

**ANALISIS PERBANDINGAN *INTEGRATED PERFORMA*
BATERAI VRLA 20 Ah DENGAN BATERAI *LITHIUM-ION* 20
Ah PADA *PHOTOVOLTAIC SYSTEM***

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.)



Disusun oleh:

MUHAMMAD KEMAL ALFARIDZI

3332170092

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2024**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Analisis Perbandingan *Integrated Performa* Baterai
VRLA 20 Ah dengan Baterai *Lithium-ion* 20 Ah pada
Photovoltaic System.
Nama Mahasiswa : Muhammad Kemal Alfaridzi
NPM : 3332170092
Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggung jawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa Sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 25 Juli 2024



Muhammad Kemal Alfaridzi
3332170092

LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini ditetapkan bahwa Skripsi berikut:

Judul : Analisis Perbandingan *Integrated Performa* Baterai
VRLA 20 Ah dengan Baterai *Lithium-ion* 20 Ah pada
Photovoltaic System,
Nama Mahasiswa : Muhammad Kemal Alfaridzi
NPM : 3332170092
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Telah diuji dan dipertahankan pada 25 Juli 2024 melalui Sidang Skripsi di Fakultas
Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan **LULUS** /

~~**TIDAK LULUS**~~

Dewan Penguji

Pembimbing I : Dr. Eng. Rocky Alfanz, S.T., M.Sc.
Penguji I : Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng.
Penguji II : Felycia, S.T., M.T.

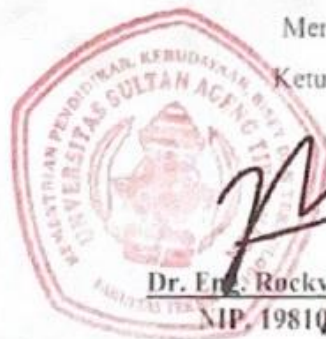
Tanda Tangan


.....

.....

Mengetahui,

Ketua Jurusan



Dr. Eng. Rocky Alfanz, S.T., M.Sc.
NIP. 198105282010121001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, atas limpahan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyusun skripsi ini dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih terhadap semua pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan skripsi. Penulis menyadari, bahwa skripsi ini tidak dapat diselesaikan tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Adapun penulis sampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua serta keluarga yang telah memberikan semangat, motivasi, dan doa yang tak terhingga nilainya.
2. Dr. Eng. Rocky Alfanz, M.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan semangat, saran dan kritik.
4. Dr. Eng. Rocky Alfanz, M.sc., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah menyediakan banyak waktu serta memberikan arahan, saran dan bimbingan kepada penulis selama proses menyelesaikan skripsi.
5. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh dosen dan staf akademik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan ilmu serta pendidikan yang bermanfaat serta teman-teman yang telah banyak membantu saya berupa semangat, kritik, dan saran dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya apabila ada kekeliruan di dalam penulisan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Cilegon, 25 Juli 2024

Penulis

ABSTRAK

Muhammad Kemal Alfaridzi
Teknik Elektro

Analisis Perbandingan *Integrated* Performa Baterai VRLA 20 Ah dengan Baterai *Lithium-ion* 20 Ah pada *Photovoltaic System*.

Penelitian ini membandingkan performa baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) 20 Ah dengan baterai *lithium-ion* 20 Ah dalam sistem *photovoltaic*, mengingat pentingnya energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi saat cadangan bahan bakar fosil menipis. 87% wilayah Indonesia memiliki listrik masih ada 8,5 juta orang tanpa akses. *Photovoltaic* menawarkan solusi, tetapi *photovoltaic* membutuhkan sistem penyimpanan energi yang efektif. Baterai VRLA dan *lithium-ion* adalah dua pilihan utama, masing-masing kelebihan dan kekurangan dalam hal biaya, kepadatan energi, dan umur siklus. Penelitian ini bertujuan menganalisis perbedaan performa, keandalan, dan efisiensi kedua jenis baterai dalam proses pengisian dan pengosongan. Metode yang digunakan melibatkan pengukuran SOC (*State of Charge*) menggunakan sensor arus dan tegangan, serta metode perhitungan *Coulomb Counting* dimodifikasi untuk estimasi SOC yang akurat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baterai VRLA mengalami penyusutan 10% dengan nilai *charging* rata-rata 90603,9 A dan *discharging* 85834,3 A, baterai *lithium-ion* memiliki umur siklus lebih lama dan tingkat DOD (*Depth of Discharge*) lebih rendah antara 30% dan 40%. Metode *Coulomb Counting* menunjukkan arus menurun dari 18000 mA menjadi 4000 mA dan tegangan turun dari 13,2 V menjadi 11,0 V, menunjukkan baterai *lithium-ion* memiliki efisiensi lebih tinggi dan siklus hidup lebih panjang dibandingkan VRLA, meskipun VRLA menunjukkan performa stabil dalam kondisi tertentu.

Kata Kunci: Baterai, VRLA, *Lithium-ion*, *Photovoltaic*, SOC

ABSTRACT

Muhammad Kemal Alfaridzi
Electrical Engineering

Analysis of Comparative Integrated Performance of 20 Ah VRLA Battery with 20 Ah Lithium-ion Battery in *Photovoltaic Systems*.

This research compares the performance of a 20 Ah VRLA (Valve Regulated Lead Acid) battery with a 20 Ah lithium-ion battery in a photovoltaic system, considering the importance of renewable energy to meet energy needs when fossil fuel reserves are running low. 87% of Indonesia has electricity and there are still 8.5 million people without access. Photovoltaics offer a solution, but they require an effective energy storage system. VRLA and lithium-ion batteries are the two main choices, each with advantages and disadvantages in terms of cost, energy density, and cycle life. This research aims to analyze the differences in performance, reliability and efficiency of the two types of batteries in the charging and discharging process. The method used involves measuring SOC (State of Charge) using current and voltage sensors, as well as a modified Coulomb Counting calculation method for accurate SOC estimation. The research results show that VRLA batteries experience a depreciation of 10% with an average charging value of 90603.9 A and discharging 85834.3 A, lithium-ion batteries have a longer cycle life and a lower DOD (Depth of Discharge) level of between 30% and 40%. The Coulomb Counting method shows the current decreases from 18000 mA to 4000 mA and the voltage decreases from 13.2 V to 11.0 V, indicating that lithium-ion batteries have higher efficiency and longer cycle life than VRLA, although VRLA shows stable performance under conditions certain.

Keywords: Battery, VRLA, Lithium-ion, Photovoltaic, SOC

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 <i>Battery Array</i> pada Sistem <i>Photovoltaic</i>	7
2.2 Klasifikasi Baterai pada <i>Battery Array</i>	7
2.3 Performa baterai VRLA.....	8
2.4 Performa Baterai <i>Lithium-ion</i>	8
2.5 Modul Surya	9
2.6 <i>Monocrystalline</i>	10
2.7 <i>Solar Charge Controller</i>	10
2.8 Karakteristik Baterai <i>Lithium-ion</i>	11
2.9 Parameter Baterai.....	12
2.10. Klasifikasi Baterai	13
2.11. Baterai <i>Lithium-ion</i>	13
2.12 Karakteristik Baterai VRLA	14
2.13 Syarat Teknis Baterai.....	15
2.14 Metode Analisis <i>State of Charge</i>	16

2.15 Kajian Pustaka	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Perancangan Penelitian	20
3.1.1 Diagram Alir Sistem <i>Data Logger</i>	20
3.1.2 Diagram Blok Sistem <i>Data Logger</i>	21
3.2 Perancangan Sistem	22
3.2.1 Rangkaian <i>Input</i> Sistem <i>Data Logger</i>	23
3.2.2 Rangkaian <i>Output</i> Sistem <i>Data Logger</i>	24
3.3 Perancangan Pengolahan Data	24
3.4 Spesifikasi dan Konfigurasi Baterai	26
3.4.1 Baterai <i>Lithium-ion</i>	26
3.4.2 Baterai <i>Valve Regulated Lead Acid</i> (VRLA)	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Hasil Perancangan Alat	28
4.2 Pengujian Parsial	29
4.2.1 Pengujian Sensor Tegangan	30
4.2.2 Pengujian Sensor Arus	30
4.3 Pengujian Integrasi	31
4.4 Perekaman Data Daya Panel Surya	32
4.5 Perekaman Data Pengisian dan Pengosongan Baterai VRLA	36
4.6 Perekaman Data Pengisian dan Pengosongan Baterai <i>Lithium-ion</i>	39
4.7 Perhitungan <i>Coulomb Counting</i> Data Baterai	43
BAB V PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	56
LAMPIRAN A <i>LISTING PROGRAM</i>	A-1
LAMPIRAN B DATA PENGUJIAN	B-1
LAMPIRAN C DOKUMENTASI	C-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Efek <i>Photovoltaic</i>	9
Gambar 2.2 Modul Surya <i>Monocrystalline</i>	10
Gambar 2.3 <i>Solar Charge Control</i>	11
Gambar 2.4 Prinsip Pengisian dan Pengosongan Baterai <i>Lithium-ion</i>	14
Gambar 2.5 Baterai VRLA	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Sistem <i>Data Logger</i>	20
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem <i>Data Logger</i>	21
Gambar 3.3 Diagram Blok Perancangan Sistem.....	22
Gambar 3.4 Rangkaian <i>Input</i> Sistem <i>Data Logger</i>	23
Gambar 3.5 Rangkaian <i>Output</i> Sistem <i>Data Logger</i>	24
Gambar 3.6 Diagram Alir Pengolahan Data	25
Gambar 4.1 Sistem Keseluruhan <i>Battery Monitoring System</i>	28
Gambar 4.2 Pengujian Sensor Tegangan	30
Gambar 4.3 Pengujian Sensor Arus	31
Gambar 4.4 Perhitungan <i>Coulomb Counting</i> Menggunakan MATLAB	32
Gambar 4.5 Grafik Data Daya Keluaran Panel ke-1.....	33
Gambar 4.6 Grafik Data Daya Keluaran Panel ke-2.....	34
Gambar 4.7 Grafik Data Daya Keluaran Panel ke-3.....	35
Gambar 4.8 Grafik Data Daya Baterai VRLA ke-1	36
Gambar 4.9 Grafik Data Daya Baterai VRLA ke-2	37
Gambar 4.10 Grafik Data Daya Baterai VRLA ke-3.....	38
Gambar 4.11 Grafik Data Daya Baterai <i>Lithium-ion</i> ke-1	39
Gambar 4.12 Grafik Data Daya Baterai <i>Lithium-ion</i> ke-2	41
Gambar 4.13 Grafik Data Daya Baterai <i>Lithium-ion</i> ke-3.....	42
Gambar 4.14 Hasil Perhitungan SOC dan DOD ke-1.....	44
Gambar 4.15 Hasil Perhitungan SOC dan DOD ke-2.....	45
Gambar 4.16 Hasil Perhitungan SOC dan DOD ke-3.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Baterai	13
Tabel 3.1 Spesifikasi Baterai <i>Lithium-ion</i>	26
Tabel 3.2 Spesifikasi Baterai VRLA.....	27

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masa mendatang penggunaan bahan bakar fosil dalam pembangkit listrik, sumber energi baru dan terbarukan akan semakin penting untuk memenuhi kebutuhan energi. Ini karena pembangkit listrik konvensional akan menguras sumber minyak bumi, gas, dan batu bara yang cadangannya semakin menipis [1]. Kelangsungan hidup manusia akan sangat terganggu jika tidak ada energi listrik. Ketersediaan dan ketersediaan energi harus selalu dipertahankan. Saat ini, 87% dari Indonesia memiliki listrik, menunjukkan bahwa 8,5 juta orang atau setara dengan 2500 desa, tidak memiliki listrik.

Energi terbarukan sendiri adalah energi yang dapat dengan cepat dipulihkan kembali secara alami dan prosesnya berkelanjutan. Salah satu jenis energi ini adalah energi matahari, yang dapat dihasilkan melalui perancangan pembangkit listrik tenaga surya [2]. Sebagai sumber energi terbarukan, matahari dianggap memiliki keunggulan yang signifikan dibandingkan sumber energi terbarukan lainnya. Keunggulannya termasuk ketersediaan yang tak terbatas, distribusi merata di seluruh wilayah, dampak lingkungan yang minimal, dan fasilitas pasokan yang bebas dari risiko kerusakan manusia, bencana alam, dan politik internasional [3].

Teknologi panel surya telah mengalami kemajuan signifikan pada material dan sistem, yang meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya, dan memperluas kapasitas penyimpanan energi. Meskipun teknologi ini semakin layak sebagai sumber energi terbarukan, sifat *intermittency* dari energi solar tetap menjadi tantangan utama. Sistem penyimpanan energi menjadi solusi utama untuk mengatasi masalah ini, dengan jenis sistem yang bergantung pada teknologi pembangkitan listrik yang digunakan. Selain itu, kebutuhan yang terus meningkat akan sumber energi terbarukan dan solusi energi jangka panjang telah memacu penelitian pada material inovatif untuk sistem *photovoltaic*, dengan fokus pada peningkatan efisiensi sel surya melalui pengembangan material baru yang lebih

efektif dalam mengumpulkan dan mengubah sinar matahari menjadi tenaga listrik [4].

Meskipun kemajuan teknologi telah meningkatkan akses ke energi, tantangan dalam menyediakan listrik secara universal tetap ada, terutama di daerah yang tidak terhubung ke jaringan listrik utama. Sistem *photovoltaic* telah muncul sebagai solusi potensial untuk elektrifikasi di luar jaringan, menawarkan cara yang efisien untuk menghasilkan listrik di lokasi terpencil, kinerja dan keandalan sistem ini dalam praktik masih memerlukan pemahaman yang lebih baik [5].

Indonesia memiliki potensi besar untuk energi surya karena lokasinya di garis khatulistiwa. Potensi energi surya di seluruh negara yang mencakup 2 juta km^2 adalah sekitar 4,8 kWh/meter/hari, atau 112.000 GWh yang dapat didistribusikan, sumber energi terbarukan dan berkelanjutan ini memiliki intensitas tahunan rata-rata 2.000 jam. Potensi ini bisa digunakan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya [6][7].

PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) bekerja dengan menggunakan radiasi matahari diubah menjadi energi listrik menghasilkan nilai arus dan tegangan [8]. PV merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengonversi sinar surya menjadi energi listrik [9]. Sistem PV menghasilkan arus dan tegangan, hasil keluaran ini disimpan ke dalam sebuah baterai yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik [10]. Salah satu metode dan teknologi yang digunakan dalam sistem penyimpanan energi adalah elektrokimia, energi listrik, kimia, mekanik, termal, dan lainnya. Alat yang biasanya digunakan untuk menyimpan energi listrik untuk penggunaan jangka waktu tertentu adalah baterai [11].

Jenis baterai yang umum digunakan dalam sistem penyimpanan adalah baterai *Valve Regulated Lead Acid* (VRLA) dan *lithium-ion* atau yang lebih dikenal dengan istilah li-ion. Kendala yang biasa terjadi pada baterai yang digunakan di sistem PLTS yaitu mengalami siklus hidup yang pendek, mudah mengalami degradasi, dan adanya rugi-rugi di dalam baterai yang disebabkan karena adanya *internal resistance* sehingga sebagian energi listrik diubah menjadi panas saat *charging* dan *discharging*. Pemahaman karakteristik pemakaian baterai dan pengukuran *State of Charge* (SOC) secara tepat diperlukan untuk membantu

menghindari kerusakan pada baterai sehingga dapat memaksimalkan kinerja PLTS [12].

Dalam sistem PV solar *off-grid*, strategi pengisian baterai memainkan peran krusial dalam memastikan penyimpanan energi yang efisien dan andal. Berbagai metode pengisian, seperti pengisian dengan tegangan konstan, arus konstan, PWM (*Pulse Width Modulation*) dan hibrida, masing-masing memiliki kelebihan dan keterbatasan yang mempengaruhi kapasitas baterai, umur siklus, *Depth of Discharge* (DOD), dan efisiensi pengisian, serta dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti suhu dan sinar matahari [13].

Baterai VRLA adalah jenis baterai asam timbal yang menggunakan katup pengatur tekanan untuk mengontrol keluarnya gas selama pengisian dan pemakaian. Baterai ini didesain tertutup, sehingga tidak memerlukan pengisian air elektrolit secara berkala, berbeda dengan baterai timbal konvensional. VRLA banyak digunakan dalam sistem daya cadangan di pembangkit listrik, gardu induk, dan sistem telekomunikasi. Baterai ini memiliki keunggulan seperti biaya perawatan rendah, teknologi yang matang, serta keandalan dan keamanan yang tinggi dalam kondisi operasi jangka panjang [14].

Baterai yang dipakai untuk menyimpan tegangan dan arus hasil *system* PV masih banyak menemui kendala dan modul surya dalam *system* PV bisa mengalami penurunan performa yang menjadikan waktu pengisian baterai menjadi lama. Metode *Coulomb Counting* adalah metode penghitungan muatan listrik (*Coloumb*) yang masuk atau keluar baterai. Arus listrik dihasilkan dari rangkaian muatan listrik yang bergerak per satuan waktu (detik), dengan mengintegrasikan arus listrik yang mengalir ke baterai dari waktu ke waktu, didapatkan semua muatan listrik yang masuk atau keluar dari baterai. Sistem manajemen baterai yang efektif sangat penting untuk memastikan estimasi yang akurat mengenai kondisi baterai, seperti SOC dan *State of Health* (SOH). Salah satu tantangan utama dalam estimasi SOC adalah akurasi nilai awal yang digunakan dalam *Coulomb Counting Method* (CCM), metode yang lebih canggih diperlukan untuk mengatasi kesalahan ini dan memperbaiki akurasi estimasi, terutama dengan mempertimbangkan perubahan resistansi internal dan efisiensi *Coulomb* yang terjadi akibat penuaan baterai. Peningkatan akurasi dalam estimasi SOC dan SOH dapat membantu dalam

memperpanjang umur baterai dan meningkatkan efisiensi sistem penyimpanan energi [15].

Dalam sistem *photovoltaic*, perbandingan antara baterai VRLA dan *lithium-ion* penting untuk memilih teknologi penyimpanan energi yang optimal. Baterai VRLA memiliki biaya awal lebih rendah dan pemeliharaan yang lebih mudah, tetapi dengan kepadatan energi dan umur siklus yang lebih rendah dibandingkan baterai *lithium-ion*. Sementara itu, baterai *lithium-ion* menawarkan kepadatan energi yang lebih tinggi, efisiensi yang lebih baik, dan umur siklus yang lebih panjang, meskipun dengan biaya awal yang lebih tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kelebihan dan kekurangan kedua jenis baterai dalam konteks penyimpanan energi terbarukan [16].

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan berbagai keperluan penggunaan yang efisien dan ramah lingkungan, penting untuk mengevaluasi berbagai jenis baterai dalam hal dimensi, berat, biaya perakitan, waktu pengisian, dan efisiensi jarak tempuh. Perbandingan baterai *lithium-ion* dan VRLA ini bertujuan untuk menentukan baterai yang paling sesuai dengan kebutuhan pengguna, dengan mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomis [17]. Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas, penelitian ini membahas tentang menganalisis perbandingan performa baterai VRLA 20 Ah dengan baterai *lithium-ion* 20 Ah pada sistem *photovoltaic* menggunakan metode *Coulomb Counting* untuk mengetahui baterai yang lebih efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dipaparkan, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mendapatkan nilai SOC baterai menggunakan sensor arus dan tegangan pada sistem PLTS?
2. Bagaimana cara mengestimasi tingkat SOC baterai yang akurat pada sistem PLTS?
3. Bagaimana cara pencatatan data arus dan tegangan untuk perhitungan didapatkan secara otomatis?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai yaitu sebagai berikut:

1. Merancang sistem pencatatan data arus dan tegangan untuk perhitungan menggunakan Matlab dengan metode *Coulomb Counting*.
2. Menganalisis perbedaan kondisi baterai saat pengisian dan pengosongan serta kondisi kesehatan baterai yang digunakan pada sistem PLTS.
3. Menganalisis tingkat SOC baterai yang akurat pada sistem PLTS.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Penelitian ini memberikan pengetahuan mendalam tentang perbedaan kondisi baterai VRLA dan *lithium-ion* saat proses *charging* dan *discharging*, serta yang mempengaruhi kinerja kedua baterai dan penelitian ini menyediakan metodologi pengukuran SOC yang dapat digunakan dalam penelitian lanjutan
2. Penelitian ini menyediakan materi studi kasus yang relevan dan terbaru untuk digunakan sebagai energi terbarukan dan teknologi penyimpanan energi.
3. Penelitian ini membantu masyarakat memahami pentingnya teknologi baterai dalam meningkatkan akses ke energi listrik, terutama di daerah terpencil, meningkatkan kesadaran tentang manfaat energi terbarukan dan penyimpanan energi yang efisien.

1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian kali ini untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, maka diperlukan batasan-batasan masalah dalam penelitian, yaitu sebagai berikut:

1. Kondisi yang dibahas hanya SOC dan DOD
2. Sistem PLTS yang digunakan adalah panel *monocrystalline*
3. Kondisi SOC dan DOD baterai dinyatakan dalam persentase
4. Metode perhitungan yang digunakan adalah *modified Coulomb Counting method*

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan merupakan urutan garis besar penulisan Skripsi. Berikut ini dituliskan pokok bahasan untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai susunan materi yang dibahas dari tiap-tiap bab.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang penjelasan mengenai latar belakang masalah, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan tentang konsep dasar perangkat yang digunakan untuk membuat sistem penyeimbangan pengisian dan pengosongan *battery array* pada sistem panel surya serta *monitoring battery array* secara *real-time*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang proses perancangan alat, cara kerja alat, perangkat dan spesifikasi alat yang digunakan dalam pembuatan alat, baik perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*).

