395/remik.v7i1.12082.
- [23] D. T. Listrik, F. Teknik, and U. N. Surabaya, “Monitoring Arus , Tegangan , dan Suhu Pada Prototype Thermoelectric Generator Berbasis IoT MONITORING ARUS , TEGANGAN , DAN SUHU PADA PROTOTYPE THERMOELECTRIC GENERATOR BERBASIS IoT Habib Wildan Fahruri Widi Aribowo , Mahendra Widyartono , Aditya Chandra Hermawan Abstrak,” 2016.
- [24] D. T. Arif, “Kendali Kecepatan Motor DC Penguat Terpisah Berbeban Berbasis Arduino,” vol. 06, no. 02, pp. 33–43, 2020.
- [25] B. A. B. Ii, T. Pustaka, and D. A. N. Landasan, “No Title,” pp. 11–68.
- [26] U. G. Mada, “PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM ALAT UKUR ARUS LISTRIK MENGGUNAKAN SENSOR ACS712 BERBASIS ARDUINO UNO DENGAN STANDARD CLAMPMETER,” vol. 11, no. 1, pp. 39–44, 2020.
- [27] T. Ratnasari and A. Senen, “BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO DENGAN SENSOR,” vol. 7, no. 2, pp. 28–33, 2017.
- [28] T. A. Siswanto *et al.*, “APLIKASI MONITORING SUHU AIR UNTUK BUDIDAYA IKAN KOI DENGAN MENGGUNAKAN MIKROKONTROLLER ARDUINO NANO SENSOR SUHU DS18B20 WATERPROOF DAN PELTIER TEC1-12706 PADA DUNIA KOI,” vol. 1, no. 1, pp. 40–46, 2018.
- [29] P. Prasetyawan, Y. Ferdianto, S. Ahdan, and F. Trisnawati, “Pengendali Lengan Robot Dengan Mikrokontroler Arduino Berbasis Smartphone,” *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 7, no. 2, pp. 104–109, 2018, doi:

- 10.21063/jte.2018.3133715.
- [30] S. A. Arrahma and R. Mukhaiyar, "Pengujian Esp32-Cam Berbasis Mikrokontroler," vol. 4, no. 1, pp. 60–66, 2023.
- [31] A. Kurniawan, "ALAT BANTU JALAN SENSORIK BAGI," vol. 6, no. 2, pp. 285–312, 2019, doi: 10.14421/ijds.060205.
- [32] H. Kareem and D. Dunaev, "The Working Principles of ESP32 and Analytical Comparison of using Low-Cost Microcontroller Modules in Embedded Systems Design," *2021 4th Int. Conf. Circuits, Syst. Simul.*, pp. 130–135, 2021, doi: 10.1109/iccss51193.2021.9464217.
- [33] G. Subni, A. Putra, A. Nabila, B. Pulungan, and U. N. Padang, "Power Supply Variabel Berbasis Arduino," vol. 1, no. 2, pp. 139–143, 2020.
- [34] A. Prasetyo, F. B. D.R, and H. Matalata, "Perancangan Regulasi Tegangan AC - DC Menggunakan Filter Pasif," *J. Electr. Power Control Autom.*, 2020, doi: 10.33087/jepca.v3i2.37.
- [35] K. J. Manda, "Design and Development of Stabilized Regulated Fixed and Variable DC Power Supply Unit (PSU) With Short Circuit Protection," *Int. J. Adv. Multidiscip. Res. Stud.*, 2025, doi: 10.62225/2583049x.2025.5.2.4112.
- [36] S. SUHARININGSIH, F. YULIANDA, E. SUNARNO, and M. A. B. NUGROHO, "Battery Management System dengan Fitur Adaptive Current Protection terhadap Suhu," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 12, no. 2, p. 498, 2024, doi: 10.26760/elkomika.v12i2.498.
- [37] I. Saaed, R. Alsultan, K. Qasim, and Z. Hussain, "Design, Modelling and Simulate of DC motor for Robotics to Enhance Speed and Direction," *Int. J. Sci. Res.*, 2025, doi: 10.59992/ijsr.2025.v4n8p8.
- [38] H. Amirinezhad, N. V. Kurdkandi, M. Jabari, S. Ekinci, and D. Izci, "Innovative Transformerless Single-Phase Inverter for Minimizing Leakage Current and Enhancing Reactive Power in Grid-Tied PV Systems," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 50, pp. 17769–17791, 2025, doi: 10.1007/s13369-025-10113-0.
- [39] T. Pustaka, "PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA