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil penelitian dan pembahasan yang disampaikan berupa penjelasan dari hasil pengujian yang telah didapat dari pembuatan alat dan pengolahan data penelitian mengenai penyeimbang pengisian dan pengosongan *battery array* serta data perhitungan *Coulomb Counting*.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang menguraikan rangkuman yang disimpulkan dari hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan beserta saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Battery Array pada Sistem Photovoltaic

Sistem *photovoltaic* menghasilkan energi listrik dari hasil konversi sinar matahari. Sistem *photovoltaic* menggunakan mekanisme penyimpanan energi untuk memastikan bahwa energi yang dihasilkannya selalu tersedia pada waktu malam ketika matahari tidak menyinari modulnya.

Baterai adalah bagian dari sistem *photovoltaic* yang menghasilkan energi dari modul *photovoltaic* sepanjang hari. Kemudian energi listrik digunakan pada malam hari dan ketika cuaca mendung. Dalam sistem *photovoltaic*, baterai mengalami siklus *charging* dan *discharging* sesuai dengan jumlah sinar matahari yang tersedia [1]. Kinerja sistem *photovoltaic* tergantung pada desain baterai dan kondisi operasi serta pemeliharaan baterai yang membantu untuk memiliki gagasan tentang pemilihan baterai, peringkat dan perawatan baterai untuk aplikasi *photovoltaic* [18].

2.2 Klasifikasi Baterai pada Battery Array

Baterai dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis utama klasifikasi baterai, yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer adalah baterai yang tidak dapat diisi ulang dan hanya dapat digunakan sekali pakai, sedangkan baterai sekunder adalah baterai yang dapat digunakan berkali-kali karena dapat diisi ulang (*rechargeable*).

Baterai sekunder memiliki kemampuan untuk diisi ulang karena reaksi elektrokimianya yang bersifat *reversible*. Proses *discharging* baterai ini dapat mengonversi energi kimia menjadi energi listrik, memungkinkan perangkat yang terhubung untuk berfungsi, sebaliknya saat proses *charging*, energi listrik diserap oleh baterai dan diubah kembali menjadi energi kimia, yang kemudian disimpan untuk digunakan pada siklus berikutnya. Keunggulan inilah yang membuat baterai sekunder menjadi komponen penting dalam banyak aplikasi energi, dalam sistem yang memerlukan sumber daya yang dapat diisi ulang secara berulang kali [19].

2.3 Performa baterai VRLA

Baterai VRLA memiliki performa yang andal dalam sistem cadangan daya dengan desain tertutup yang memungkinkan pengoperasian tanpa pengisian air secara rutin. Performa baterai dapat menurun akibat korosi dan sulfasi negatif, yang mengurangi kapasitas penyimpanan dan meningkatkan resistansi internal. SOC digunakan untuk memantau kapasitas tersisa, yang penting untuk menghindari *overcharge* atau *overdischarge* [14].

Baterai jenis VRLA yang disimulasikan dalam 1 tahun sehingga nilai arus pada saat *charging* dan *discharging* terlihat. Selain itu, performa ini menentukan nilai SOC terhadap DOD baterai. Nilai DOD terlihat ketika menghitung kapasitas baterai pada kondisi otonom. Sehingga, baterai ini dianalisis lebih lanjut kinerja dan diprediksi penurunan performanya dalam 1 tahun ke depan [12].

2.4 Performa Baterai *Lithium-ion*

Baterai *lithium-ion* adalah jenis baterai sekunder yang dapat diisi ulang dan ramah lingkungan karena tidak mengandung bahan berbahaya seperti baterai Ni-Cd dan Ni-MH yang telah berkembang lebih dahulu. Baterai ini memiliki banyak keunggulan dibandingkan baterai sekunder jenis lain, seperti berat yang lebih ringan, stabilitas penyimpanan energi yang luar biasa bertahan hingga 10 tahun atau lebih, energi densitas yang tinggi, dan tidak ada efek memori, baterai ini dapat digunakan dengan cara yang lebih baik daripada baterai jenis lain [2].

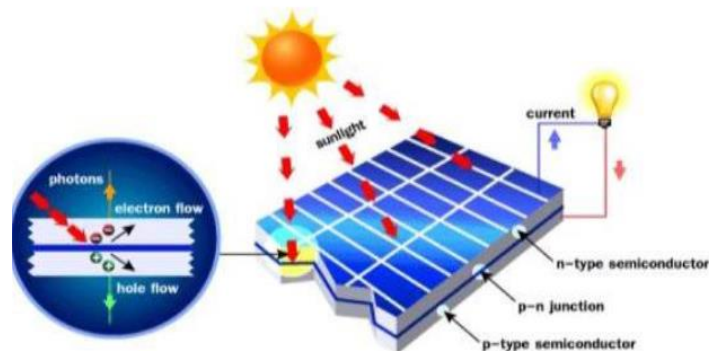
Baterai *lithium-ion* terbagi menjadi beberapa jenis bergantung pada jenis komposisi bahannya. Hal tersebut berpengaruh terhadap kemampuan setiap jenis baterai *lithium-ion*. Beberapa jenis baterai *lihtium* yaitu *Nickel Cobalt Aluminum Oxide* (NCA), *Nickel Manganese Cobalt Oxide* (NMC), dan lain-lain. Pada penelitian ini dilakukan analisis performa spesifikasi baterai *lithium-ion* kemudian didapatkan nilai kepadatan energi 890 Wh/kg, kemudian tegangan per sel 3 V lalu *discharge* 3 V dan *charging* 4,3 V dengan siklus 500 s.d. 2000 [5].

Baterai *lithium-ion* berkinerja tinggi dari empat aspek, termasuk bahan katoda, bahan anoda, elektrolit, dan pemisah. Secara sistematis membahas struktur dan masalah komponen penting ini serta strategi untuk meningkatkan performanya. Tantangan utamanya dan perspektif masa depan untuk membangun baterai *lithium-*

ion dengan kinerja elektrokimia tinggi juga diusulkan [20].

2.5. Modul Surya

Beberapa sel surya membentuk modul surya, masing-masing disebut *array*, dan proses mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik disebut foto efek listrik. Pada suatu sel surya, radiasi matahari terdiri dari partikel cahaya sebagai pembawa energi dan *voltage* atau tegangan. Sel surya terdiri dari dua lapisan semikonduktor yang masing-masing memiliki muatan yang berbeda. Ini berarti bahwa bermuatan negatif dan bermuatan positif muncul pada saat yang sama. Salah satu bahan semikonduktor yang paling umum digunakan dalam sel surya adalah silikon. Energi foton yang dilepaskan dari sel surya melepaskan elektron dari ikatan atom silikon, memungkinkan elektron untuk bergerak bebas pada lapisan atas dan menciptakan perbedaan potensial (tegangan) yang dapat menghasilkan arus listrik jika dihubungkan dengan beban (lampu) [4]. Berikut merupakan ilustrasi efek *photovoltaic* pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Efek *photovoltaic*

Gambar 2.1 menjelaskan bahwa modul surya merupakan perangkat yang terdiri dari sel surya yang dapat mengubah cahaya menjadi energi listrik. Sel surya mengandalkan efek *photovoltaic* untuk meresap energi matahari dan mengakibatkan arus mengalir di antara material modul surya [21]. Daya listrik yang telah dibangkitkan oleh modul surya digunakan untuk mengisi baterai melalui *Solar Charge Controller* (SCC).

2.6. *Monocrystalline*

Panel surya *monocrystalline* dikenal karena efisiensinya yang tinggi dan warna hitamnya yang khas, yang berasal dari penggunaan silikon murni. Panel ini dibuat dari satu kristal silikon tunggal, memungkinkan elektron bergerak lebih bebas dan meningkatkan efisiensi konversi sinar matahari menjadi listrik. Dibandingkan dengan jenis panel lainnya, panel *monocrystalline* memiliki tingkat efisiensi yang lebih tinggi, sehingga ideal untuk lokasi dengan ruang terbatas. *Output* energi sangat penting, berkinerja lebih baik dalam kondisi cahaya rendah dan memiliki umur yang lebih panjang. Proses produksi lebih kompleks dan mahal yang menyebabkan harga lebih tinggi, efisiensi dan daya tahan panel *monocrystalline* sering membuatnya menjadi pilihan utama untuk sistem tenaga surya baik rumah tinggal maupun komersial [22]. Modul surya *monocrystalline* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Modul Surya *Monocrystalline*

Gambar 2.2 merupakan panel surya *monocrystalline* yang memiliki efisiensi tinggi dan warna hitam khas karena terbuat dari silikon murni, hal ini memungkinkan konversi sinar matahari menjadi listrik secara optimal dan ideal untuk lokasi dengan ruang terbatas. Panel ini menawarkan kinerja unggul dalam kondisi cahaya rendah dan umur panjang, meskipun harganya lebih tinggi.

2.7. *Solar Charge Controller*

SCC bekerja sebagai perangkat untuk mengonversi DC-DC untuk menurunkan tegangan modul surya ke level tegangan baterai. Selain menjaga pemuatan baterai, SCC juga berfungsi untuk mengatur keluar masuknya tegangan

dan arus dari panel surya ke baterai [21]. Salah satu jenis SCC juga dilengkapi dengan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) untuk mengoptimalkan penangkapan energi. SCC dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Solar Charge Control*

Gambar 2.3 menunjukkan perangkat SCC yang berfungsi mengatur arus dan tegangan dari panel surya ke baterai. Alat ini dirancang untuk mencegah baterai dari pengisian berlebih yang dapat merusak komponen baterai, serta menghindari *overdischarge* yang dapat memperpendek masa pakai baterai. SCC memantau dan menyesuaikan aliran daya secara otomatis untuk memastikan baterai bekerja pada tingkat optimal. Pada sistem *photovoltaic*, SCC sangat penting untuk meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem. Penggunaannya juga membantu memperpanjang usia baterai, sehingga memaksimalkan investasi dalam teknologi energi terbarukan.

2.8 Karakteristik Baterai *Lithium-ion*

Baterai *lithium-ion* adalah jenis baterai sekunder yang dapat diisi ulang. Baterai *lithium-ion* memiliki karakteristik yaitu dapat menyimpan energi dengan sangat stabil untuk waktu yang lama, mungkin 10 tahun atau lebih. Sel *lithium-ion rechargeable* memiliki energi densitas yang tinggi yaitu sebesar 120 Wh/kg dan daya densitas yang tinggi yaitu sebesar 1800 W/kg dibandingkan baterai jenis lain yang rata-rata energi densitasnya di bawah nilai 100 dan daya densitasnya di bawah nilai 1000, selain itu baterai jenis ini memiliki ukuran yang lebih kecil dan ringkas sehingga menjadi pilihan utama untuk perangkat penyimpanan energi listrik. Baterai ini merupakan jenis baterai isi ulang yang paling populer untuk peralatan

elektronik portabel, 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, sel *lithium-ion* juga sering digunakan oleh industri militer, kendaraan listrik, dan dirgantara. Sejumlah penelitian berusaha memperbaiki teknologi sel *lithium-ion* tradisional, berfokus pada kepadatan energi, daya tahan, biaya, dan keselamatan *intrinsic* [21].

2.9. Parameter Baterai

Parameter baterai adalah serangkaian atribut yang digunakan untuk menggambarkan sifat dan kemampuan baterai dalam berbagai kondisi. Berikut adalah penjelasan lebih rinci mengenai parameter-parameter tersebut:

1. *State of Charge* atau SOC adalah kondisi *charge* dalam baterai atau rasio antara kapasitas sisa dan kapasitas nominal yang dinyatakan dalam persentase (%).
2. *Depth of Discharge* atau DOD adalah jumlah energi yang digunakan dari baterai. Ini adalah kebalikan dari SOC. Spesifikasi baterai menyatakan bahwa siklus hidupnya mungkin lebih besar dari 1500 siklus dengan DOD 80%, artinya hal tersebut hanya akan terjadi jika penggunaan energi tidak melebihi 80% dari kapasitas nominalnya.
3. SOH adalah rasio kondisi baterai saat ini terhadap kondisi ideal atau kapasitasnya ketika masih baru. SOH dinyatakan dalam persentase (%). Salah satu alasan turunnya nilai SOH adalah meningkatnya hambatan internal baterai.
4. *C-rate* biasanya menyatakan pengisian atau pemakaian energi yang sama dengan kapasitas baterai dibagi dengan waktu. Sebagai tingkat pemakaian C10 (atau I10) untuk 1000 Ah adalah sebesar 1000/10 atau sebesar 100 A.
5. *Round-trip efficiency* adalah menyatakan rasio antara energi yang digunakan selama pemakaian dan energi untuk mengisi kembali baterai sampai penuh.

2.10. Klasifikasi Baterai

Opsi penyimpanan listrik utama yang sesuai untuk memberi daya pada sistem modern antara lain, perangkat elektrokimia (baterai) menggunakan reaksi kimia untuk menghasilkan daya. Baterai saat ini diklasifikasikan ke dalam kelas yang berbeda dari prinsip, sifat komponen, desain dan kondisi kerja [11]. Klasifikasi secara umum dibagi menjadi sistem yang tidak dapat diisi ulang (primer) dengan sistem yang dapat diisi ulang (sekunder). Beberapa klasifikasi dari jenis baterai dijelaskan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Klasifikasi Baterai

Baterai	Jenis	Keterangan
Baterai primer	Sel berair	Sel kering mangan
		Sel kering alkali
		Sel magnesium
	Sel non-berair	Baterai <i>lithium</i> metalik
Baterai sekunder	Sel berair	Baterai timbal-asam
		Baterai Ni-Cd
		Baterai Ni-MH
	Sel non-berair	Baterai <i>lithium</i> polimer
		Baterai <i>lithium-ion</i>

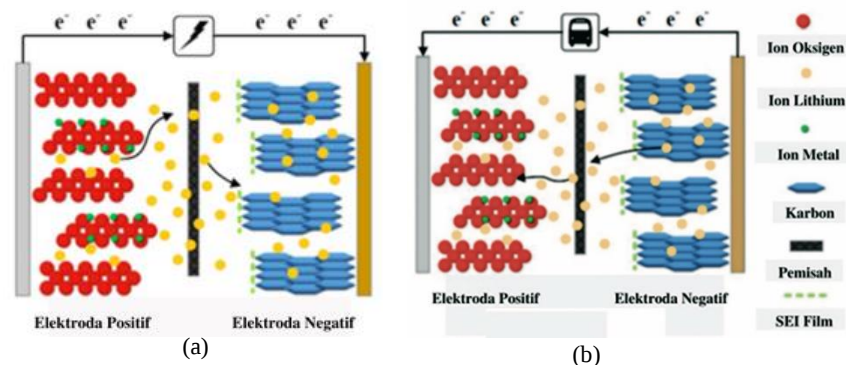
Tabel 2.1 menunjukkan klasifikasi secara sistem yang tidak dapat diisi ulang (primer) dengan sistem yang dapat diisi ulang (sekunder) dibedakan secara sifat. Baterai yang dapat diisi kembali atau tidak ketika SOC baterai 0%, sel berair dengan sel non-berair, sedangkan elektrolit dalam sel basah merupakan cairan yang bergerak bebas.

2.11. Baterai *Lithium-ion*

Moli Energy mengembangkan baterai isi ulang pertama (baterai sekunder) pada tahun 1985. Baterai ini didasarkan pada *lithium* (elektroda negatif) dan molibdenum sulfida (elektroda positif) [24]. Selanjutnya tahap pengembangan material baterai ini terus dilakukan hingga masa sekarang.

Struktur dasar dan prinsip kerja baterai *lithium-ion*, elektroda positif dan negatif direndam dalam elektrolit. Pengisian dan pengosongan baterai *lithium-ion* dicapai dengan proses memasukkan dan melepaskan ion *lithium* antara elektroda

positif dan negatif. Gambar prinsip pengisian dan pengosongan baterai dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Prinsip Pengisian dan Pengosongan Baterai *Lithium-ion*, (a) pengisian, (b) pengosongan

Gambar 2.4 menjelaskan bahwa saat baterai diisi, ion *lithium* bergerak dari elektroda positif baterai ke elektrolit. Ion *lithium* dalam elektrolit memiliki perbedaan konsentrasi yang besar di dekat elektroda positif dan negatif, ion *lithium* didorong untuk bergerak menuju elektroda negatif, dan akhirnya menanamkan elektroda negatif melalui pemisah. Pada saat yang sama, elektron dalam rangkaian eksternal bergerak dari elektroda positif ke elektroda negatif untuk membentuk arus, mewujudkan proses pengisian. Sehingga elektroda negatif menerima elektron untuk terjadi reaksi reduksi, dan elektroda positif kehilangan elektron untuk menjalani reaksi oksidasi.

2.12 Karakteristik Baterai VRLA

Baterai VRLA merupakan salah satu baterai yang sering digunakan untuk menyimpan energi listrik dengan keunggulan dari baterai VRLA salah satunya yaitu tidak memerlukan perawatan yang rutin dan memiliki *lifetime* yang lebih lama sehingga dapat menghemat dari segi ekonomis. Baterai VRLA ini sangat sesuai untuk sistem *solar cell*, karena dapat *discharge* sejumlah arus listrik secara konstan dalam waktu yang lama [12]. Bentuk fisik baterai VRLA terdapat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Baterai VRLA

Gambar 2.5 merupakan bentuk fisik dari baterai VRLA, baterai VRLA adalah jenis baterai asam timbal yang tidak memerlukan perawatan rutin, karena memiliki teknologi *valve regulated* untuk mengontrol tekanan gas dan mencegah kebocoran elektrolit. Elektrolit dalam baterai VRLA diserap dalam pemisah atau gel, membuatnya aman untuk digunakan dalam berbagai posisi. Baterai ini biasanya digunakan dalam aplikasi seperti cadangan daya dan penyimpanan energi.

Baterai digunakan untuk menyalakan benda-benda, tingkat energi yang disimpan menurun seiring waktu, oleh karena itu baterai harus diisi ulang. Ada beberapa metode yang berbeda untuk mengisi baterai, salah satunya disebut tegangan konstan arus konstan, atau *Constant Current-Constant Voltage (CC-CV)*. Metode ini dipilih karena membantu mencegah kelebihan daya baterai, yang dapat mengurangi umur baterai. Bagian arus konstan dari pengisian CC-CV digunakan pada awalnya untuk mengisi baterai dengan daya. Tegangan baterai meningkat, itu beralih ke pengisian tegangan konstan sehingga arus mematikan. Menggunakan CC-CV sangat penting untuk menjaga umur panjang baterai, karena membantu menghindari kondisi *overcharge* yang dapat merusak sel-sel baterai. Baterai tidak hanya diisi dengan efisien tetapi juga dilindungi dari kerusakan akibat pengisian yang berlebihan [14].

2.13 Syarat Teknis Baterai

Syarat teknis baterai Menurut standar SKDIR 0520-2.K/DIR/2014 dari PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara) suatu baterai dapat dikatakan baik yaitu baterai yang mempunyai efisiensi baterai sebesar $>80\%$ dan dapat dikatakan buruk jika

efisiensi dari baterai tersebut $<60\%$ [13]. Efisiensi siklus bolak-balik pada baterai sangat penting dalam mempengaruhi kesehatan dan masa pakai baterai, serta biaya operasional sistem penyimpanan energi. Hilangnya energi selama proses penyimpanan dan pelepasan baterai berdampak langsung pada peningkatan biaya operasional. Efisiensi bolak-balik yang rendah menyebabkan hilangnya energi lebih besar, sehingga biaya penggunaan baterai meningkat.

Model baterai timbal-asam yang ada perlu disempurnakan untuk menyimulasikan perilaku baterai dalam susunan baterai yang kompleks. Pembaruan model ini diperlukan untuk memperhitungkan efisiensi bolak-balik dan biaya operasional. Model baterai yang diperbarui memberikan prediksi yang lebih baik tentang kinerja sistem penyimpanan energi dan membantu dalam pengambilan keputusan terkait penggunaan dan pemeliharaan baterai.

Kontribusi dalam bidang penyimpanan energi melalui penyediaan metode untuk mengadaptasi model baterai yang lebih realistis dan efisien sangat penting. Pengoptimalan desain dan operasi sistem penyimpanan energi diperlukan untuk mengurangi biaya operasional dan memperpanjang masa pakai baterai [23].

2.14 Metode Analisis *State of Charge*

SOC baterai dapat ditentukan dengan mengintegrasikan arus baterai dari waktu ke waktu, yang dikenal sebagai metode modifikasi perhitungan *Coulomb (modified coulomb counting method)*. Metode ini membutuhkan pengukuran arus yang akurat dan dapat terpengaruh oleh akumulasi kesalahan selama proses pengukuran. Kesalahan kecil dalam pengukuran arus dapat terakumulasi seiring waktu, menyebabkan tidak akurat dalam estimasi SOC.

SOC baterai merupakan parameter penting yang menentukan kapasitas energi yang tersisa dalam baterai. Metode modifikasi penghitungan *coulomb* mengintegrasikan arus baterai dari waktu ke waktu untuk menghitung SOC. Akurasi metode ini sangat bergantung pada keakuratan pengukuran arus dan pengendalian akumulasi kesalahan.

Pemilihan metode yang tepat untuk estimasi SOC baterai menjadi penting, mengingat setiap metode memiliki karakteristik dan tantangan tersendiri. Penggunaan metode yang sesuai dapat membantu dalam pengelolaan dan

pemeliharaan baterai, memastikan performa optimal dan umur panjang dari sistem penyimpanan energi [24].

Keakuratan metode perhitungan *coulomb* sebagai salah satu metode paling sederhana untuk memperkirakan SOC sangat dipengaruhi oleh akurasi sensor. Metode perhitungan *Coulomb* mengintegrasikan arus baterai dari waktu ke waktu untuk menghitung SOC, namun ketergantungan pada sensor arus yang sangat akurat dapat menyebabkan estimasi jika sensor tidak akurat.

Cara mengatasi masalah akurasi sensor, metode penghitungan *coulomb* berbasis data diusulkan sebagai alternatif. Pendekatan ini mengandalkan analisis data untuk meningkatkan akurasi estimasi SOC, mengurangi ketergantungan pada sensor arus yang sangat akurat, dengan menggunakan data historis dan algoritma pembelajaran mesin, metode ini dapat mengkalibrasi dan memperkirakan SOC dengan lebih akurat meskipun terdapat kesalahan pada sensor arus [25].

Metode penghitungan *coulomb* digunakan untuk mengintegrasikan arus baterai dari waktu ke waktu guna menghitung SOC. Keefektifan metode ini diuji melalui pengukuran eksperimental yang dilakukan menggunakan aplikasi Simulink. Dengan mengukur tegangan dan arus baterai secara akurat, estimasi SOC teoritis dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran eksperimental untuk mengevaluasi keakuratannya.

Pendekatan ini menyoroti pentingnya akurasi dalam pengukuran tegangan dan arus untuk memastikan estimasi SOC yang tepat. Model baterai yang digunakan dalam Simulink membantu dalam memvalidasi metode penghitungan *coulomb* dengan memberikan kerangka kerja secara teori yang dapat dibandingkan dengan data eksperimental. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode penghitungan *coulomb* dapat efektif dalam estimasi SOC, terutama ketika pengukuran arus dan tegangan dilakukan dengan akurat.

Pemilihan metode yang tepat untuk estimasi SOC, seperti metode penghitungan *coulomb*, sangat penting dalam memastikan performa optimal dan umur panjang baterai pada kendaraan listrik hibrida. Metode ini, ketika divalidasi melalui pengukuran eksperimental dan model Simulink, dapat memberikan estimasi SOC yang andal dan berguna untuk manajemen dan pemeliharaan baterai *lead acid* dalam aplikasi kendaraan listrik hibrida [26].

Efisiensi operasi baterai dapat dievaluasi melalui pengukuran efisiensi *coulomb*. Metode ini menggunakan *Coulomb Counting*, yang didefinisikan sebagai rasio jumlah muatan yang masuk ke baterai selama proses pengisian dibandingkan dengan jumlah muatan yang dapat diekstraksi selama pemakaian, dengan menggunakan metode ini, kita dapat memperoleh gambaran yang akurat mengenai seberapa efektif baterai dalam menyimpan dan melepaskan energi listrik [27]. Perhitungan nilai estimasi SOC sangat penting untuk aplikasi baterai energi hijau karena dapat mencegah sistem mengalami gangguan dan mencegah baterai dari *overcharge* dan *overdischarge*, yang dapat menyebabkan kerusakan [28].

2.15 Kajian Pustaka

Beberapa penelitian telah membuat penelitian, seperti penelitian tentang penggunaan baterai *lithium-ion* pada PLTS, sebagai perbandingan dan sumber informasi penelitian, seperti penelitian tentang penggunaan baterai *lithium-ion* pada PLTS. Baterai *lithium-ion* kapasitasnya yang luas, baterai ini dapat menghasilkan *output* yang lebih besar dan lebih cepat. Baterai *lithium-ion* memiliki tingkat DOD antara 30% dan 40% diperlukan, dengan hanya 10% DOD per siklus, umur siklus menjadi lima kali lebih lama daripada dengan 50% DOD, sehingga disimpulkan pada penelitian ini baterai *lithium-ion* memiliki kapasitas yang luas, baterai ini dapat menghasilkan *output* yang lebih besar dan lebih cepat [29].

Penelitian selanjutnya performa baterai VRLA pada sistem PLTS dengan beban lampu 100 watt selama 24 jam. Hasil menunjukkan bahwa rata-rata arus *charging* baterai dalam satu tahun mencapai 90.603,9 A, sedangkan arus *discharging* sebesar 85.834,3 A. Nilai DOD yang ideal sebesar 2,4%, menunjukkan bahwa baterai tidak terlalu sering mengalami pengosongan penuh. Baterai mengalami penyusutan sebesar 10% akibat pemakaian selama 1 tahun, yang mempengaruhi usia pakai baterai [12].

Penelitian selanjutnya dilakukan *monitoring* 2 jenis baterai yaitu *lead acid* 12 V dan *lithium* 12 V menggunakan metode *Coulomb Counting* untuk menghitung nilai SOC. Hasil nilai SOC pada penelitian ini 100% saat proses *charging* dan 20% saat *discharging* [30].

Penelitian selanjutnya menitikberatkan pada analisis penggunaan baterai *lead*

acid dan *lithium-ion* dalam sistem PLTS, dengan fokus khusus pada metode pengukuran SOC menggunakan teknik *Coulomb Counting* yang dimodifikasi. Metode *Coulomb Counting* ini mampu menghasilkan prediksi yang lebih tepat mengenai kondisi SOC yang sangat penting untuk memelihara siklus hidup baterai dan mencegah pengosongan berlebihan DOD [31].

Penelitian selanjutnya tentang penentuan SOC pada baterai VRLA NP7-12 menggunakan Matlab menghasilkan nilai batas atas *initial* SOC 100% sedangkan nilai batas bawah sebesar 20%. Pengujian dilakukan selama 10 jam pada kondisi pengosongan maupun pengisian baterai [32].

BAB III

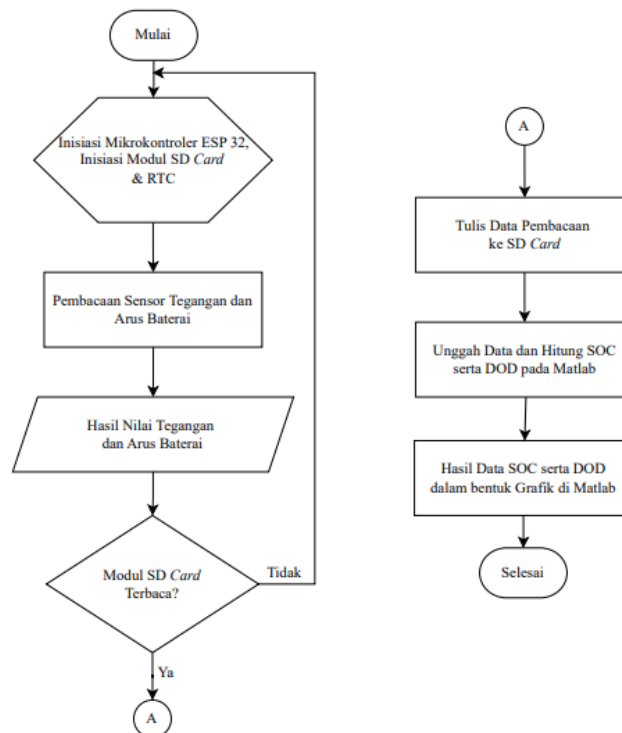
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Perancangan Penelitian

Perancangan penelitian dilakukan dengan tujuan untuk memastikan sistem dapat berjalan sesuai dengan apa yang direncanakan. Perancangan penelitian meliputi perancangan sistem *data logger* untuk menyimpan pembacaan sensor tegangan dan sensor arus di *SD Card*. Hasil data yang sudah dikumpulkan pada *file Excel* ditransfer ke *software Matlab* untuk dilakukan perhitungan menggunakan metode *Coulomb Counting*.

3.1.1 Diagram Alir Sistem *Data Logger*

Diagram alir sistem *data logger* merupakan proses kerja sistem saat menyimpan pembacaan sensor arus dan tegangan yang diunggah ke Matlab untuk dihitung menggunakan metode *Coulomb Counting*. Diagram alir sistem *data logger* dapat dilihat pada Gambar 3.1.

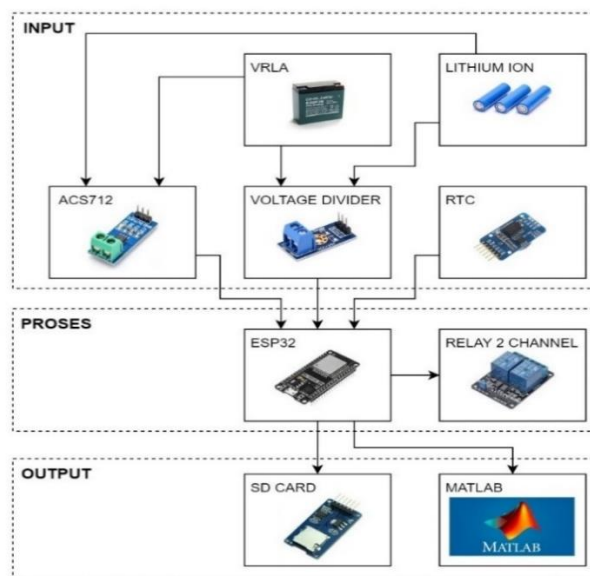


Gambar 3.1 Diagram Alir Sistem *Data logger*

Diagram alir pada Gambar 3.1 menunjukkan tahapan dalam sistem *monitoring* dan analisis baterai yang menggunakan mikrokontroler ESP32, modul SD card, dan Matlab. Proses dimulai dengan inisiasi mikrokontroler ESP32, diikuti oleh inisiasi modul SD card dan modul *Real Time Clock* (RTC). Setelah itu, sistem membaca data dari sensor tegangan dan arus baterai, menghasilkan nilai tegangan dan arus yang diperoleh. Sistem kemudian memeriksa apakah modul SD card terbaca, jika modul SD card tidak terbaca proses berhenti, dan jika terbaca data pembacaan sensor ditulis dan disimpan ke dalam SD card. Data yang tersimpan di SD card kemudian diunggah ke Matlab untuk perhitungan SOC dan DOD menggunakan metode *Coulomb Counting*. Hasil perhitungan SOC dan DOD ditampilkan dalam bentuk grafik di Matlab untuk analisis lebih lanjut. Proses berakhir setelah semua data diproses dan ditampilkan.

3.1.2 Diagram Blok Sistem Data Logger

Diagram blok sistem dibuat untuk pemodelan sistem. Sistem yang dibuat yaitu *Data logger* untuk menyimpan tegangan dan arus pada baterai PLTS. Baterai PLTS yang dianalisis ada 2 jenis yaitu VRLA dan *lithium-ion*. Struktur peralatan yang digunakan dalam proses pembuatan sistem *data logger* dapat dilihat pada diagram blok Gambar 3.2.

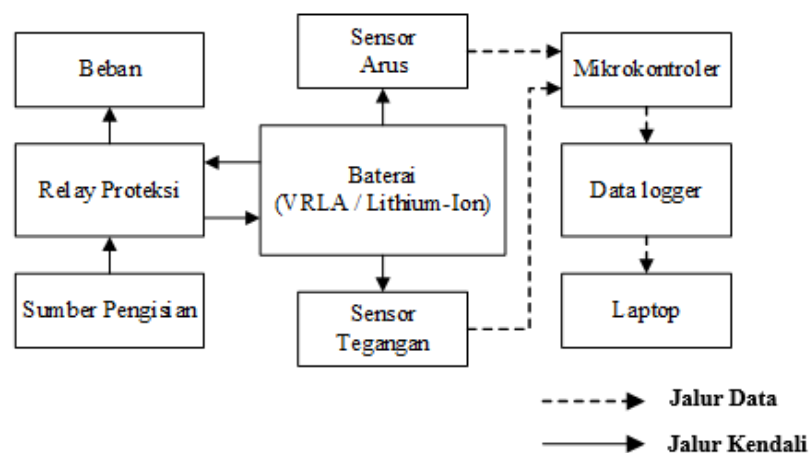


Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem *Data logger*

Diagram blok sistem pada Gambar 3.2 terbagi dalam tiga bagian utama yaitu *input*, *proses*, dan *output*. Pada bagian *input*, digunakan baterai VRLA dan *lithium-ion* sebagai sumber daya, sensor arus ACS712 untuk mengukur arus, sensor tegangan (*voltage divider*) untuk mengukur tegangan, serta modul RTC untuk melacak waktu secara *real-time*. Bagian *proses* menggunakan mikrokontroler ESP32 untuk menerima data dari sensor dan *Real Time Clock* (RTC), memproses data tersebut, dan mengendalikan *relay 2 channel* untuk mengatur pengisian daya. Data yang dikumpulkan oleh ESP32 disimpan dalam kartu SD dalam format Excel. Pada bagian *output*, data ini diekspor ke Matlab untuk perhitungan nilai SOC menggunakan metode *Coulomb Counting* dan untuk menghitung efisiensi baterai. Sistem mampu memonitor dan mengendalikan proses pengisian baterai secara efisien serta melakukan analisis mendalam melalui Matlab.

3.2 Perancangan Sistem

Perancangan sistem ini ditentukan secara keseluruhan agar dapat dijadikan acuan untuk membuat sistem yang diinginkan dan sanggup bekerja dengan maksimal dan optimal. Diagram blok dibuat untuk mempermudah dalam perancangan dan pembuatan alat. Diagram blok perancangan perangkat ditunjukkan dalam Gambar 3.3.



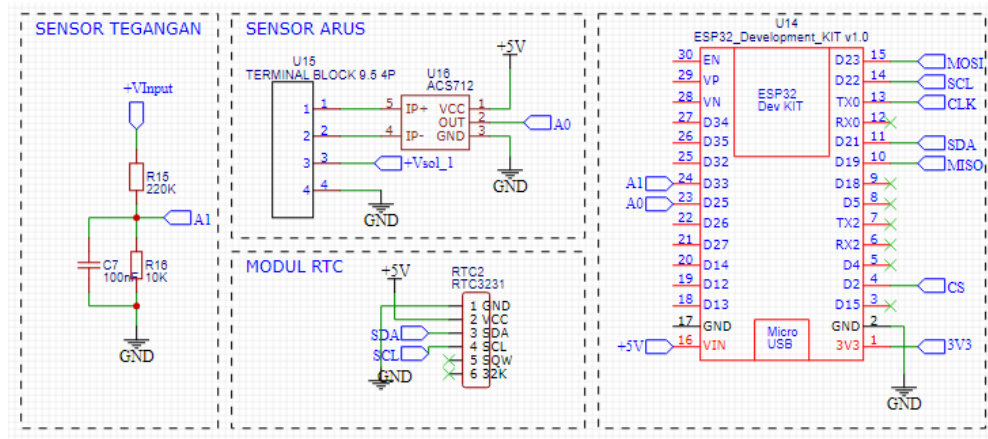
Gambar 3.3 Diagram Blok Perancangan Sistem

Gambar 3.3 menunjukkan perancangan yang berfungsi untuk mendapatkan nilai arus serta tegangan baterai menggunakan sensor dan alat ukur, sensor digunakan untuk mendapatkan nilai arus dan tegangan baterai secara otomatis

sedangkan alat ukur digunakan untuk pembandingan nilai arus dan tegangan baterai yang didapatkan oleh sensor. Hasil nilai yang didapatkan dari sensor dikelola oleh mikrokontroler yang kemudian dikelola oleh laptop menggunakan *software* Matlab.

3.2.1 Rangkaian *Input* Sistem *Data Logger*

Rangkaian *input* sistem *data logger* terdiri dari beberapa sensor yang menangkap proses fisis dan kemudian mengubahnya menjadi besaran listrik. Gambar 3.4 menunjukkan Rangkaian *input* sistem *data logger*.



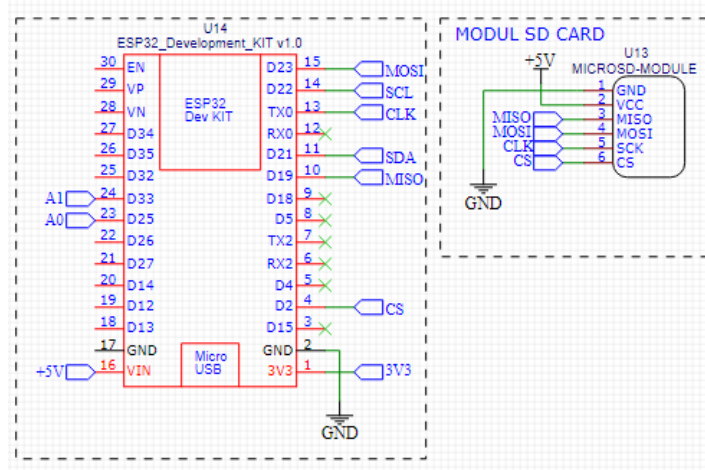
Gambar 3.4 Rangkaian *Input* Sistem *Data Logger*

Gambar 3.4 menunjukkan rangkaian *input* yang terdiri dari sejumlah sensor penting yang berfungsi untuk mengumpulkan data penting tentang kondisi baterai. Salah satu sensor yang digunakan adalah sensor arus ACS712, yang mengukur arus yang mengalir melalui rangkaian. Sensor tegangan mengukur tegangan pada baterai, kedua sensor ini terhubung ke mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pengolahan data.

Selain sensor arus dan tegangan, rangkaian ini juga memiliki modul RTC yang berfungsi untuk menyediakan informasi waktu secara *real-time* dan penting untuk mencatat *timestamp* dari setiap pengukuran yang dilakukan oleh sensor. Modul RTC terhubung ke ESP32 melalui *pin* serial data dan serial *clock* masing-masing. Protokol komunikasi yang digunakan untuk menghubungkan kedua *pin* ini ke ESP32 adalah SDA.

3.2.2 Rangkaian Output Sistem Data Logger

Rangkaian *output* dari *data logger* menyimpan data yang dikumpulkan ke dalam sebuah *SD card*, memungkinkan proses pengambilan data untuk analisis lebih lanjut. Tahapan dalam sistem *output data logger* ini dijelaskan secara rinci pada Gambar 3.5 di bawah.



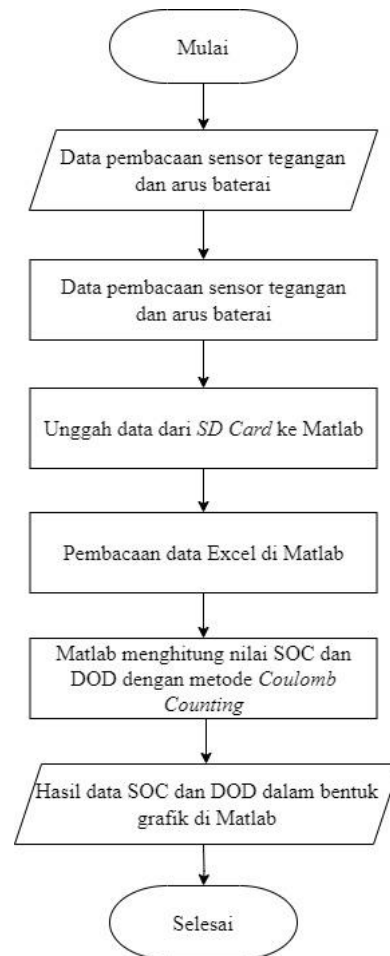
Gambar 3.5 Rangkaian *Output* Sistem *Data Logger*

Gambar 3.5 merupakan proses *output* dimulai dengan ESP32 yang menerima dan memproses data dari berbagai sensor yang terhubung, termasuk sensor arus dan tegangan. Setelah data diproses, ESP32 kemudian menulis data tersebut ke dalam *SD Card*. *SD Card* ini berfungsi sebagai media penyimpanan yang efisien dan mudah diakses untuk menyimpan semua data yang direkam.

Data yang disimpan mencakup nilai tegangan dan arus dari baterai pada setiap interval waktu yang ditentukan oleh modul RTC. Informasi waktu ini penting untuk analisis dan pola penggunaan baterai, setelah data disimpan pada *SD Card*, kartu tersebut dapat dilepas dan data dapat diekstraksi menggunakan komputer untuk analisis lebih lanjut, misalnya menggunakan perangkat lunak seperti Matlab untuk menghitung SOC dan DOD.

3.3 Perancangan Pengolahan Data

Pengolahan data dibagi menjadi dua tahap yaitu pengumpulan data di Excel dan perhitungan nilai SOC dan DOD di Matlab. Data pada Excel dibagi menjadi dua yaitu data baterai VRLA dan data *lithium-ion*. Diagram alir pengolahan data dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram Alir Pengolahan Data

Diagram alir pada Gambar 3.6 menjelaskan proses pengolahan data sensor untuk menentukan SOC dan DOD baterai menggunakan metode *Coulomb Counting*. Proses dimulai dengan pembacaan data dari sensor tegangan dan arus baterai. Data yang diperoleh kemudian diunggah dari *SD Card* ke Matlab. Setelah itu, data tersebut dibaca dalam format Excel di Matlab menggunakan fungsi `xlsread`. Matlab kemudian menghitung nilai SOC dan DOD menggunakan metode *Coulomb Counting* berdasarkan data yang sudah dimasukkan. Hasil perhitungan SOC dan DOD ditampilkan dalam bentuk grafik di Matlab untuk analisis lebih lanjut, tahapan ini berakhir dengan penyajian grafik sebagai hasil.

3.4 Spesifikasi dan Konfigurasi Baterai

Baterai yang dipakai pada penelitian ini ada dua jenis yaitu baterai *lithium-ion* dan VRLA. Kedua baterai ini akan dibandingkan untuk mencari nilai efisiensi di antara kedua baterai dan disimpulkan baterai mana yang lebih efisien.

3.4.1 Baterai *Lithium-ion*

Baterai yang digunakan dalam penelitian adalah baterai jenis *lithium-ion* dengan kapasitas tegangan per sel 3,7 V dan kapasitas arus per sel 2.600 mAh. Jenis baterai *lithium-ion* memiliki spesifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Spesifikasi Baterai *Lithium-ion*

Spesifikasi	
Model seri	TNL-ITR18650-2600P
Nominal kapasitas	2600 mAh
Nominal tegangan	3700 mV
Nominal arus pengisian	520 mA
Nominal arus pengosongan	1300 mA
Maksimal arus pengisian	1300 mA
Maksimal arus pengosongan	7800 mA
Maksimal tegangan pengisian	4200 mV
Maksimal tegangan pengosongan	2750 mV
Batas atas tegangan muatan	4250 mV
Arus <i>taper-off</i>	65 mA

Tabel 3.1 merupakan spesifikasi baterai yang didapat dari data pabrikan dalam kondisi pengujian laboratorium. Konfigurasi baterai dengan spesifikasi baterai tersebut maka diperlukan 3 seri 8 paralel untuk mendapatkan nilai konfigurasi *battery array pack* sebesar 12,6 V dan 20,8 Ah.