- SURYA ( PLTS ) OFF-GRID MENGGUNAKAN BATERAI LITHIUM-ION UNTUK,” vol. 8, no. 2, 2024.
- [40] R. W. Sikumbang, “Analisis Efisiensi Solar Charge Controller Menggunakan Integrasi Numerik dengan MATLAB Simulink,” *Kurvatek*, vol. 9, no. 2, pp. 127–134, 2024, doi: 10.33579/krvtk.v9i2.5013.
- [41] M. Masniar, U. R. Marasabessy, E. Astrides, A. Ahistasari, M. A. N. Wahyudien, and M. M. Rachmadhani, “Analysis of Work Measurement Using the Stopwatch Time Study Method at PTEA,” *J. Ind. Syst. Eng. Manag.*, 2023, doi: 10.56882/jisem.v2i1.14.
- [42] A. Haroun *et al.*, “Progress in micro/nano sensors and nanoenergy for future AIoT-based smart home applications,” *Nano Express*, vol. 2, 2021, doi: 10.1088/2632-959x/abf3d4.
- [43] D. Hidayat and I. Sari, “MONITORING SUHU DAN KELEMBABAN BERBASIS INTERNET of THINGS ( IoT ),” vol. 4, no. April, pp. 525–530, 2021.
- [44] P. Gunoto, A. Rahmadi, and E. Susanti, “Perancangan Alat Sistem Monitoring Daya Panel,” *Sigma Tek.*, vol. 5, no. 2, pp. 285–294, 2022.

## LAMPIRAN

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <OneWire.h>

#include <DallasTemperature.h>

#include "ACS712.h"

#include <PZEM004Tv30.h>

PZEM004Tv30 pzem1(10, 11);

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

#define ONE_WIRE_BUS 2

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

DallasTemperature sensors(&oneWire);

//PZEM004Tv30 pzem3(Serial2, 17, 16, 0x01);

#define sensor_teg A0

#define buzzer 4

ACS712 sensor_1(ACS712_30A, A1);

float arus, tegangan, adc;

float suhu, daya;

float current1, power1, energy1, frequency1, pfl;

int voltage1;

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  lcd.init();

  lcd.backlight();
```

```

sensors.begin();

sensor_1.calibrate();

pinMode(buzzer, OUTPUT);

lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("MONITORING  DAYA");

lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("  LISTRIK  ");

digitalWrite(buzzer, HIGH);

delay(100);

digitalWrite(buzzer, LOW);

}

int count;

void loop() {

  sensors.requestTemperatures();

  suhu=sensors.getTempCByIndex(0);

  arus = sensor_1.getCurrentAC();

  adc = analogRead(sensor_teg);

  tegangan = adc / 41,24;

  daya = arus*tegangan;

  read_PZEM();

  menuReady();

  count++;

  if(count >60){

    Serial.println("|"+String(voltage1)+"|"+String(current1)+"|"+String(power1)+"|
      "+String(energy1)+"|"+String(frequency1)+"|"+String(pf1)+"|"+String(tega

```

```

ngan)+"|"+String(arus)+"|"+String(daya)+"|"+String(suhu)+"|");

count=0;

}

/*

*

Serial.println(suhu);

Serial.println(tegangan);

Serial.println(arus);

Serial.println("=====");

*/

delay(100);

}

unsigned long interval,interval1;

void menuReady(){

if(millis(>interval1+22000)interval1=millis());

else if(millis(>interval1+1000 && millis(<interval1+9000)){

//lcd.setCursor(0, 0); lcd.print(daysOfTheWeek[now.dayOfTheWeek()]);

                lcd.setCursor(0,          0);          lcd.print("V=
"+String(voltage1)+"V I="+String(current1)+"A");

                lcd.setCursor(0,          1);          lcd.print("P=
"+String(power1)+"W E="+String(energy1)+"kWh");

}

else if(millis(>interval1+9000 && millis(<interval1+11000)){

lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("Frq= "+String(frequency1)+"Hz  ");

```

```

    lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("pF= "+String(pf1)+"      ");

}

else if(millis()>interval1+11000 && millis()<interval1+20000){

    lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("V_panel= "+String(tegangan)+"V      ");

    lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("I_panel= "+String(arus)+"A      ");

}

else if(millis()>interval1+20000 && millis()<interval1+22000){

    lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("P_panel= "+String(daya)+"W      ");

    lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("Temp= "+String(suhu)+"C      ");

}

}

void read_PZEM(){

    voltage1 = pzem1.voltage();

    if (voltage1 != NAN) {

        //Serial.print("Voltage: "); Serial.print(voltage1); Serial.println("V");

    } else {

        //Serial.println("Error reading voltage");

    }

    current1 = pzem1.current();

    if (current1 != NAN) {

        //Serial.print("Current: "); Serial.print(current1); Serial.println("A");

    } else {

```

```
//Serial.println("Error reading current");
}

power1 = pzem1.power();

if (current1 != NAN) {

    //Serial.print("Power: "); Serial.print(power1); Serial.println("W");

} else {

    //Serial.println("Error reading power");

}

energy1 = pzem1.energy();

if (current1 != NAN) {

    //Serial.print("Energy: "); Serial.print(energy1, 3); Serial.println("kWh");

} else {

    //Serial.println("Error reading energy");

}

frequency1 = pzem1.frequency();

if (current1 != NAN) {

    //Serial.print("Frequency: "); Serial.print(frequency1, 1); Serial.println("Hz");

} else {

    //Serial.println("Error reading frequency");

}

pf1 = pzem1.pf();

if (current1 != NAN) {

    //Serial.print("PF: "); Serial.println(pf1);
```

```
} else {  
  //Serial.println("Error reading power factor");  
}  
}
```