3.4.2 Baterai *Valve Regulated Lead Acid (VRLA)*

Penelitian ini menggunakan baterai VRLA dengan tegangan 12 V. Spesifikasi penting yang diperhatikan meliputi kapasitas *Ampere-hour* (Ah) untuk menentukan arus suplai, dimensi fisik untuk penempatan, dan berat total. Waktu pengisian menunjukkan durasi pengisian penuh, sementara efisiensi pengisian dan pengosongan serta umur baterai mempengaruhi kinerja dan ketahanan jangka

panjang. Jenis baterai VRLA memiliki spesifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Spesifikasi Baterai VRLA

Spesifikasi	
Model seri	MAXTROM MS20-12
Nominal kapasitas	20 Ah
Nominal tegangan	12 V
Maksimal arus pengisian	2,7 A
Maksimal arus pengosongan	150 A
Tegangan pengisian	14,0V s.d. 4,80V

Tabel 3.2 menyajikan spesifikasi baterai VRLA yang digunakan dalam penelitian ini. Baterai ini memiliki kapasitas 20 Ah, yang menunjukkan kemampuan penyimpanan energi baterai. Tegangan operasional baterai adalah 12 V, sesuai dengan standar sistem *photovoltaic* yang digunakan. Baterai ini juga dirancang untuk menangani arus pengisian maksimum sebesar 2,7 A, memastikan bahwa proses pengisian dapat dilakukan dengan aman tanpa merusak baterai. Selain itu, baterai ini mampu menangani arus pengosongan maksimum sebesar 150 A, memberikan fleksibilitas dalam penggunaan yang membutuhkan aliran arus tinggi. Spesifikasi ini penting untuk memastikan kinerja dan keandalan baterai dalam aplikasi yang diteliti.

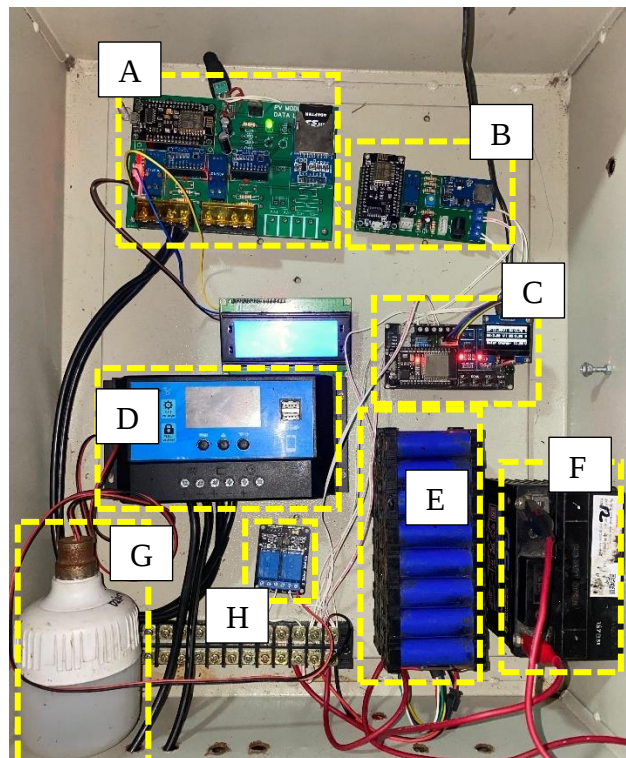
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Alat

Penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem yang dapat merekam perilaku pengisian dan pengosongan 2 buah baterai dengan menggunakan panel surya sebagai sumber energi. Sistem ini menggabungkan beberapa perangkat untuk mencatat data pengisian dan pengosongan baterai guna mengetahui efisiensi proses pengisian dan pengosongan.

Beberapa sensor digunakan dalam penelitian ini untuk memantau parameter baterai seperti tegangan, arus, dan kapasitas. Informasi dari sensor-sensor ini diintegrasikan dalam sistem perekaman data (*data logger*) untuk memantau dan mencatat performa baterai secara keseluruhan. Komponen sistem perekaman data dirancang melalui perangkat lunak khusus untuk menyusun rangkaian yang dibutuhkan. Sistem ini diaplikasikan panel *box* sebagai bagian dari sistem keseluruhan, seperti yang terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Sistem Keseluruhan *Battery Monitoring System*

Gambar 4.1 merupakan tampilan dari keseluruhan sistem yang terdiri dari beberapa komponen penting untuk pengelolaan data daya yang tersimpan pada kotak panel. Gambar tersebut memperlihatkan sistem manajemen daya yang mencakup berbagai komponen penting untuk pemantauan dan pengendalian energi dari sumber surya dan baterai. (A) *Data logger* Panel Surya mengumpulkan data dari panel surya untuk memantau performa energi yang dihasilkan. (B) *Data logger* VRLA mencatat parameter baterai VRLA, dan (C) *data logger lithium-ion* memantau kondisi baterai *lithium-ion*. (D) SCC mengatur pengisian daya dari panel surya ke baterai, memastikan proses pengisian yang aman. (E) Baterai *lithium-ion* dan (F) Baterai VRLA menyimpan energi untuk digunakan saat dibutuhkan, sementara (G) beban lampu DC 12V 25Watt menggunakan daya dari sistem sebagai beban pengujian. (H) *Relay 2 channel* mengendalikan sirkuit untuk distribusi daya ke beban tertentu. Kombinasi komponen ini memungkinkan manajemen energi yang efisien, pemantauan *real-time*, dan pengendalian distribusi daya dalam sistem.

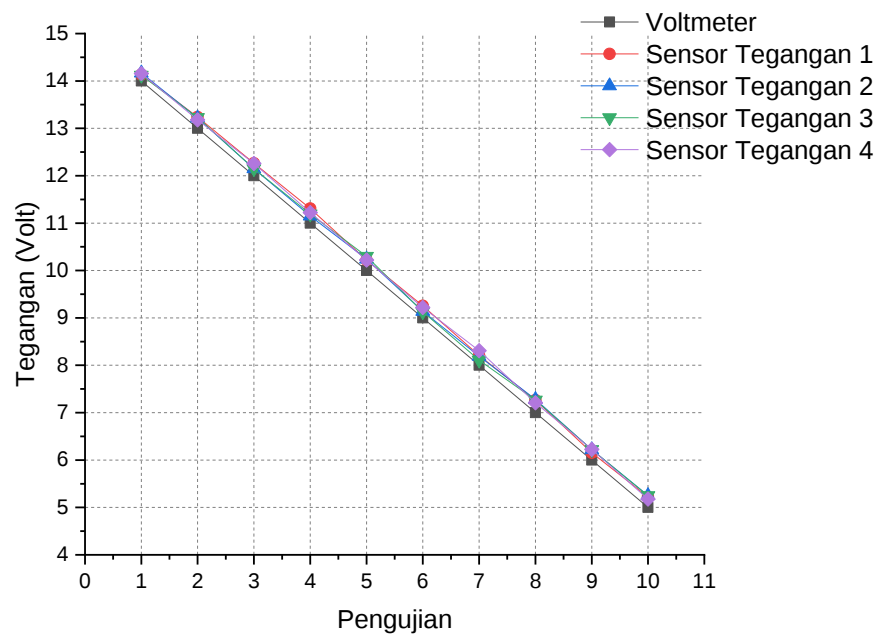
4.2 Pengujian Parsial

Pengujian dilakukan berdasarkan masing-masing bagian komponen pendukung sistem *data logger*, kemudian mengolah dan menganalisis hasilnya. Untuk mencapai kesimpulan, hasil data diperiksa secara teoritis dan digunakan sebagai acuan dalam diskusi. Pengujian parsial dilakukan untuk mengetahui apakah komponen pendukung sistem *data logger* berfungsi dengan baik dan tepat. Pengujian parsial dilakukan pada beberapa komponen penelitian:

1. Pengujian sensor tegangan dilakukan dengan mengetahui apakah nilai yang sensor telah baca sesuai dengan nilai yang diberikan, kemudian diukur menggunakan alat ukur pembanding yaitu multimeter.
2. Pengujian sensor arus dilakukan untuk memastikan akurasi dan keandalan sensor dalam mendeteksi nilai arus yang sebenarnya. Proses pengujian ini dimulai dengan membandingkan nilai arus yang dibaca oleh sensor dengan nilai arus referensi yang diberikan dalam kondisi terkendali. Hasil pembacaan sensor diverifikasi dengan menggunakan alat ukur pembanding, yaitu multimeter yang dikenal memiliki tingkat akurasi tinggi.

4.2.1 Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan berasal dari *power supply* dilakukan menggunakan rangkaian pembagi tegangan untuk menilai akurasi sensor dan alat ukur dalam rentang tegangan 5 V hingga 14 V, dengan perbandingan hasil pembacaan sensor terhadap multimeter sebagai alat ukur pembanding. Hasil mengenai pengujian sensor tegangan dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan Gambar 4.2.



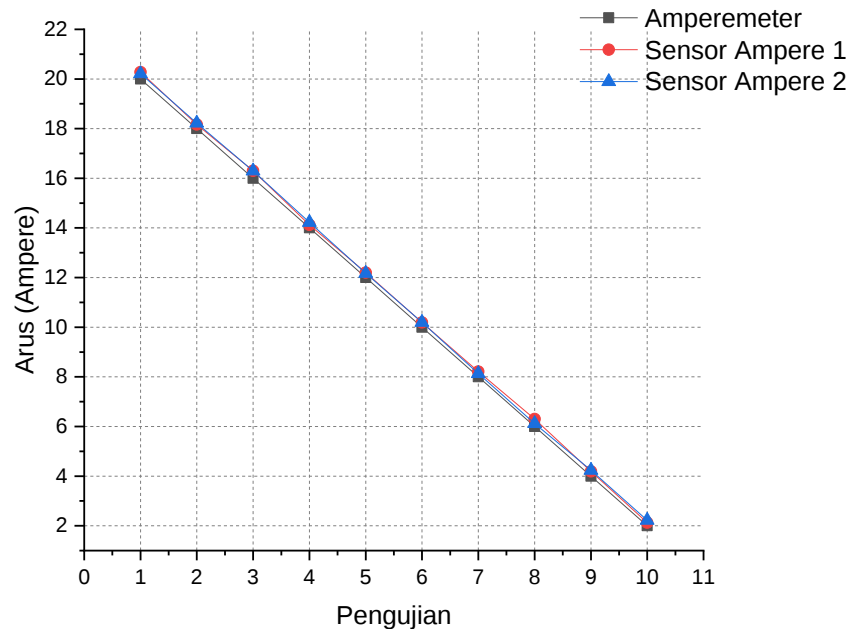
Gambar 4.2 Pengujian Sensor Tegangan

Gambar 4.2 menunjukkan hasil pengujian sensor tegangan, di mana grafik tersebut membandingkan hasil pembacaan sensor dengan multimeter untuk menilai akurasi sensor dalam rentang tegangan 5 V hingga 14 V. Grafik ini memperlihatkan seberapa dekat hasil sensor dengan pembacaan standar, yang penting untuk memastikan keandalan sensor dalam aplikasi seperti sistem *photovoltaic*.

4.2.2 Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor arus ACS712 dilakukan dengan tujuan menilai tingkat akurasi sensor arus dan alat ukur yang digunakan. Pengujian ini sumber arus berasal dari *power supply* dengan rentang arus yang digunakan berkisar antara 2 A hingga 20 A. Pengujian ini membantu memastikan bahwa sensor arus ACS712 mampu

memberikan pembacaan yang akurat dan dapat diandalkan dalam berbagai kondisi arus yang diuji. Hasil mengenai pengujian sensor tegangan dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan Gambar 4.3.



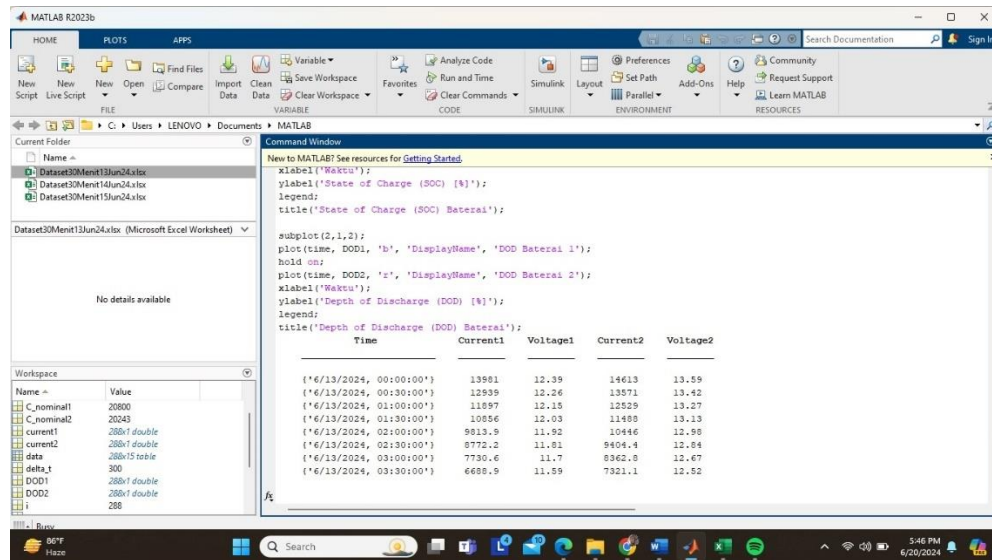
Gambar 4.3 Pengujian Sensor Arus

Gambar 4.3 merupakan hasil pengujian sensor arus ACS712. Berdasarkan grafik tersebut, dapat dilihat nilai perbandingan antara hasil pembacaan sensor dengan hasil pembacaan alat ukur. Grafik ini menunjukkan bagaimana sensor arus ACS712 memiliki performa dalam rentang arus 2 A hingga 20 A, dan memberikan gambaran mengenai tingkat akurasi sensor dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan hasil pembacaan multimeter sebagai alat ukur pembanding. Analisis dari grafik ini membantu dalam menilai keandalan dan ketepatan sensor arus ACS712 dalam kondisi operasional yang berbeda.

4.3 Pengujian Integrasi

Pengujian integrasi dalam analisis perbandingan performa antara baterai VRLA 20 Ah dan baterai *lithium-ion* 20 Ah pada sistem *photovoltaic* merupakan tahap penting dalam evaluasi sistem tenaga surya. Tujuan pengujian ini adalah memastikan bahwa kedua jenis baterai dapat beroperasi secara optimal dalam kondisi operasional yang serupa, serta mengevaluasi efektivitas kinerja masing-masing baterai ketika diintegrasikan dalam sistem *photovoltaic*. Proses ini data

logger diaktifkan secara menyeluruh untuk mengumpulkan data mengenai pengisian daya, pengosongan, dan efisiensi energi dari kedua jenis baterai. Perhitungan menggunakan Matlab dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Perhitungan *Coulomb Counting* Menggunakan Matlab

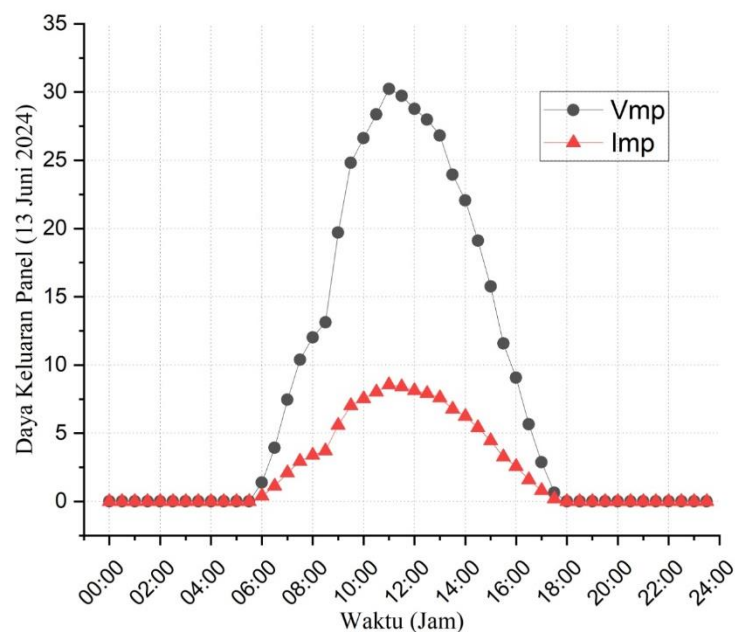
Gambar 4.4 menunjukkan antarmuka Matlab yang digunakan untuk mengolah data pengujian baterai. Data ini diunggah ke Matlab untuk menghasilkan grafik SOC dan DOD, yang memberikan gambaran visual tentang keandalan dan efisiensi baterai VRLA dan *lithium* dalam sistem *photovoltaic*. Grafik tersebut membantu mengevaluasi performa kedua baterai dalam menyimpan dan melepaskan energi, penting untuk menentukan pilihan baterai terbaik dalam aplikasi energi terbarukan.

4.4 Perekaman Data Daya Panel Surya

Data daya panel surya memainkan peran penting dalam memahami respons panel terhadap variasi intensitas cahaya, perubahan tegangan maksimum daya (V_{mp}) dan arus maksimum daya (I_{mp}) di berbagai tingkat pencahayaan, kita dapat menganalisis efisiensi dan kinerja panel surya dalam kondisi lingkungan yang berbeda. Hubungan antara V_{mp} dan I_{mp} memberikan wawasan mengenai titik operasi optimal di mana panel menghasilkan daya maksimal.

Dalam kondisi pencahayaan yang tinggi, umumnya V_{mp} dan I_{mp} meningkat, yang mengarah pada peningkatan daya *output* panel surya. Sebaliknya, pada

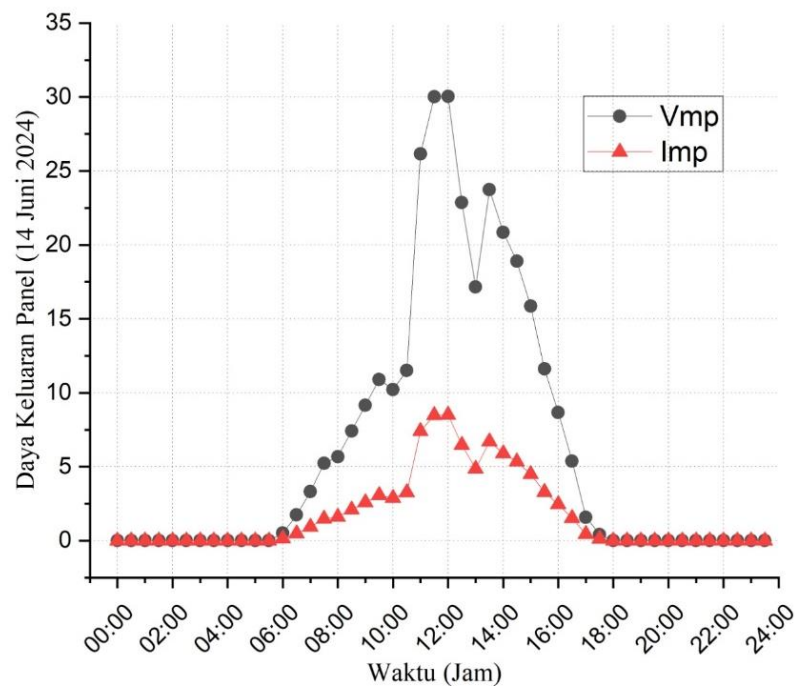
intensitas cahaya yang rendah, penurunan V_{mp} dan I_{mp} dapat terjadi, mengindikasikan berkurangnya *output* daya. Grafik yang menggambarkan dinamika V_{mp} dan I_{mp} seiring waktu atau perubahan intensitas cahaya ini, membantu dalam menentukan parameter operasional yang optimal dan adaptasi sistem *photovoltaic* untuk memaksimalkan efisiensi energi. Analisis ini juga penting untuk mendukung desain sistem yang lebih responsif terhadap fluktuasi lingkungan, sehingga dapat meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi pemanfaatan energi matahari. Grafik data daya keluaran panel pada tanggal 13 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik Data Daya Keluaran Panel pertama

Gambar 4.5 menunjukkan grafik menampilkan data daya keluaran panel pada tanggal 13 Juni 2024 memperlihatkan hubungan antara V_{mp} dan I_{mp} . Pada awal dan akhir data V_{mp} dan I_{mp} konstan pada nilai yang sangat rendah, yaitu 0,004 V dan 0,004 A, yang sesuai dengan kurva hampir datar di awal dan akhir grafik, mencerminkan kondisi dengan intensitas cahaya yang sangat rendah atau saat modul PV tidak aktif. Seiring peningkatan intensitas cahaya atau waktu, kedua nilai mulai meningkat misalnya, V_{mp} mencapai 1,390 V dan I_{mp} 0,396 A, yang terlihat pada grafik sebagai bagian awal dari peningkatan kurva. Nilai-nilai ini terus meningkat hingga mencapai puncaknya pada V_{mp} 30,241 V dan I_{mp} 8,556 A, menandai titik daya *Maximum Power Point* (MPP) di grafik, di mana modul PV

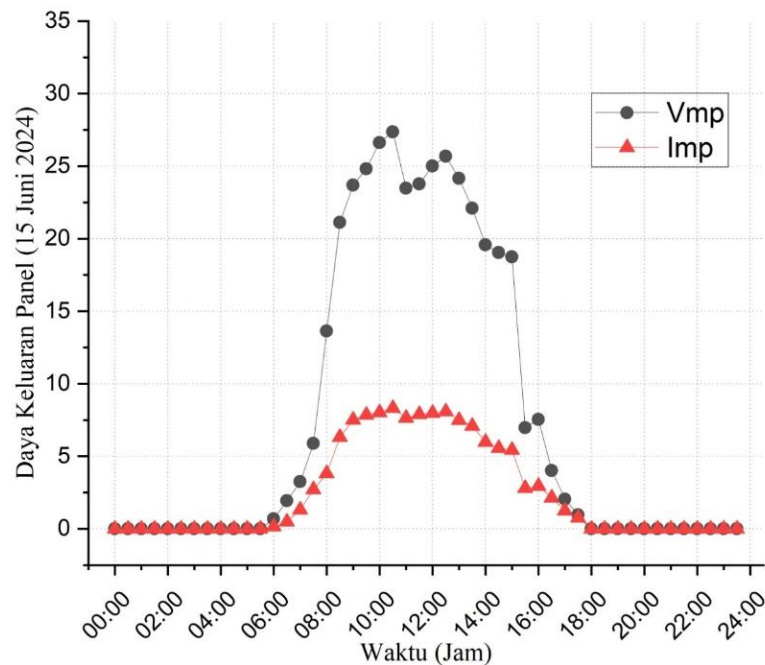
menghasilkan daya maksimum. Setelah mencapai puncak ini, nilai V_{mp} dan I_{mp} menurun secara simetris V_{mp} menurun menjadi 29,725 V dan 28,758 V, sementara I_{mp} menurun menjadi 8,411 A dan 8,137 A sesuai dengan bagian menurun dari kurva di grafik, yang menunjukkan penurunan intensitas cahaya. Grafik menggambarkan kinerja dinamis modul PV sepanjang waktu atau intensitas cahaya, menunjukkan perubahan dari tegangan dan arus yang rendah di awal, peningkatan menuju puncak daya maksimum dan penurunan kembali yang penting untuk optimasi sistem PV, khususnya dalam pengaturan pengendali MPPT untuk mempertahankan operasi modul pada titik daya maksimum meski intensitas cahaya bervariasi. Grafik data daya keluaran panel pada tanggal 14 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Data Daya Keluaran Panel kedua

Gambar 4.6 menunjukkan grafik menampilkan data daya keluaran panel pada tanggal 14 Juni 2024 memperlihatkan hubungan antara tegangan maksimum daya (V_{mp}) dan arus maksimum daya (I_{mp}) dari sebuah modul PV, yang dianalisis melalui grafik. Pada awal data V_{mp} dan I_{mp} konstan pada nilai yang sangat rendah, yaitu 0,004 V dan 0,004 A, mencerminkan kondisi dengan intensitas cahaya yang sangat rendah atau saat modul PV tidak aktif, yang diwakili oleh bagian datar dari

grafik. Seiring peningkatan intensitas cahaya atau waktu, kedua nilai mulai meningkat, dengan V_{mp} mencapai 0,520 V dan I_{mp} 0,150 A pada titik awal peningkatan. Nilai-nilai ini terus meningkat secara progresif, seperti terlihat pada V_{mp} 7,418 V dan I_{mp} 2,101 A, hingga mencapai puncaknya pada V_{mp} 30,048 V dan I_{mp} 8,502 A, yang menandai titik daya MPP pada grafik. Kondisi modul PV menghasilkan daya maksimum, setelah mencapai puncak ini nilai V_{mp} dan I_{mp} mulai menurun, mencerminkan bagian menurun dari kurva di grafik. V_{mp} menurun menjadi 22,859 V dan I_{mp} menjadi 6,468 A, lalu terus menurun hingga mencapai nilai-nilai lebih rendah seperti V_{mp} 0,423 V dan I_{mp} 0,123 A. Penurunan ini sesuai dengan penurunan intensitas cahaya. Secara keseluruhan, grafik menggambarkan kinerja dinamis modul PV sepanjang waktu atau intensitas cahaya, menunjukkan pola perubahan dari tegangan dan arus yang rendah di awal, peningkatan menuju puncak daya maksimum, dan penurunan kembali. Hal ini penting untuk optimasi sistem PV, terutama dalam pengaturan pengendali MPPT, untuk mempertahankan operasi modul pada titik daya maksimum meskipun intensitas cahaya bervariasi. Grafik data daya keluaran panel pada tanggal 15 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.7.



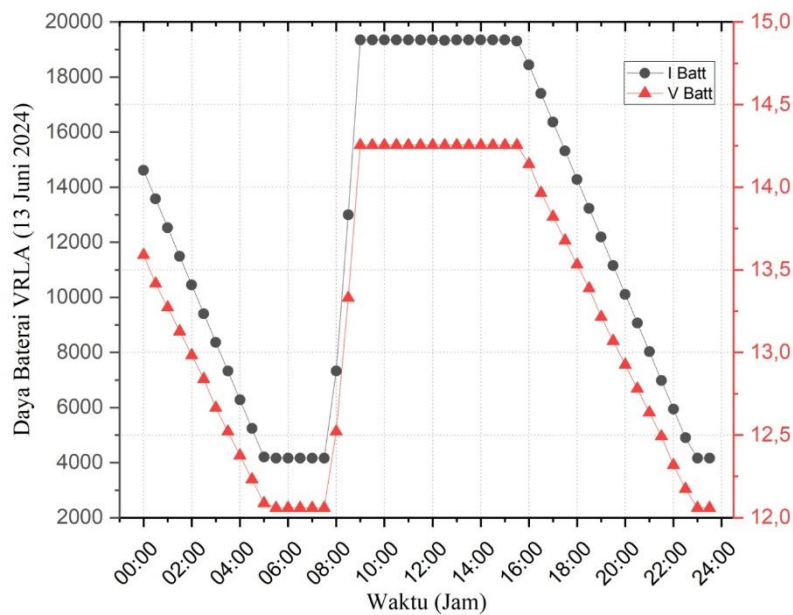
Gambar 4.7 Grafik Data Daya Keluaran Panel ketiga

Gambar 4.7 menunjukkan grafik menampilkan data daya keluaran panel pada tanggal 15 Juni 2024 memperlihatkan hubungan antara V_{mp} dan I_{mp} dari sebuah modul PV pada berbagai tingkat intensitas cahaya atau waktu dalam satu hari. Pada awal dan akhir pengukuran, nilai V_{mp} dan I_{mp} konstan pada 0,004 V dan 0,004 A. Kondisi ketika modul PV tidak aktif atau ketika intensitas cahaya sangat rendah, yang terlihat dalam kurva sebagai bagian datar di awal dan akhir grafik.

Seiring dengan peningkatan intensitas cahaya, nilai V_{mp} dan I_{mp} pada modul PV mengalami kenaikan. Pada tahap awal, V_{mp} mencapai 0,520 V dan I_{mp} 0,150 A, yang kemudian meningkat menjadi 7,418 V dan 2,101 A, menunjukkan efektivitas modul PV dalam memanfaatkan cahaya. Puncak kinerja tercapai pada V_{mp} 30,048 V dan I_{mp} 8,502 A, yang merupakan titik daya maksimum MPP dari modul PV. Setelah mencapai puncak, V_{mp} dan I_{mp} mulai menurun seiring dengan menurunnya intensitas cahaya, misalnya turun menjadi 22,859 V dan 6,468 A, hingga akhirnya mencapai nilai rendah seperti 0,423 V dan 0,123 A, menandakan penurunan kinerja modul PV.

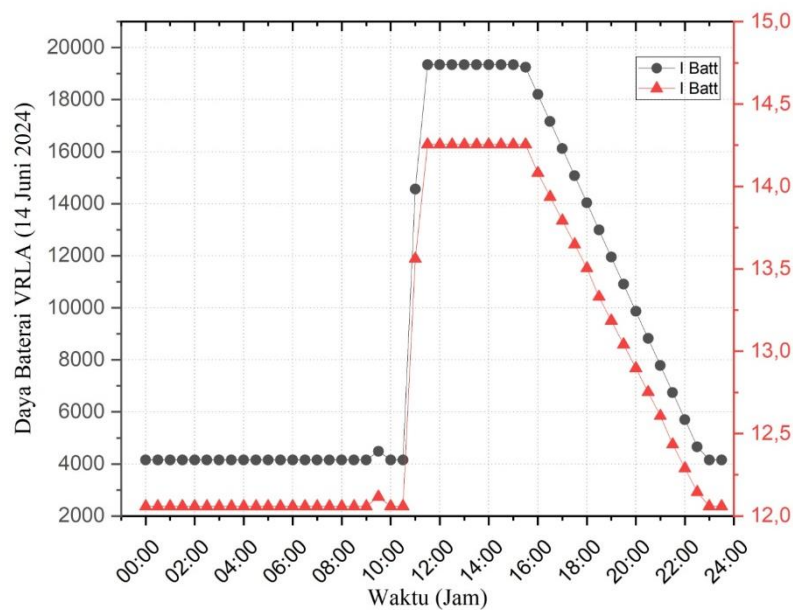
4.5 Perekaman Data Pengisian dan Pengosongan Baterai VRLA

Selama periode tanggal 13 hingga 15 Juni 2024, dilakukan pengamatan intensif terhadap kinerja baterai VRLA dalam sistem *photovoltaic*. Data yang dikumpulkan mencakup durasi waktu yang diperlukan untuk mengisi baterai VRLA dari tingkat awal hingga mencapai kapasitas penuh. Pengukuran juga dilakukan terhadap waktu yang diperlukan untuk pengosongan baterai, yaitu dari kondisi penuh hingga mencapai tingkat tertentu selama siklus harian. Pemantauan dilakukan secara kontinu selama 72 jam untuk mendapatkan gambaran yang akurat mengenai efisiensi proses pengisian dan pengosongan, serta untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi performa baterai dalam kondisi operasional yang berbeda-beda. Data ini penting untuk mengevaluasi seberapa baik baterai VRLA dapat mempertahankan kapasitas dan kinerja energinya dalam penggunaan harian pada sistem PV. Grafik data daya baterai VRLA pada tanggal 13 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.8.



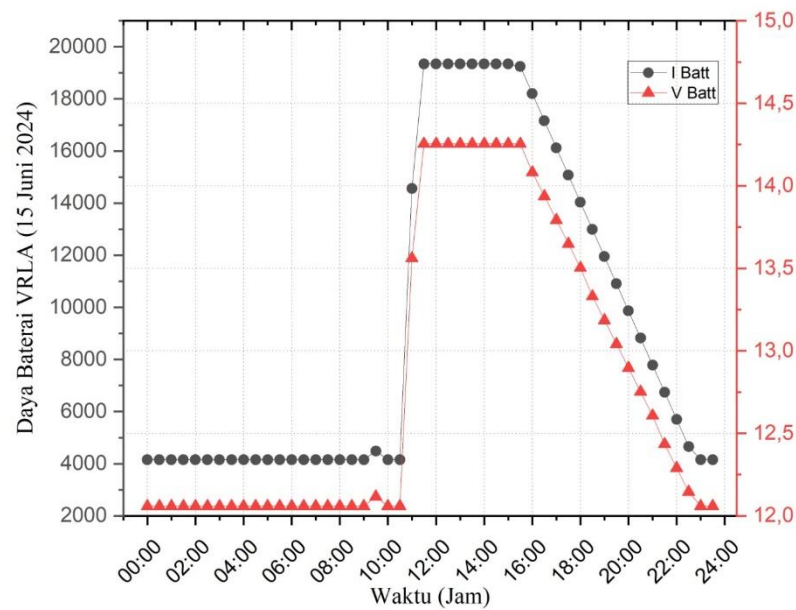
Gambar 4.8 Grafik Data Daya Baterai VRLA pertama

Gambar 4.8 menunjukkan grafik pada tanggal 13 Juni 2024, pola penggunaan dan pengisian baterai VRLA terlihat jelas. Pukul 00:00 hingga 08:00, terjadi pengosongan baterai di mana arus menurun dari 14612,76 mAh hingga mencapai 4156 mAh, sementara tegangan turun dari 13,59 V ke 12,06 V. Selama periode ini, baterai mengalami pengosongan yang signifikan. Pada pukul 08:00 hingga 10:00, arus dan tegangan stabil di 4156 mAh dan 12,06 V, hal ini menunjukkan periode baterai tidak digunakan secara intensif. Periode pengisian yang terjadi dari pukul 10:00 hingga 14:00, arus naik tajam dari 4156 mAh ke 19345 mAh, dan tegangan naik dari 12,06 V ke 14,26 V, kondisi ini menunjukkan pengisian daya yang efisien. Pukul 14:00 hingga 18:00, arus dan tegangan stabil di 19345 mAh dan 14,26 V, menandakan bahwa baterai telah terisi penuh dan siap untuk digunakan kembali. Pada malam hari, dari pukul 18:00 hingga 00:00 arus baterai menurun dari 19.345 mAh menjadi 4.156 mAh, sementara tegangan turun dari 14,26 V ke 12,06 V. Penurunan ini menunjukkan pengosongan daya baterai akibat penggunaan energi selama periode tersebut. Arus yang menurun mencerminkan berkurangnya jumlah energi yang tersimpan, dan tegangan yang menurun menandakan bahwa baterai semakin mendekati kondisi pelepasan penuh, hal ini menunjukkan pengosongan daya akibat penggunaan. Grafik data daya baterai VRLA pada tanggal 14 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik Data Daya Baterai VRLA kedua

Gambar 4.9 menunjukkan grafik pada tanggal 14 Juni 2024, pola pengosongan dan pengisian baterai VRLA mengikuti siklus yang mirip dengan hari sebelumnya. Pukul 00:00 hingga 08:00 nilai arus dan tegangan stabil pada 4156 mAh dan 12,06 V menunjukkan periode baterai tidak digunakan secara intensif. Pada pukul 08:00 hingga 10:00 nilai arus dan tegangan tetap stabil, mengindikasikan bahwa baterai masih dalam kondisi siap digunakan. Pukul 10:00 hingga 14:00, terjadi peningkatan arus dari 4156 mAh ke 19345 mAh dan tegangan dari 12,06 V ke 14,26 V, hal ini yang menunjukkan pengisian daya yang efisien. Setelah baterai terisi penuh, dari pukul 14:00 hingga 18:00 arus dan tegangan stabil di 19345 mAh dan 14,26 V. Pada malam hari, dari pukul 18:00 hingga 00:00, arus dan tegangan menurun menjadi 4156 mAh dan 12,06 V. Penurunan ini menunjukkan bahwa energi dalam baterai sedang digunakan untuk memenuhi kebutuhan sistem selama tidak ada sinar matahari. Pola ini konsisten dengan siklus harian sebelumnya, di mana baterai mengisi daya pada siang hari dan mengosongkannya pada malam hari. Kondisi ini menunjukkan bahwa baterai bekerja dengan baik dalam mendukung kebutuhan energi selama malam hari. Grafik data daya baterai VRLA pada tanggal 15 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.10.

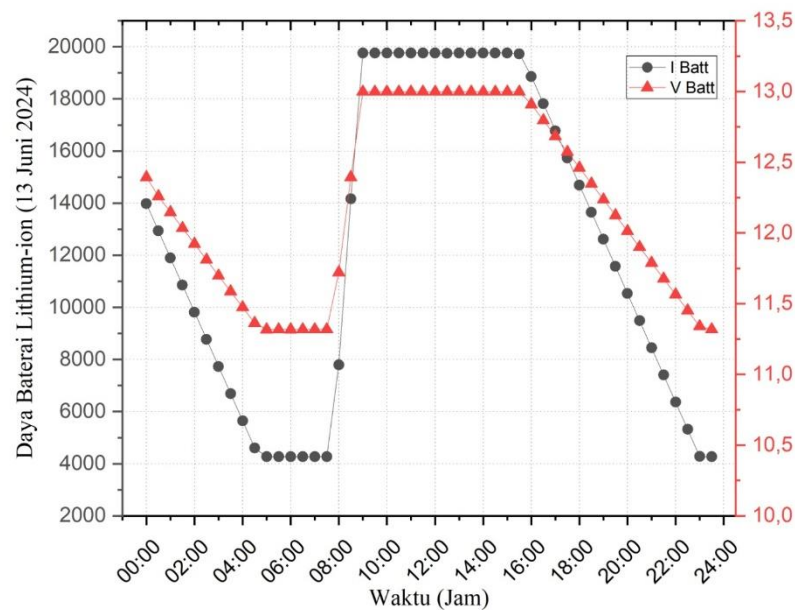


Gambar 4.10 Grafik Data Daya Baterai VRLA ketiga

Gambar 4.10 menunjukkan grafik pada tanggal 15 Juni 2024, baterai VRLA kembali menunjukkan pola siklus harian yang serupa. Pukul 00:00 hingga pukul 08:00, arus dan tegangan stabil di 4156 mAh dan 12,06 V, menunjukkan bahwa baterai berada dalam kondisi siap digunakan namun tidak digunakan secara intensif. Pukul 08:00 hingga pukul 10:00, arus dan tegangan tetap stabil, menunjukkan konsistensi dalam penggunaan daya. Pukul 10:00 hingga pukul 14:00, terjadi peningkatan arus dari 4156 mAh ke 19345 mAh dan tegangan dari 12,06 V ke 14,26 V, menunjukkan proses pengisian daya yang efisien dan cepat. Setelah pengisian, dari pukul 14:00 hingga 18:00, arus dan tegangan stabil di 19345 mAh dan 14,26 V, menandakan bahwa baterai siap untuk digunakan kembali. Pada malam hari, dari pukul 18:00 hingga 00:00, arus dan tegangan kembali menurun ke 4156 mAh dan 12,06 V mengikuti pola pengosongan yang konsisten setiap harinya.

4.6 Perekaman Data Pengisian dan Pengosongan Baterai *Lithium-ion*

Selama periode tanggal 13 hingga 15 Juni 2024, dilakukan pengumpulan data mengenai durasi pengisian baterai *lithium-ion* dari tingkat awal hingga mencapai kapasitas penuh, serta waktu yang diperlukan untuk pengosongan baterai dari kondisi penuh hingga tingkat tertentu selama periode 72 jam. Grafik data daya baterai *lithium-ion* pada tanggal 13 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.11.

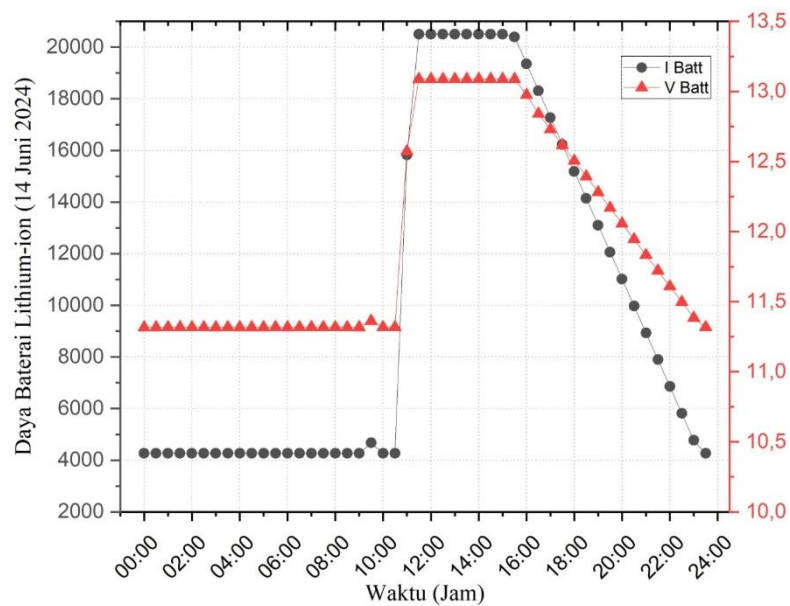


Gambar 4.11 Grafik Data Daya Baterai *Lithium-ion* pertama

Gambar 4.11 menunjukkan grafik pada tanggal 13 Juni 2024, pola penggunaan dan pengisian baterai *lithium-ion* mengikuti siklus harian yang khas. Dimulai dari pukul 00:00 hingga 08:00, grafik menunjukkan penurunan arus dari sekitar 14612,76 mA ke 4156 mA dan tegangan baterai dari 13,59 V ke 12,06 V. Penurunan ini mengindikasikan pengosongan baterai yang signifikan karena penggunaan daya selama malam hari. Pukul 08:00 hingga 10:00, baik arus maupun tegangan stabil di sekitar 4156 mA dan 12,06 V, yang menunjukkan bahwa baterai tidak digunakan secara intensif atau berada dalam kondisi relatif tidak aktif. Selama periode ini, tidak ada pengisian daya yang berarti, yang mencerminkan stabilitas dalam penggunaan daya.

Periode pengisian daya berlangsung dari pukul 10:00 hingga 14:00. Selama waktu ini, arus meningkat tajam dari 4156 mA ke 19345 mA, dan tegangan naik dari 12,06 V ke 14,26 V. Kenaikan ini menunjukkan bahwa baterai sedang diisi dengan efisiensi tinggi, menandakan pemulihan daya yang signifikan untuk digunakan di kemudian waktu. Pukul 14:00 hingga 18:00, arus dan tegangan tetap stabil di 19345 mA dan 14,26 V, menandakan bahwa baterai telah terisi penuh dan siap digunakan kembali. Stabilitas ini menunjukkan bahwa proses pengisian telah selesai, dan baterai berada dalam kondisi optimal untuk penyimpanan energi.

Pada malam hari, dari pukul 18:00 hingga 00:00, terjadi kembali penurunan arus dari 19345 mA ke 4156 mA dan tegangan dari 14,26 V ke 12,06 V. Penurunan ini menunjukkan penggunaan baterai selama malam hari, sesuai dengan pola pengosongan daya yang terlihat di awal hari. Grafik ini memberikan wawasan tentang siklus harian dari pengosongan hingga pengisian baterai, yang penting untuk manajemen daya yang efektif. Grafik data daya baterai *lithium-ion* pada tanggal 14 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik Data Daya Baterai *Lithium-ion* kedua

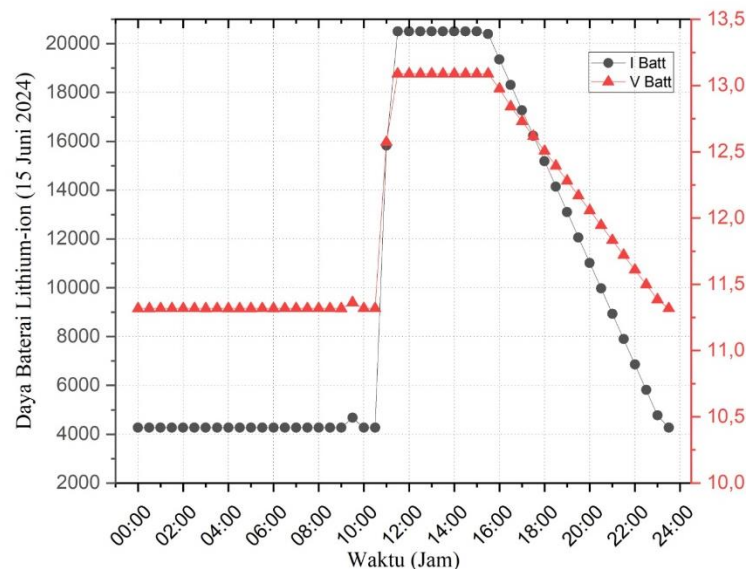
Gambar 4.12 menunjukkan grafik pada tanggal 14 Juni 2024, pola pengosongan dan pengisian baterai *lithium-ion* mirip dengan pola yang diamati pada tanggal 13 Juni. Grafik menunjukkan arus dan tegangan baterai pada interval waktu yang berbeda. Pukul 00:00 hingga 08:00, baik arus dan tegangan stabil di sekitar 4156 mA dan 12,06 V. Periode ini menandakan baterai tidak digunakan secara intensif, mungkin karena beban daya yang rendah atau tidak adanya penggunaan daya yang signifikan.

Pada pukul 08:00 hingga 10:00, arus dan tegangan tetap stabil, mencerminkan bahwa tidak ada perubahan signifikan dalam penggunaan daya atau kondisi baterai. Ini menunjukkan kondisi stabil di mana baterai siap digunakan. Selama periode dari pukul 10:00 hingga 14:00, terjadi peningkatan tajam pada arus dari 4156 mA ke 19345 mA dan tegangan dari 12,06 V ke 14,26 V. Kenaikan ini menandakan fase

pengisian yang efisien, dengan baterai yang diisi daya dengan cepat hingga mencapai kapasitas maksimum.

Setelah pukul 14:00, baik arus maupun tegangan stabil di 19345 mA dan 14,26 V hingga pukul 18:00, menunjukkan bahwa baterai telah terisi penuh dan dalam kondisi siap untuk digunakan. Stabilitas ini mencerminkan bahwa pengisian telah selesai dan baterai berada dalam kondisi optimal.

Pada malam hari, pukul 18:00 hingga 00:00, arus dan tegangan menurun kembali ke 4156 mA dan 12,06 V. Penurunan ini menandakan bahwa baterai digunakan kembali, mengikuti pola pengosongan yang serupa dengan hari sebelumnya. Grafik data daya baterai *lithium-ion* pada tanggal 15 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Grafik Data Daya Baterai *Lithium-ion* ketiga

Gambar 4.13 menunjukkan grafik pada tanggal 15 Juni 2024, grafik menunjukkan pola penggunaan dan pengisian baterai *lithium-ion* yang khas, mengikuti siklus harian. Pukul 00:00 hingga sekitar pukul 08:00, arus tetap stabil di sekitar 4000 mA dan tegangan baterai berada di sekitar 10,8 V. Stabilitas ini menunjukkan bahwa selama periode ini, baterai tidak mengalami penggunaan atau pengisian yang signifikan.

Pada pukul 08:00 hingga 10:00, terjadi peningkatan tajam dalam arus dan tegangan baterai. Arus meningkat dari sekitar 4000 mA ke 18000 mA, sementara

tegangan naik dari sekitar 10.8 V ke 13.2 V. Peningkatan ini menandakan awal dari proses pengisian daya, di mana modul PV mulai menghasilkan daya lebih banyak akibat peningkatan intensitas cahaya.

Pukul 10:00 hingga 14:00, baik arus maupun tegangan mencapai puncaknya dan tetap stabil di sekitar 18000 mA dan 13.2 V. Stabilitas ini menunjukkan bahwa baterai sedang diisi dengan efisiensi tinggi dan berada dalam kondisi pengisian optimal. Periode ini menandakan bahwa baterai sedang diisi dengan kapasitas penuh untuk mempersiapkan penggunaan di malam hari.

Mulai pukul 14:00 hingga 18:00, arus dan tegangan mulai menurun secara bertahap. Arus menurun dari 18000 mA ke sekitar 4000 mA, dan tegangan turun dari 13.2 V ke sekitar 11.0 V. Penurunan ini mengindikasikan berkurangnya intensitas cahaya dan penggunaan daya dari baterai untuk berbagai keperluan selama sore hingga malam hari.

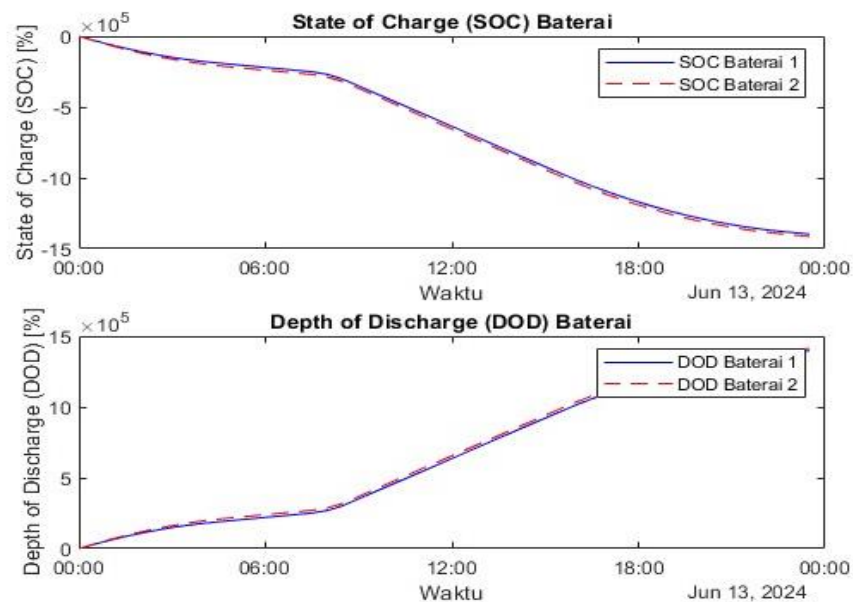
Pukul 18:00 hingga 00:00, arus dan tegangan terus menurun hingga mencapai nilai terendah di sekitar 4000 mA dan 10.8 V. Penurunan ini menunjukkan penggunaan baterai selama malam hari, mengindikasikan pengosongan daya yang konsisten dengan siklus harian penggunaan dan pengisian baterai VRLA. Grafik ini memberikan gambaran yang jelas tentang siklus harian dari pengosongan hingga pengisian baterai, yang penting untuk manajemen daya yang efektif.

4.7 Perhitungan *Coulomb Counting* Data Baterai

Pola pengisian dan penggunaan baterai VRLA dan baterai *lithium-ion* berdasarkan grafik yang diambil pada tanggal 13 Juni 2024 dan 15 Juni 2024. Analisis ini memberikan wawasan tentang siklus harian dari pengisian hingga pengosongan baterai, serta efektivitas manajemen daya yang diterapkan. Data yang ditampilkan dalam grafik tersebut mencerminkan fluktuasi arus dan tegangan selama total periode 72 jam, yang diukur menggunakan metode *Coulomb Counting*. Metode ini memungkinkan pemantauan yang akurat terhadap SOC dan DOD dari kedua jenis baterai, yang diperoleh dari perhitungan menggunakan MATLAB. Analisis ini sangat penting untuk memastikan kinerja optimal dan umur panjang dari sistem penyimpanan energi, terutama dalam aplikasi yang memerlukan keandalan tinggi seperti pada sistem *photovoltaic*, dengan memahami nilai SOC

dan DOD, dapat mengelola penggunaan baterai secara lebih efisien, menghindari kondisi *overcharge* atau *overdischarge* yang dapat merusak sel-sel baterai, dan akhirnya memperpanjang masa pakai baterai. Selain itu, pemantauan yang akurat terhadap SOC dan DOD memungkinkan optimisasi strategi pengisian dan pengosongan, yang pada gilirannya akan meningkatkan keseluruhan efisiensi sistem energi.

Hasil perhitungan SOC dan DOD yang diambil pada tanggal 13 Juni 2024, memberikan gambaran yang jelas tentang performa baterai dalam kondisi operasional tertentu. Analisis ini penting untuk memastikan kinerja optimal dan umur panjang dari sistem penyimpanan energi. Hasil perhitungan SOC dan DOD pada tanggal 13 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.14.



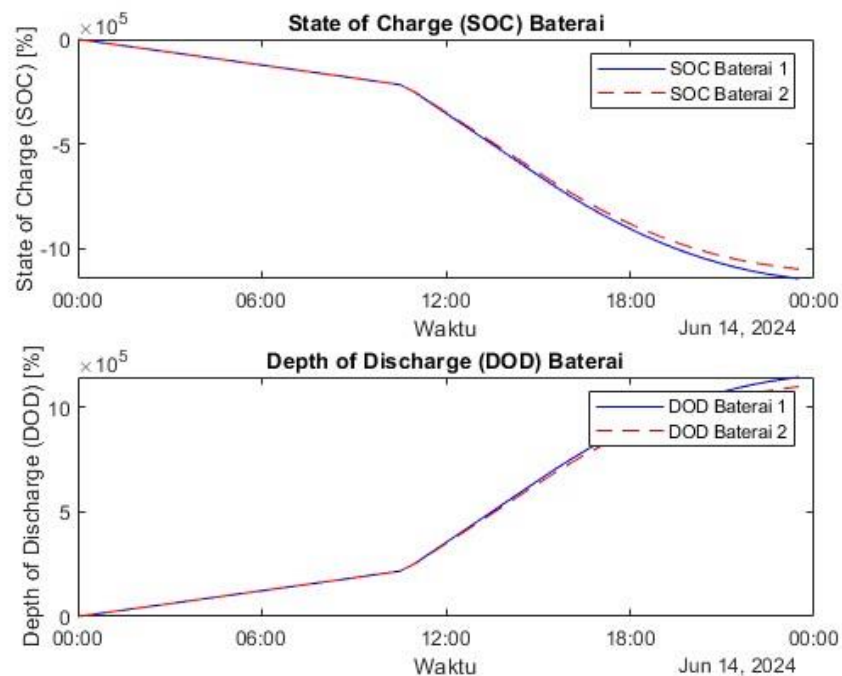
Gambar 4.14 Hasil Perhitungan SOC dan DOD pertama

Gambar 4.14 menunjukkan grafik pada tanggal 13 Juni 2024, pola penggunaan dan pengisian baterai VRLA (Baterai 1) mengikuti siklus harian yang khas. Dimulai dari pukul 00:00 hingga 08:00, grafik menunjukkan penurunan arus (I_{Batt}) dari sekitar 14612,76 mA ke 4156 mA dan tegangan baterai dari 13,59 V ke 12,06 V. Penurunan ini mengindikasikan pengosongan baterai yang signifikan karena penggunaan daya selama malam hari. Pada pukul 08:00 hingga 10:00, baik arus maupun tegangan stabil di sekitar 4156 mA dan 12,06 V, yang menunjukkan bahwa baterai tidak digunakan secara intensif atau berada dalam kondisi yang

relatif tidak aktif. Selama periode ini, tidak ada pengisian daya yang berarti, yang mencerminkan stabilitas dalam penggunaan daya.

Periode pengisian daya berlangsung dari pukul 10:00 hingga 14:00. Selama waktu ini, arus meningkat tajam dari 4156 mA ke 19345 mA, dan tegangan naik dari 12,06 V ke 14,26 V. Kenaikan ini menunjukkan bahwa baterai sedang diisi dengan efisiensi tinggi, menandakan pemulihan daya yang signifikan untuk digunakan di kemudian waktu.

Pukul 14:00 hingga 18:00, arus dan tegangan tetap stabil di 19345 mA dan 14,26 V, menandakan bahwa baterai telah terisi penuh dan siap digunakan kembali. Stabilitas ini menunjukkan bahwa proses pengisian telah selesai, dan baterai berada dalam kondisi optimal untuk penyimpanan energi. Pada malam hari, dari pukul 18:00 hingga 00:00, terjadi kembali penurunan arus dari 19345 mA ke 4156 mA dan tegangan dari 14,26 V ke 12,06 V. Penurunan ini menunjukkan penggunaan baterai selama malam hari, sesuai dengan pola pengosongan daya yang terlihat di awal hari. Hasil perhitungan SOC dan DOD pada tanggal 14 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.15.

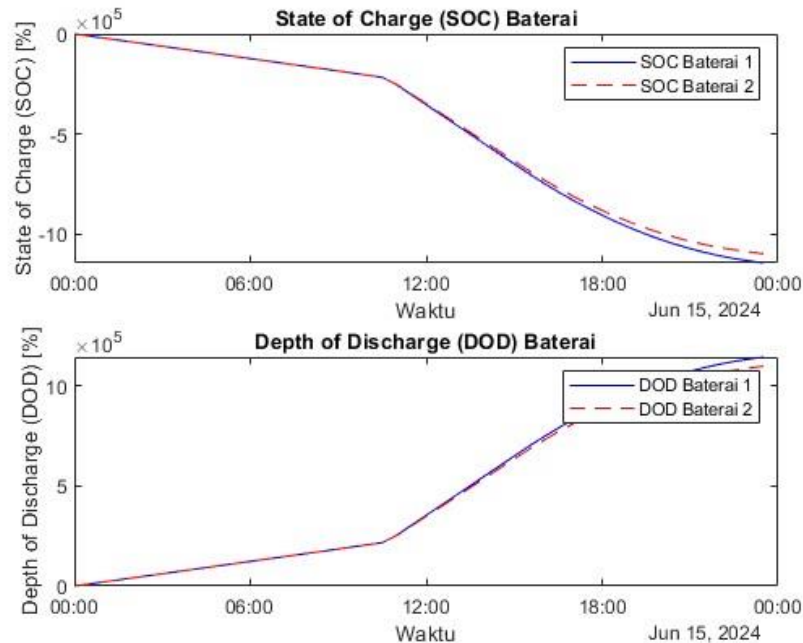


Gambar 4.15 Hasil Perhitungan SOC dan DOD kedua

Gambar 4.15 menunjukkan grafik pada tanggal 14 Juni 2024, grafik menunjukkan pola penggunaan dan pengisian baterai *lithium-ion* (Baterai 2) yang khas, mengikuti siklus harian. Dari pukul 00:00 hingga sekitar pukul 08:00, arus tetap stabil di sekitar 4000 mA dan tegangan baterai berada di sekitar 10.8 V. Stabilitas ini menunjukkan bahwa selama periode ini, baterai tidak mengalami penggunaan atau pengisian yang signifikan. Pada pukul 08:00 hingga 10:00, terjadi peningkatan tajam dalam arus dan tegangan baterai. Arus meningkat dari sekitar 4000 mA ke 18000 mA, sementara tegangan naik dari sekitar 10.8 V ke 13.2 V. Peningkatan ini menandakan awal dari proses pengisian daya, di mana modul PV mulai menghasilkan daya lebih banyak akibat peningkatan intensitas cahaya. Dari pukul 10:00 hingga 14:00, baik arus maupun tegangan mencapai puncaknya dan tetap stabil di sekitar 18000 mA dan 13.2 V. Stabilitas ini menunjukkan bahwa baterai sedang diisi dengan efisiensi tinggi dan berada dalam kondisi pengisian optimal. Periode ini menandakan bahwa baterai sedang diisi dengan kapasitas penuh untuk mempersiapkan penggunaan di malam hari.

Pukul 14:00 hingga 18:00, arus dan tegangan mulai menurun secara bertahap. Arus menurun dari 18000 mA ke sekitar 4000 mA, dan tegangan turun dari 13.2 V ke sekitar 11.0 V. Penurunan ini mengindikasikan berkurangnya intensitas cahaya dan penggunaan daya dari baterai untuk berbagai keperluan selama sore hingga malam hari. Pukul 18:00 hingga 00:00, arus dan tegangan terus menurun hingga mencapai nilai terendah di sekitar 4000 mA dan 10.8 V. Penurunan tersebut mencerminkan penggunaan energi dari baterai selama periode malam hari, ketika tidak ada suplai daya dari panel surya, hal ini mengindikasikan bahwa baterai *lithium-ion* mengalami pengosongan daya yang konsisten dengan pola siklus harian, yaitu proses pengisian ulang pada siang hari dan pengosongan pada malam hari. Pada tanggal 15 Juni 2024, analisis perhitungan SOC dan DOD memberikan wawasan mendalam mengenai dinamika penggunaan energi yang tersimpan dalam baterai *lithium-ion*. Proses ini menggambarkan bagaimana baterai secara bertahap melepaskan energinya sepanjang malam, mengikuti pola penggunaan yang biasa terjadi saat tidak ada pasokan dari sumber energi surya. SOC mengukur persentase energi yang tersisa di dalam baterai, sedangkan DOD menunjukkan sejauh mana baterai telah dikosongkan. Seiring dengan berjalannya waktu, nilai SOC akan

menurun hingga mencapai titik tertentu, yang kemudian menandakan bahwa baterai perlu diisi kembali. Hasil perhitungan SOC dan DOD pada tanggal 15 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Hasil Perhitungan SOC dan DOD ketiga

Gambar 4.16 menunjukkan grafik pada tanggal 15 Juni 2024, grafik SOC dan DOD memberikan wawasan yang mendalam tentang bagaimana baterai VRLA (Baterai 1) dan baterai *lithium-ion* (Baterai 2) beroperasi sepanjang hari. Grafik ini membantu kita memahami pola pengisian dan pengosongan dari kedua jenis baterai tersebut.

Baterai VRLA, pengamatan dimulai dari pukul 00:00 hingga 08:00, di mana SOC menurun secara bertahap dari sekitar 100% ke 70%. Selama periode ini, DOD meningkat dari 0% ke sekitar 30%, menunjukkan penggunaan energi yang signifikan sepanjang malam, mungkin untuk penerangan atau beban kontinu lainnya. Dari pukul 08:00 hingga 10:00, SOC dan DOD tetap stabil, masing-masing di sekitar 70% dan 30%, yang mengindikasikan bahwa baterai tidak digunakan secara intensif atau mungkin sedang berada dalam mode siaga. Kemudian, dari pukul 10:00 hingga 14:00, terjadi peningkatan signifikan pada SOC dari 70% hingga mendekati 100%, dan DOD menurun dari 30% kembali ke 0%. Ini menunjukkan bahwa baterai sedang diisi ulang dengan efisiensi tinggi,

memungkinkan pemulihan energi yang cepat dari penggunaan sebelumnya. Setelah pengisian, dari pukul 14:00 hingga 18:00, SOC tetap berada di sekitar 100% dan DOD di 0%, menunjukkan bahwa baterai telah terisi penuh dan siap untuk digunakan. Pada malam hari, dari pukul 18:00 hingga 00:00, SOC kembali menurun dari 100% ke sekitar 70% dan DOD meningkat dari 0% ke 30%, yang menunjukkan pola penggunaan energi malam hari yang serupa dengan awal hari.

Sebaliknya, untuk baterai *lithium-ion*, grafik menunjukkan penurunan SOC yang lebih tajam dari 100% ke sekitar 50% antara pukul 00:00 hingga 08:00, dengan DOD meningkat dari 0% ke 50%. Ini menandakan penggunaan energi yang lebih intensif, mungkin untuk aplikasi yang memerlukan daya tinggi. Dari pukul 08:00 hingga 10:00, SOC dan DOD tetap stabil di sekitar 50%, menunjukkan penggunaan yang ringan atau periode siaga. Selanjutnya, pengisian daya dari pukul 10:00 hingga 14:00 memperlihatkan peningkatan SOC yang cepat dari 50% hingga hampir 100%, dan DOD menurun dari 50% kembali ke 0%, menunjukkan bahwa baterai diisi dengan sangat efisien. Setelah pengisian, dari pukul 14:00 hingga 18:00, SOC tetap di sekitar 100% dan DOD di 0%, menunjukkan bahwa baterai dalam kondisi optimal untuk penyimpanan energi. Akhirnya, dari pukul 18:00 hingga 00:00, SOC baterai *lithium-ion* kembali menurun dengan cepat dari 100% ke sekitar 50%, dan DOD meningkat dari 0% ke 50%, menandakan penggunaan signifikan pada malam hari.

Secara keseluruhan, grafik ini mengungkapkan perbedaan penting dalam pola pengisian dan pengosongan antara baterai VRLA dan baterai *lithium-ion*. Baterai VRLA menawarkan stabilitas dengan perubahan yang lebih lambat dan konsisten, menjadikannya ideal untuk aplikasi yang membutuhkan daya yang berkelanjutan dan stabil. Baterai *lithium-ion* menunjukkan dinamika yang lebih cepat dalam pengisian dan pengosongan, yang sesuai untuk aplikasi yang memerlukan respons cepat dan efisiensi energi yang tinggi. Pemahaman mendalam tentang siklus harian ini sangat penting untuk manajemen daya yang efektif dan optimalisasi penggunaan baterai dalam berbagai aplikasi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengelolaan data dan analisis pada penelitian dengan judul Analisis Perbandingan *Integrated Performa Baterai VRLA 20 Ah* dengan Baterai *Lithium-ion 20 Ah* pada *Photovoltaic System* didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan sistem pencatatan data arus dan tegangan yang dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 dan modul SD *card* berhasil merekam data yang diperlukan untuk perhitungan SOC dengan metode *Coulomb Counting*. Data yang dikumpulkan menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam memberikan estimasi SOC yang andal, dengan arus menurun dari 18000 mA ke sekitar 4000 mA dan tegangan turun dari 13,2 V ke sekitar 11,0 V dalam periode pengujian.
2. Perbedaan kondisi baterai saat pengisian dan pengosongan serta kondisi kesehatan baterai dari penelitian ini, ditemukan bahwa kondisi baterai VRLA dan *Lithium-ion* saat pengisian dan pengosongan menunjukkan perbedaan signifikan. Baterai VRLA mengalami penyusutan kapasitas sebesar 10% setelah penggunaan selama satu tahun dengan nilai *charging* rata-rata 90603,9 A dan *discharging* rata-rata 85834,3 A. Sedangkan baterai *Lithium-ion* memiliki umur siklus yang lebih lama dengan tingkat DOD yang lebih rendah, yaitu antara 30% dan 40%, yang memungkinkan pengisian dan pengosongan yang lebih efisien.
3. Tingkat SOC baterai yang diukur menggunakan metode *Coulomb Counting* menunjukkan hasil yang akurat dalam penelitian ini. SOC baterai VRLA pada sistem PLTS memiliki nilai batas atas 100% saat pengisian penuh dan nilai batas bawah 20% saat pengosongan. Akurasi pengukuran SOC sangat bergantung pada ketepatan sensor arus dan tegangan, serta metode penghitungan yang digunakan.

5.2 Saran

Hasil yang didapatkan pada skripsi ini tidak lepas dari adanya kekurangan. Adapun saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Implementasikan pemantauan canggih untuk SOC dan SOH. Metode *Coulomb Counting* yang dimodifikasi dapat menjadi standar untuk akurasi yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ramadhan, A.I., E. Diniardi, S.H. Mukti, "Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP," *Teknik*, vol. 37, no. 2, pp. 59-63, 2016, doi: 10.14710/teknik.v37i2.9011.



Available online at: <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>

Teknik, 37(2), 2016, 59-63

Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP

Anwar Ilmar Ramadhan^{*}, Ery Diniardi, Sony Hari Mukti

*Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta
Jl. Cempaka Putih Tengah No 27 Jakarta 10510 Indonesia*

- [2] Nurjaman, H.B., T. Purnama, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga," *JEE Jurnal Edukasi Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 136–142, 2022, doi: 10.21831/jee.v6i2.51617.



Volume 06, No. 02, November 2022, page 136 - 142

JEE

Jurnal Edukasi Elektro

<https://journal.uny.ac.id/index.php/jee>



Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga

Hendi Bagja Nurjaman¹, Trisna Purnama²

- [3] Ozoegwu, C.G., "The Solar Energy Assessment Methods for Nigeria: The Current Status, the Future Directions and a Neural Time Series Method," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 92, Elsevier, pp. 146–159, 2018.



Renewable and Sustainable Energy Reviews

Volume 92, September 2018, Pages 146-159



The solar energy assessment methods for Nigeria: The current status, the future directions and a neural time series method

Chigbogu Godwin Ozoegwu

- [4] Dada, M., P. Popoola, "Recent Advances in Solar Photovoltaic Materials and Systems for Energy Storage Applications: a review," *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 12, no. 66, 2023, doi: 10.1186/s43088-023-00405-5.

Dada and Popoola
Beni-Suef Univ J Basic Appl Sci (2023) 12:66
<https://doi.org/10.1186/s43088-023-00405-5>

Beni-Suef University Journal of
Basic and Applied Sciences

REVIEW

Open Access

Recent advances in solar photovoltaic materials and systems for energy storage applications: a review



Modupeola Dada^{1*} and Patricia Popoola¹

Recent advances in solar photovoltaic materials and systems for energy storage applications: a review

Review | Open access | Published: 17 July 2023

Volume 12, article number 66, (2023) [Cite this article](#)

- [5] Wassie Y.T., E.O Ahlgren, "Performance and Reliability Analysis of an Off-Grid PV Mini-Grid System in Rural Tropical Africa: A Case Study in Southern Ethiopia," *Development Engineering*, vol. 8, Elsevier, 2023, doi: 10.1016/j.deveng.2022.100106.

Development Engineering 8 (2023) 100106



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Development Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/deveng



Performance and reliability analysis of an off-grid PV mini-grid system in rural tropical Africa: A case study in southern Ethiopia



Yibeltal T. Wassie, Erik O. Ahlgren^{*}

Chalmers University of Technology; Department of Space, Earth and Environment; Division of Energy Technology, SE- 412 96, Gothenburg, Sweden

- [6] Hasrul, R., "Analisis Efisiensi Panel Surya Sebagai Energi Alternatif," *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, vol. 5, no. 2, pp. 79-87, 2021.

SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri), Vol. 5 No. 2, Juni 2021, pp. 79 – 87
ISSN 2548-6888 print, ISSN 2548-9445 online

Analisis Efisiensi Panel Surya Sebagai Energi Alternatif

Rahmat Hasrul

Jalan Sambaliung No.9, Kec. Samarinda Ulu, Kota Samarinda, Kalimantan Timur 75117
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
Email : rhasrul12@gmail.com

- [7] Kadang, J.M., J. Windarta, "Optimasi Sosial-Ekonomi pada Pemanfaatan PLTS PV untuk Energi Berkelanjutan di Indonesia," *JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, vol. 2, no. 2, pp. 74-83, 2021.

JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan

Optimasi Sosial-Ekonomi pada Pemanfaatan PLTS PV untuk Energi Berkelanjutan di Indonesia

Jon Marjuni Kadang, Jaka Windarta

Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro;

Email : jonmrkadang@students.undip.ac.id (J.M.K), jakawindarta@lecturer.undip.ac.id (J.W.);

Jurnal Energi Baru & Terbarukan, 2021, Vol. 2, No. 2, pp 74 – 83

Received : 12 April 2021

Accepted : 17 Mei 2021

Published : 05 Juli 2021

- [8] Yuwono, T., A. Darwanto, R.D. Rahayu, "Desain dan Aplikasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Suplai Daya Penerangan dan Fotosintesis," *JES(Jurnal Elektro Smart)*, vol. 1, no. 1, 2021.

JES (Jurnal Elektro Smart) Vol. 1, No. 1, Maret 2021

DESAIN DAN APLIKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA SEBAGAI SUPLAI DAYA PENERANGAN DAN FOTOSINTESIS

Teguh Yuwono^{1*}, Agus Darwanto², Ratna Dwi Rahayu³
^{1,2,3}Program Studi S1 Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe (STTR)
¹E-mail : ridalutfiah@gmail.com

- [9] Lailatun, H.I, R. Sabani, G.M.D. Putra, D.A. Setiawati, "Sistem Otomasi Photovoultaic pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Berbasis Mikrokontroler Ardiuno Skala Laboratorium," *Jurnal Teknik Pertanian*

Lampung, vol. 8, no. 2, pp. 130-138, 2019,
doi:http://dx.doi.org/10.23960/jtep-l.v8i2.130-138.

**SISTEM OTOMASI PHOTOVOLTAIC PADA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA SURYA (PLTS) BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO
SKALA LABORATORIUM**

**ARDDUINO MICROCONTROLLER BASED PHOTOVOLTAIC AUTOMATION
SISTEMS ON LAB SCALE SOLAR POWER PLANT (PLTS)**

**Huswatun Ida Lailatun¹, Rahmat Sabani¹, Guyup Mahardian Dwi Putra^{1✉}, Diah Ajeng
Setiawati¹**

¹ Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri, Universitas Mataram

✉Komunikasi penulis ,email: guyupmdp@unram.ac.id

DOI:http://dx.doi.org/10.23960/jtep-lv8i2.130-138

Naskah ini diterima pada 6 Mei 2019; revisi pada 29 Juni 2019;
disetujui untuk dipublikasikan pada 29 Juni 2019

Jurnal Teknik Pertanian Lampung Vol 8, No. 2: 130-138

P-ISSN 2302-559X; E-ISSN 2549-0818

- [10] Yamato, B.B. Rijadi, " Analisis Kebutuhan Modul Surya dan Baterai pada Sistem Penerangan Jalan Umum (PJU)," JET Jurnal Elektro Teknik, vol. 1, no. 1, pp. 30-38, 2021.

JET Jurnal Elektro Teknik
Volume 1, No.1, Maret 2021, pp. 30-38

**Analisis Kebutuhan Modul Surya Dan Baterai Pada Sistem
Penerangan Jalan Umum (PJU)**

Yamato¹, Bloko Budi Rijadi²

^{1,2}Prodi Elektro - Fakultas Teknik - Universitas Pakuan

Email : yamato@unpak.ac.id¹, bloko.budirijadi@unpak.ac.id²

- [11] Nasution, M., "Karakteristik Baterai Sebagai Penyimpan Energi Listrik Secara Spesifik," *Journal of Electrical Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 35-40, 2021.

Muslih Nasution, *Karakteristik Baterai Sebagai...*

ISSN : 2598 – 1099 (Online) ISSN : 2502 – 3624 (Cetak)

**Karakteristik Baterai Sebagai Penyimpan
Energi Listrik Secara Spesifik**

Muslih Nasution

Dosen Fakultas Teknik Universitas Islam Sumatera Utara
muslih.nasution @ft.uisu.ac.id

- [12] Iskandar, H.R., C.B. Elysees, R. Ridwanulloh, A. Charisma, H. Yuliana, "Analisis Performa Baterai Jenis Valve Regulated Lead Acid pada PLTS Off-Grid 1 KWP," *Jurnal Teknologi*, vol. 13, no. 2, pp. 129-140, 2021.

Volume 13 No. 2
Juli 2021
ISSN : 2085 – 1669
e-ISSN : 2460 – 0288
Website : jurnal.umj.ac.id/index.php/jurtek
Email : jurnalteknologi@umj.ac.id



ANALISIS PERFORMA BATERAI JENIS VALVE REGULATED LEAD ACID PADA PLTS OFF-GRID 1 KWP

Handoko Rusiana Iskandar^{1,*}, Clarez Bebby Elysees², Rijal Ridwanulloh³,
Atik Charisma⁴, Hajjar Yuliana⁵
^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani,
Jl. Terusan Jenderal Sudirman, Po Box 148, Cimahi, Jawa Barat, 40531

- [13] Dorel, S., M.G. Osman, C. Strejoiu, G. Lazaroiu, "Exploring Optimal Charging Strategies for Off-Grid Solar Photovoltaic Systems: A Comparative Study on Battery Storage Techniques," *Batteries*, vol. 9, issue 9, MDPI, pp. 2-16, 2023, doi: 10.3390/batteries9090470.



Review

Exploring Optimal Charging Strategies for Off-Grid Solar Photovoltaic Systems: A Comparative Study on Battery Storage Techniques

Stoica Dorel ¹, Mohammed Gmal Osman ^{2,*}, Cristian-Valentin Strejoiu ^{2,*} and Gheorghe Lazaroiu ²

¹ Department of Faculty of Biotechnical Systems Engineering, National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest, 060042 Bucharest, Romania

² Department of Energy Production and Use, National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest, 060042 Bucharest, Romania; glazaroiu@yahoo.com

* Correspondence: mohagamal123@gmail.com (M.G.O.); strejoiu8@gmail.com (C.-V.S.); Tel.: +40-729662271 (M.G.O.)

- [14] Yu, R., G. Liu, L. Xu, Y. Ma, H. Wang, C. Hu, " Review of Degradation Mechanism and Health Estimation Method of VRLA Battery Used for Standby Power Supply in Power System," *Coatings*, vol. 13, issue 3, MDPI, pp. 2-20, 2023, doi: 10.3390/coatings13030485.

Review

Review of Degradation Mechanism and Health Estimation Method of VRLA Battery Used for Standby Power Supply in Power System

Ruxin Yu ¹, Gang Liu ¹, Linbo Xu ¹, Yanqiang Ma ², Haobin Wang ^{2,*} and Chen Hu ^{3,*}

¹ Zhejiang Zheneng Jiahua Electric Power Generation Co., Ltd., Jiaxing 314201, China

² Hebei Chuangke Electronic Technology Co., Ltd., Handan 056107, China

³ Laboratory of Operation and Control of Renewable Energy & Storage Systems, China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China

* Correspondence: whbwag@163.com (H.W.); whhuchen@163.com (C.H.)

Journals / Coatings / Volume 13 / Issue 3 / 10.3390/coatings13030485

- [15] Lee, J., J. Won, "Enhanced Coulomb Counting Method for SoC and SoH Estimation Based on Coulombic Efficiency," *IEEE Access*, vol. 11, IEEE, pp. 15449-15459, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3244801.

IEEE Access
Multidisciplinary | Rapid Review | Open Access Journal

Received 28 January 2023, accepted 10 February 2023, date of publication 14 February 2023, date of current version 17 February 2023.

Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2023.3244801



RESEARCH ARTICLE

Enhanced Coulomb Counting Method for SoC and SoH Estimation Based on Coulombic Efficiency

JEONG LEE¹, (Student Member, IEEE), AND JEHYUK WON², (Member, IEEE)

¹Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 16419, South Korea

²College of IT Convergence Engineering, Gachon University, Seongnam 13120, South Korea

Corresponding author: Jehyuk Won (wonjak@gachon.ac.kr)

VOLUME 11, 2023

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License. For more information, see <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

15449

- [16] Awad, Z.I.M., S.A. Kamh, F.A.S. Soliman, D.H. Hanafy, "Comparative Study of Commonly Used Batteries for Solar PV Applications," *Journal of Scientific Research in Science*, vol. 40, no. 1, pp. 62-71, 2023, doi: 10.21608/jsrs.2023.331803.



Comparative Study of Commonly Used Batteries for Solar PV Applications

Z. I. M. Awad¹, S. A. Kamh¹, F. A. S. Soliman², D. H. Hanafy^{1*}

¹Electronic Research Lab. (E.R.L.), Physics Department, Faculty of Women for Arts, Science, and Education, Ain Shams University- Cairo, Egypt

²Electronics Engineering Department, Nuclear Materials Authority, P. O. Box 530, Maadi-11728, Cairo, Egypt

- [17] Ma'arif, E.S., T. Suprpto, "Perbandingan Baterai Lithium Ion dan Baterai Valve Regulated Lead Acid 48 Volt 20 Ampere terhadap Kelayakan Pakai Sepeda Motor Listrik Konversi SMK Negeri 55 Jakarta," RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer), vol. 6, no. 2, pp. 119-124, 2023, doi:10.24853/resistor.6.2.119-124.

RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer) Vol. 6 No. 2
e-ISSN : 2621-9700, p-ISSN : 2654-2684

Perbandingan Baterai *Lithium Ion* dan Baterai *Valve Regulated Lead Acid* 48 Volt 20 Ampere terhadap Kelayakan Pakai Sepeda Motor Listrik Konversi SMK Negeri 55 Jakarta

Eka Samsul Ma'arif, Thias Suprpto
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Jakarta
Jalan Cempaka Putih Tengan 27 Jakarta Indonesia
e-mail: eka.samsul@umj.ac.id

[Vol 6, No 2 \(2023\)](#) > [Ma'arif](#)

- [18] Vega-garita, V., A. Hanif, N. Narayan, L. Ramirez-elizondo, P. Bauer, "Selecting a Suitable Battery Technology for the Photovoltaic Battery Integrated Module," *Journal of Power Sources*, vol. 438, Elsevier, pp. 2-11, 2019, doi: 10.1016/j.jpowsour.2019.227011.



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Power Sources

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jpowsour

Selecting a suitable battery technology for the photovoltaic battery integrated module

Victor Vega-Garita^{a,b,*}, Ali Hanif^a, Nishant Narayan^a, Laura Ramirez-Elizondo^a, Pavol Bauer^a^a DC Systems, Energy Conversion and Storage at Delft University of Technology, P.O. Box 5031, 2600, GA, Delft, Netherlands^b Electrical Engineering Department at University of Costa Rica, 11501-2060, UCR, San Pedro, San Jose, Costa Rica

- [19] Satriady, A., W. Alamsyah, A.H. Saad, S. Hidayat, "Pengaruh Luas Elektroda Terhadap Karakteristik Baterai LiFePO₄," *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, vol. 6, no. 2, pp. 43-48, 2016.

Jurnal Material dan Energi Indonesia
Vol. 06, No. 02 (2016) 43 – 48
© Departemen Fisika FMIPA Universitas Padjadjaran

PENGARUH LUAS ELEKTRODA TERHADAP KARAKTERISTIK BATERAI LiFePO₄

ADITYA SATRIADY, WAHYU ALAMSYAH, ASWAD HI SAAD, SAHRUL HIDAYAT[†]

Departemen Fisika Fakultas MIPA Universitas Padjadjaran,
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21, Jatinangor 45363

- [20] Lu, Y., Q. Zhang, J. Chen, "Recent Progress on Lithium-ion Batteries with High Electrochemical Performance," *Science China Chemistry*, vol. 62, pp. 533-548, 2019, <https://doi.org/10.1007/s11426-018-9410-0>.

SCIENCE CHINA
Chemistry



•REVIEWS•

SPECIAL ISSUE: Dedicated to the 100th Anniversary of Nankai University

<https://doi.org/10.1007/s11426-018-9410-0>

Recent progress on lithium-ion batteries with high electrochemical performance

Yong Lu, Qiu Zhang & Jun Chen^{*}

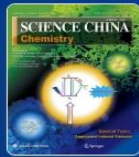
Key Laboratory of Advanced Energy Materials Chemistry (Ministry of Education), College of Chemistry, Nankai University,
Tianjin 300071, China

Received November 18, 2018; accepted December 21, 2018; published online February 25, 2019

Home > Science China Chemistry > Article

Recent progress on lithium-ion batteries with high electrochemical performance

Reviews | SPECIAL ISSUE: Dedicated to the 100th Anniversary of Nankai University
Published: 25 February 2019
Volume 62, pages 533–548, (2019) [Cite this article](#)



Science China Chemistry

[Aims and scope](#) →
[Submit manuscript](#) →

[Yong Lu](#), [Qiu Zhang](#) & [Jun Chen](#) ✉

- [21] Afif, M.T., I.A.P. Pratiwi, "Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik - Review," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 95-99, 2015, doi: 10.21776/ub.jrm.2015.006.02.1.

Jurnal Rekayasa Mesin Vol.6, No.2 Tahun 2015: 95-99

ISSN 2477-6041

ANALISIS PERBANDINGAN BATERAI LITHIUM-ION, LITHIUM-POLYMER, LEAD ACID DAN NICKEL-METAL HYDRIDE PADA PENGGUNAAN MOBIL LISTRIK - REVIEW

Muhammad Thowil Afif, Ilham Ayu Putri Pratiwi
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
Jalan MT Haryono 167 Lowokwaru
(0341) 587 711
E-mail: ayu15.putri@gmail.com

- [22] Nogueira, C.E.C., J. Bedin, R.K. Niedzialkoski, S.N.M.D. Souza, J.C.M.D. Neves, "Performance of Monocrystalline and Polycrystalline Solar Panels in a Water Pumping System in Brazil," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 51, Elsevier, pp. 1610-1616, 2015, DOI:10.1016/j.rser.2015.07.082



Renewable and Sustainable Energy Reviews
Volume 51, November 2015, Pages 1610-1616



Performance of monocrystalline and polycrystalline solar panels in a water pumping system in Brazil

[Carlos Eduardo Camargo Nogueira](#) ✉, [Janaina Bedin](#), [Rosana Krauss Niedzialkoski](#),
[Samuel Nelson Melegari de Souza](#), [João Carlos Munhoz das Neves](#)

- [23] Colson, C.M., M. H. Nehrir, R.K. Sharma, B. Asghari, "Improving Sustainability of Hybrid Energy Systems Part i: Incorporating Battery Round-Trip Efficiency and Operational Cost Factors," *IEEE Transaction Sustainable Energy*, vol. 5, no. 1, pp. 37-45, 2014, doi: 10.1109/TSTE.2013.2269318.

Improving Sustainability of Hybrid Energy Systems Part I: Incorporating Battery Round-Trip Efficiency and Operational Cost Factors

Christopher M. Colson, *Member, IEEE*, M. Hashem Nehrir, *Life Fellow, IEEE*, Ratnesh K. Sharma, *Member, IEEE*, and Babak Asghari, *Member, IEEE*

Improving Sustainability of Hybrid Energy Systems Part I: Incorporating Battery Round-Trip Efficiency and Operational Cost Factors

January 2014 · IEEE Transactions on Sustainable Energy 5(1):37-45

5(1):37-45

DOI:[10.1109/TSTE.2013.2269318](https://doi.org/10.1109/TSTE.2013.2269318)

Authors:



Christopher M. Colson



M. Hashem Nehrir
Montana State University



Ratnesh Sharma
NEC Laboratories America



Babak Asghari
NEC Laboratories America

- [24] Gismero, A., E. Schaltz, D.I. Stroe, "Recursive State of Charge and State of Health Estimation Method for Lithium-Ion Batteries Based on Coulomb Counting and Open Circuit Voltage," *Energies*, vol. 13, no. 7, MDPI, pp. 2-11, 2020, doi: 10.3390/en13071811.



energies



Article

Recursive State of Charge and State of Health Estimation Method for Lithium-Ion Batteries Based on Coulomb Counting and Open Circuit Voltage

Alejandro Gismero ^{*}, Erik Schaltz and Daniel-Ioan Stroe

Department of Energy Technology, Aalborg University, Pontoppidanstraede 101, 9220 Aalborg, Denmark;
esc@et.aau.dk (E.S.); dis@et.aau.dk (D.-I.S.)

Recursive State of Charge and State of Health Estimation Method for Lithium-Ion Batteries Based on Coulomb Counting and Open Circuit Voltage

by Alejandro Gismero* , Erik Schaltz  and Daniel-Ioan Stroe 

Department of Energy Technology, Aalborg University, Pontoppidanstraede 101, 9220 Aalborg, Denmark

* Author to whom correspondence should be addressed.

Energies 2020, 13(7), 1811; <https://doi.org/10.3390/en13071811>

Submission received: 12 March 2020 / Revised: 1 April 2020 / Accepted: 2 April 2020 / Published: 9 April 2020

- [25] Shuzhi, Z., G. Xu, D. Xiaoxin, Z. Xiongwen, "A Data-Driven Coulomb Counting Method for State of Charge Calibration and Estimation of Lithium-Ion Battery," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 40, Elsevier, 2020, doi: 10.1016/j.seta.2020.100752.



Sustainable Energy Technologies and
Assessments
Volume 40, August 2020, 100752



Original article

A data-driven coulomb counting method for state of charge calibration and estimation of lithium-ion battery

Zhang Shuzhi ^a, Guo Xu ^a, Dou Xiaoxin ^b, Zhang Xiongwen ^a  

- [26] Zine, B., K. Marouani, M. Becherif, S. Yahmedi, "Estimation of Battery SOC for Hybrid Electric Vehicle using Coulomb Counting Method," *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, vol. 19, no. 2, 2018, doi: 10.1515/ijeeps-2017-0181.

DE GRUYTER

International Journal of Emerging Electric Power Systems. 2018; 20170181

Bachir Zine¹ / Khoudir Marouani² / Mohamed Becherif³ / Said Yahmedi¹

Estimation of Battery Soc for Hybrid Electric Vehicle using Coulomb Counting Method

¹ Université de Badji Mokhtar, Annaba, Algeria, E-mail: zinebachiremp@gmail.com

² Ecole Militaire Polytechnique, Bordj El-Bahri, Alger, Algeria

³ Femto-ST UMR CNRS 6174 - FCLab FR CNRS 3539, Univ. Bourgogne Franche-Comté/UTBM, Belfort, France

Estimation of Battery Soc for Hybrid Electric Vehicle using Coulomb Counting Method

March 2018 · International Journal of Emerging Electric Power Systems 19(2)

19(2)

DOI:10.1515/ijeeps-2017-0181

Authors:



Bachir Zine
Badji Mokhtar - Annaba University



Khoudir Marouani
Ecole Militaire Polytechnique



Mohamed Becherif
Université de Technologie de Belfort-Montbéliard



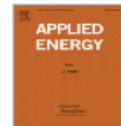
Said Yahmedi
Badji Mokhtar - Annaba University

- [27] Ng, K.S., C. Moo, Y. Chen, Y. Hsieh, "Enhanced Coulomb Counting Method for Estimating State-of-Charge and State-of-Health of Lithium-Ion Batteries," *Applied Energy*, vol. 86, issue 9, Elsevier, pp. 1506-1511, 2009, doi: 10.1016/j.apenergy.2008.11.021.



Applied Energy

Volume 86, Issue 9, September 2009, Pages 1506-1511



Enhanced coulomb counting method for estimating state-of-charge and state-of-health of lithium-ion batteries

Kong Soon Ng ^{a 1} , Chin-Sien Moo ^{a 1} , Yi-Ping Chen ^{b 2} ,
Yao-Ching Hsieh ^{c 3}

- [28] Agsa, M.R., A. Fatoni, "Estimasi State of Charge Baterai dengan Kalman Filter untuk Battery Management System," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 12, no. 2, 2023, doi: 10.12962/j23373539.v12i2.114629.

JURNAL TEKNIK ITS Vol. 12, No. 2, (2023) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print)

B63

Estimasi *State of Charge* Baterai dengan Kalman Filter untuk Energy Management System

Mohamad Revano Agsa, dan Ali Fatoni
Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
E-mail: fatoni@ee.its.ac.id

- [29] Marhatang, M.Y. Yunus, Sonong, Lewi, R. Tandioaga, M.R. Djalal, "Rancang Bangun Prototipe Solar Home System Menggunakan Baterai Lithium Sebagai Penyimpan Energi," *Jurnal JEETech Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol. 5, no. 1, 2024, doi: <https://doi.org/10.32492/jeetech.v5i1.5106>.

	Jurnal JEETech Journal Of Electrical Engineering And Technology https://ejournal.ft-undar.ac.id/index.php/jeetech DOI: https://doi.org/10.32492/jeetech.v5i1.5106	e-ISSN: 2722-5321 p-ISSN: 2964-7320
---	--	---

Rancang Bangun Prototipe Solar Home System Menggunakan Baterai Lithium Sebagai Penyimpan Energi

^{1*}Marhatang, ²Muhammad Yusuf Yunus, ³Sonong, ⁴Lewi, ⁵Remigius Tandioaga, ⁶Muhammad Ruswandi Djalal

^{1,2}Program Studi Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Indonesia

³Program Studi Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Indonesia

^{4,5}Program Studi Teknik Mekatronika, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Indonesia

⁶Program Studi Teknik Pembangkit Energi, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Indonesia

¹marhatang@poliupg.ac.id, ²yusuf_yunus@poliupg.ac.id, ³sonong@poliupg.ac.id, ⁴lewi@poliupg.ac.id,

⁵remigius_tandioaga@gmail.com, ⁶wandi@poliupg.ac.id

JEETech

Journal Of Electrical Engineering And Technology

Vol. 5 No. 1 Tahun 2024

- [30] Utomo, M.S., I. Nugrahanto, Sungkono, "Sistem Penyimpanan Energi Menggunakan Baterai Sel Sekunder pada Photovoltaic," *Jurnal Elkolind*, vol. 10, no. 1, pp. 85-93, 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i1.2753.

Jurnal Elkolind Volume 10, Nomor 1, Mei 2023

DOI: <http://dx.doi.org/10.33795/elkolind.v10i1.2753>

85

Sistem Penyimpanan Energi Menggunakan Baterai Sel Sekunder Pada Photovoltaic

Mugi Satriyo Utomo¹, Indrawan Nugrahanto², Sungkono³

e-mail: mugisatriyo5@gmail.com, indrawan.nugrahanto@polinema.ac.id, sungkono@polinema.ac.id

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

- [31] Pambudi, W.S., R.A. Firmansyah, T. Suheta, N.K. Wicaksono, "Analisis Penggunaan Baterai Lead Acid dan Lithium Ion dengan Sumber Solar Panel," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi & Teknik Elektronika.*, vol. 11, no. 2, pp. 392-407, 2023, doi: 10.26760/elkomika.v11i2.392.

Analisis Penggunaan Baterai *Lead Acid* dan *Lithium Ion* dengan Sumber Solar Panel

**WAHYU SETYO PAMBUDI, RIZA AGUNG FIRMANSYAH, TITIEK SUHETA,
NUR KUKUH WICAKSONO**

Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Adhitama Surabaya (ITATS), Indonesia
Email: wahyusp@itats.ac.id

Received 10 Februari 2023 | *Revised* 6 Maret 2023 | *Accepted* 11 Maret 2023

- [32] Afrida, Y., A. Afandi, Jeckson, Ubaidah, "Studi Penentuan State of Charge (SOC) pada Baterai Valve Regulated Lead Acid NP7-12 Menggunakan MATLAB," ELECTRICIAN: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, vol. 17, no. 2, pp. 146-150, 2023, doi: 10.23960/elc.v17n2.2481.

ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro

Studi Penentuan *State Of Charge (SOC)* pada Baterai *Valve Regulated Lead Acid* NP7-12 Menggunakan MATLAB

Yenni Afrida¹, Akhmad Afandi², Jeckson³, Ubaidah⁴

Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Lampung, Bandar Lampung
Jl. Z.A Pagar Alam No.14 Bandar Lampung 35142
¹yenniafrida2016@gmail.com

Volume 17, No.2, Mei 2023

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

LISTING PROGRAM

```
% Baca data dari file Excel
data= readtable('C:\Users\LENOVO\Documents\MATLAB\Dataset1.xlsx');

% Tampilkan beberapa baris data untuk memverifikasi
disp(head(data));

% Misalkan kolom data adalah 'Time', 'Voltage1', 'Current1', 'Voltage2', 'Current2'
% dan data diambil per satuan waktu tertentu (5 menit).

% Ekstrak data waktu dan arus untuk kedua baterai
time = data.Time; % Kolom waktu
voltage1 = data.Voltage1; % Tegangan baterai 1
current1 = data.Current1; % Arus baterai 1
voltage2 = data.Voltage2; % Tegangan baterai 2
current2 = data.Current2; % Arus baterai 2

% Konversi data waktu menjadi format datetime jika diperlukan
if iscell(time)
    time = datetime(time, 'InputFormat', 'MM/dd/yyyy, HH:mm:ss'); % Ganti format sesuai file
end

% Konversi waktu ke detik dari awal pengukuran
time_seconds = seconds(time - time(1));

% Asumsikan kapasitas baterai dalam mAh
C_nominal1 = 20800; % Kapasitas nominal baterai 1 (Lithium ion)
C_nominal2 = 20243; % Kapasitas nominal baterai 2 (VRLA)

% Inisialisasi SOC awal (misalnya 100%)
```

```
SOC1 = 100 * ones(size(time_seconds));  
SOC2 = 100 * ones(size(time_seconds));
```

```

% Hitung SOC berdasarkan arus dan waktu
for i = 2:length(time_seconds)
    delta_t = time_seconds(i) - time_seconds(i-1); % Selisih waktu dalam detik
    % Perubahan SOC untuk baterai 1
    SOC1(i) = SOC1(i-1) - (current1(i) * delta_t / 3600) / C_nominal1 * 1000 * 100;
    % Perubahan SOC untuk baterai 2
    SOC2(i) = SOC2(i-1) - (current2(i) * delta_t / 3600) / C_nominal2 * 1000 * 100;
end

% Hitung DOD sebagai 100% - SOC
DOD1 = 100 - SOC1;
DOD2 = 100 - SOC2;

% Plot hasil
figure;
subplot(2,1,1);
plot(time, SOC1, 'b', 'DisplayName', 'SOC Baterai 1');
hold on;
plot(time, SOC2, 'r', 'DisplayName', 'SOC Baterai 2');
xlabel('Waktu');
ylabel('State of Charge (SOC) [%]');
legend;
title('State of Charge (SOC) Baterai');

subplot(2,1,2);
plot(time, DOD1, 'b', 'DisplayName', 'DOD Baterai 1');
hold on;
plot(time, DOD2, 'r', 'DisplayName', 'DOD Baterai 2');
xlabel('Waktu');
ylabel('Depth of Discharge (DOD) [%]');
legend;
title('Depth of Discharge (DOD) Baterai');

```


LAMPIRAN B

DATA PENGUJIAN

Data 13 Juni 2024

Waktu	Vmp	Imp	% SoC	Baterai 1		% SoC	Baterai 2	
				I	V		I	V
12:00:00 AM	0.0030	0.003	67	13980.55	12.39	72	14612.76	13.59
12:30:00 AM	0.0030	0.003	61	12938.88	12.26	63	13571.09	13.42
1:00:00 AM	0.0031	0.003	56	11897.22	12.15	58	12529.43	13.27
1:30:00 AM	0.0031	0.003	51	10855.55	12.03	53	11487.76	13.13
2:00:00 AM	0.0031	0.003	46	9813.88	11.92	48	10446.09	12.98
2:30:00 AM	0.0031	0.003	41	8772.22	11.81	42	9404.43	12.84
3:00:00 AM	0.0030	0.003	36	7730.55	11.70	37	8362.76	12.67
3:30:00 AM	0.0031	0.003	31	6688.88	11.59	32	7321.09	12.52
4:00:00 AM	0.0030	0.003	26	5647.22	11.47	27	6279.43	12.38
4:30:00 AM	0.0030	0.003	21	4605.55	11.36	22	5237.76	12.23
5:00:00 AM	0.0030	0.003	19	4268.00	11.32	20	4196.09	12.09
5:30:00 AM	0.0031	0.003	19	4268.00	11.32	20	4156.00	12.06
6:00:00 AM	1.3891	0.395	19	4268.00	11.32	20	4156.00	12.06
6:30:00 AM	3.9358	1.115	19	4268.00	11.32	20	4156.00	12.06
7:00:00 AM	7.4495	2.109	19	4268.00	11.32	20	4156.00	12.06
7:30:00 AM	10.3829	2.939	19	4268.00	11.32	20	4156.00	12.06
8:00:00 AM	12.0269	3.404	37	7795.49	11.72	38	7325.45	12.52
8:30:00 AM	13.1229	3.714	67	14159.51	12.39	69	12998.96	13.33
9:00:00 AM	19.6989	5.574	94	19765.00	13.00	97	19345.00	14.25

9:30:00 AM	24.8244	7.024	94	19765.00	13.00	97	19345.00	14.25
------------	---------	-------	----	----------	-------	----	----------	-------

10:00:00 AM	26.6296	7.534	94	19765.00	13.00	97	19345.00	14.25
10:30:00 AM	28.3703	8.027	94	19765.00	13.00	97	19345.00	14.25
11:00:00 AM	30.2400	8.556	94	19765.00	13.00	97	19345.00	14.25
11:30:00 AM	29.7242	8.410	94	19765.00	13.00	97	19345.00	14.25
12:00:00 PM	28.7571	8.136	94	19765.00	13.00	97	19345.00	14.25
12:30:00 PM	27.9835	7.917	94	19747.64	13.00	97	19327.64	14.25
1:00:00 PM	26.8230	7.589	94	19765.00	13.00	97	19345.00	14.25
1:30:00 PM	23.9540	6.778	94	19765.00	13.00	97	19345.00	14.25
2:00:00 PM	22.0522	6.240	94	19765.00	13.00	97	19345.00	14.25
2:30:00 PM	19.1187	5.410	94	19765.00	13.00	97	19345.00	14.25
3:00:00 PM	15.7662	4.462	94	19765.00	13.00	97	19345.00	14.25
3:30:00 PM	11.5756	3.276	94	19730.28	13.00	97	19310.28	14.25
4:00:00 PM	9.0612	2.565	90	18862.22	12.91	93	18442.22	14.14
4:30:00 PM	5.6442	1.599	85	17820.55	12.80	87	17400.55	13.97
5:00:00 PM	2.8721	0.815	80	16778.89	12.68	82	16358.89	13.82
5:30:00 PM	0.6478	0.185	75	15737.22	12.57	77	15317.22	13.68
6:00:00 PM	0.0031	0.003	70	14695.55	12.46	72	14275.55	13.53
6:30:00 PM	0.0031	0.003	65	13653.89	12.35	67	13233.89	13.39
7:00:00 PM	0.0031	0.003	60	12612.22	12.24	62	12192.22	13.21
7:30:00 PM	0.0030	0.003	55	11570.55	12.12	56	11150.55	13.07
8:00:00 PM	0.0031	0.003	50	10528.89	12.01	51	10108.89	12.93
8:30:00 PM	0.0031	0.003	45	9487.22	11.90	46	9067.22	12.78
9:00:00 PM	0.0031	0.003	40	8445.55	11.79	41	8025.55	12.64
9:30:00 PM	0.0031	0.003	35	7403.89	11.68	36	6983.89	12.49
10:00:00 PM	0.0030	0.003	30	6362.22	11.56	30	5942.22	12.32

10:30:00 PM	0.0030	0.003	25	5320.55	11.45	25	4900.55	12.17
11:00:00 PM	0.0030	0.003	20	4278.89	11.34	20	4156.00	12.06
11:30:00 PM	0.0031	0.003	19	4268.00	11.32	20	4156.00	12.06

Data 14 Juni 2024

Waktu	Vmp	Imp	Baterai 1			Baterai 2		
			% SoC	I	V	% SoC	I	V
12:00:00 AM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
12:30:00 AM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
1:00:00 AM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
1:30:00 AM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
2:00:00 AM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
2:30:00 AM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
3:00:00 AM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
3:30:00 AM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
4:00:00 AM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
4:30:00 AM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
5:00:00 AM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
5:30:00 AM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
6:00:00 AM	0.519	0.149	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
6:30:00 AM	1.744	0.495	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
7:00:00 AM	3.323	0.942	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
7:30:00 AM	5.225	1.480	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06

8:00:00 AM	5.677	1.608	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
8:30:00 AM	7.417	2.100	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
9:00:00 AM	9.158	2.592	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
9:30:00 AM	10.899	3.085	21	4674.19	11.36	21	4485.46	12.12
10:00:00 AM	10.222	2.893	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
10:30:00 AM	11.511	3.258	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
11:00:00 AM	26.146	7.398	75	15829.57	12.57	71	14566.72	13.56
11:30:00 AM	30.014	8.492	98	20500.00	13.09	95	19345.00	14.25
12:00:00 PM	30.047	8.501	98	20500.00	13.09	95	19345.00	14.25
12:30:00 PM	22.858	6.468	98	20500.00	13.09	95	19345.00	14.25
1:00:00 PM	17.152	4.854	98	20500.00	13.09	95	19345.00	14.25
1:30:00 PM	23.728	6.714	98	20500.00	13.09	95	19345.00	14.25
2:00:00 PM	20.859	5.902	98	20500.00	13.09	95	19345.00	14.25
2:30:00 PM	18.893	5.346	98	20500.00	13.09	95	19345.00	14.25
3:00:00 PM	15.863	4.489	98	20500.00	13.09	95	19345.00	14.25
3:30:00 PM	11.608	3.285	98	20395.83	13.09	95	19240.83	14.25
4:00:00 PM	8.674	2.456	93	19354.17	12.98	89	18199.17	14.08
4:30:00 PM	5.386	1.526	87	18312.50	12.84	84	17157.50	13.94
5:00:00 PM	1.583	0.450	82	17270.83	12.73	79	16115.83	13.79
5:30:00 PM	0.422	0.122	77	16229.17	12.62	74	15074.17	13.65
6:00:00 PM	0.003	0.003	72	15187.50	12.51	69	14032.50	13.50
6:30:00 PM	0.003	0.003	67	14145.83	12.39	63	12990.83	13.33
7:00:00 PM	0.003	0.003	62	13104.17	12.28	58	11949.17	13.19
7:30:00 PM	0.003	0.003	57	12062.50	12.17	53	10907.50	13.04
8:00:00 PM	0.003	0.003	52	11020.83	12.06	48	9865.83	12.90

8:30:00 PM	0.003	0.003	47	9979.17	11.95	43	8824.17	12.75
9:00:00 PM	0.003	0.003	42	8937.50	11.83	38	7782.50	12.61
9:30:00 PM	0.003	0.003	37	7895.83	11.72	32	6740.83	12.43
10:00:00 PM	0.003	0.003	32	6854.17	11.61	27	5699.17	12.29
10:30:00 PM	0.003	0.003	27	5812.50	11.50	22	4657.50	12.14
11:00:00 PM	0.003	0.003	22	4770.83	11.38	19	4156.00	12.06
11:30:00 PM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06

Data 15 Juni 2024

Waktu	Vmp	Imp	% SoC	Baterai 1		% SoC	Baterai 2	
				I	V		I	V
12:00:00 AM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
12:30:00 AM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
1:00:00 AM	0.0031	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
1:30:00 AM	0.0031	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
2:00:00 AM	0.0031	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
2:30:00 AM	0.0031	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
3:00:00 AM	0.0031	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
3:30:00 AM	0.0031	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
4:00:00 AM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
4:30:00 AM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
5:00:00 AM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
5:30:00 AM	0.0031	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
6:00:00 AM	0.6891	0.149	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
6:30:00 AM	1.9358	0.495	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06

7:00:00 AM	3.2495	1.31762	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
7:30:00 AM	5.8829	2.71761	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
8:00:00 AM	13.6269	3.81759	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
8:30:00 AM	21.1229	6.31759	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
9:00:00 AM	23.6989	7.51756	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
9:30:00 AM	24.8244	7.8543	21	4674.19	11.36	21	4485.46	12.12
10:00:00 AM	26.6296	8.01761	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
10:30:00 AM	27.3703	8.31762	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06
11:00:00 AM	23.4762	7.6321	75	15829.57	12.57	71	14566.72	13.56
11:30:00 AM	23.7745	7.8964	98	20500.00	13.09	95	19345.00	14.25
12:00:00 PM	25.0123	7.9876	98	20500.00	13.09	95	19345.00	14.25
12:30:00 PM	25.6874	8.08797	98	20500.00	13.09	95	19345.00	14.25
1:00:00 PM	24.1563	7.48793	98	20500.00	13.09	95	19345.00	14.25
1:30:00 PM	22.1123	7.08796	98	20500.00	13.09	95	19345.00	14.25
2:00:00 PM	19.5731	5.97532	98	20500.00	13.09	95	19345.00	14.25
2:30:00 PM	19.0547	5.55789	98	20500.00	13.09	95	19345.00	14.25
3:00:00 PM	18.7451	5.43268	98	20500.00	13.09	95	19345.00	14.25
3:30:00 PM	6.9641	2.79985	98	20395.83	13.09	95	19240.83	14.25
4:00:00 PM	7.5423	2.95323	93	19354.17	12.98	89	18199.17	14.08
4:30:00 PM	4.0135	2.14567	87	18312.50	12.84	84	17157.50	13.94
5:00:00 PM	2.0562	1.25675	82	17270.83	12.73	79	16115.83	13.79
5:30:00 PM	0.9561	0.76541	77	16229.17	12.62	74	15074.17	13.65
6:00:00 PM	0.003	0.003	72	15187.50	12.51	69	14032.50	13.50
6:30:00 PM	0.003	0.003	67	14145.83	12.39	63	12990.83	13.33
7:00:00 PM	0.003	0.003	62	13104.17	12.28	58	11949.17	13.19

7:30:00 PM	0.003	0.003	57	12062.50	12.17	53	10907.50	13.04
8:00:00 PM	0.003	0.003	52	11020.83	12.06	48	9865.83	12.90
8:30:00 PM	0.003	0.003	47	9979.17	11.95	43	8824.17	12.75
9:00:00 PM	0.003	0.003	42	8937.50	11.83	38	7782.50	12.61
9:30:00 PM	0.003	0.003	37	7895.83	11.72	32	6740.83	12.43
10:00:00 PM	0.003	0.003	32	6854.17	11.61	27	5699.17	12.29
10:30:00 PM	0.003	0.003	27	5812.50	11.50	22	4657.50	12.14
11:00:00 PM	0.003	0.003	22	4770.83	11.38	19	4156.00	12.06
11:30:00 PM	0.003	0.003	19	4268.00	11.32	19	4156.00	12.06

LAMPIRAN C

DOKUMENTASI

