

Optimalisasi Energi Sistem Dual Baterai dalam Aplikasi Off-Grid Sistem Photovoltaic

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh

Muhammad Hisyam Abdillah

220441039



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI
JURUSAN TEKNIK OTOMASI MANUFAKTUR DAN MEKATRONIKA
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:
**Optimalisasi Energi Sistem Dual Baterai dalam Aplikasi Off-Grid Sistem
Photovoltaic**

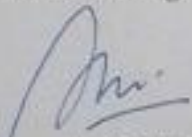
Oleh:
Muhammad Hisyam Abdillah
220441039

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program
pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)
Politeknik Manufaktur Bandung

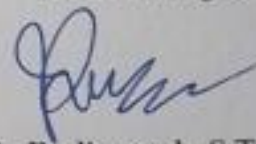
Bandung, 7 Agustus 2025

Disetujui,

Pembimbing I,

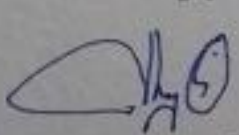

Nuryanti, S.T., M.Sc.
NIP.197604262009122002

Pembimbing II,

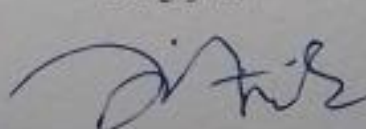

Hendy Rudiansyah, S.T., M.Eng.
NIP.198105072008101001

Disahkan,

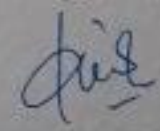
Penguji I,


Ir. Duddy Arisandi, S.T., M.T.
NIP.224409017

Penguji II,


Fitria Suryatini, S.Pd., M.T.
NIP.198804242018032001

Penguji III,


Dini Hadiani, S.Pd., M.Pd.
NIP.197506122005012005

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Hisyam Abdillah
NIM : 220441039
Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Optimalisasi Energi Sistem Dual Baterai dalam Aplikasi Off-Grid Sistem Photovoltaic

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 13 Agustus 2025
Yang Menyatakan,

Muhammad Hisyam Abdillah
NIM 220441039

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Hisyam Abdillah
NIM : 220441039
Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Optimalisasi Energi Sistem Dual Baterai dalam Aplikasi Off-Grid Sistem Photovoltaic

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 13 Agustus 2025
Yang Menyatakan,

Muhammad Hisyam Abdillah
NIM 220441039

MOTO PRIBADI

Setiap manusia memiliki keunikannya masing-masing. Jangan terlalu memaksakan diri untuk menjadi seperti orang lain.

Tugas akhir ini saya dedikasikan untuk kedua orang tua saya tercinta, adik saya, teman-teman saya dan semua pihak yang telah membantu saya menyelesaikan tugas akhir ini. Jazakallahu Khairan

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepadaNya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepadaNya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka tidak ada yang dapat menyesatkan, dan barang siapa yang tersesat dari jalanNya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Dan aku bersaksi bahwa tiada sembah yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagiNya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad Shallallaahu ‘alayhi Wasallam adalah hambaNya dan RasulNya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: “Optimalisasi Energi Sistem Dual Baterai dalam Aplikasi Off-Grid Sistem Photovoltaic”.

Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Direktur Politeknik Manufaktur Bandung, Bapak Darma Firmansyah Undayat, S.ST., M.T.
2. Ketua Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Bapak Ridwan, S.ST., M.Eng. IPM
3. Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, Ibu Nuryanti, S.T., M.Sc.
4. Para Pembimbing tugas akhir Ibu Nuryanti, S.T., M.Sc. dan Bapak Hendy Rudiansyah, S.T., M.Eng.
5. Para Penguji siding tugas akhir Bapak Ir. Duddy Arisandi, S.T., M.T., Ibu Fitriya Suryatini, S.Pd., M.T., dan Ibu Dini Hadiani, S.Pd., M.Pd.

6. Para panitia tugas akhir
7. Teristimewa kepada Orang Tua penulis Yani Heryani dan Dani Saepudin yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Kakek dan nenek yang juga selalu support
9. Buat rekan-rekan yang telah membantu dalam kelancaran tugas akhir ini.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, 13 Agustus 2025

Penulis

ABSTRAK

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting saat ini. Hampir seluruh kegiatan sehari-hari pun menggunakan listrik. Namun, pembangkit listrik saat ini kebanyakan menggunakan bahan bakar fosil yang tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu perlu sumber energi yang ramah lingkungan, salah satunya yaitu sel surya. Untuk menyimpan energi surya, bisa dengan menggunakan baterai. Namun, baterai pun menimbulkan masalah lain, yaitu limbah baterai. Oleh karena itu, tujuan dari tugas akhir ini adalah membuat sistem penyimpanan energi yang dapat memaksimalkan masa pakai baterai. Metode yang akan dilakukan dalam tugas akhir ini adalah dengan membandingkan penggunaan energi dan durasi pengosongan baterai dari sistem dual dan single dengan beban yang sama. Pengujian dilakukan lima kali menggunakan PWM 83, 93, 113, 150, dan PWM maksimal. Hasil penelitian menunjukkan sistem dual dapat menyuplai beban lebih lama dan energi yang lebih kecil dibandingkan sistem single, dengan persentase 53,22% percobaan 1; 67,02% percobaan 2; 112,56% percobaan 3; 84,43% percobaan 4; dan 85,92% percobaan 5.

Kata kunci: Baterai, Dual baterai, PWM, limbah baterai, Sel Surya

ABSTRACT

Electric energy is a very important need today. Almost all daily activities use electricity. However, most power plants currently use fossil fuels that can pollute the surrounding. Therefore, environmentally friendly energy sources are needed, one of them is solar. To store solar energy, batteries can be used. However, batteries also pose another problem, namely battery waste. Therefore, the purpose of this final project is to make energy storage system that can maximize battery life. The method to be used in this final project is to compare the energy and duration of discharge between dual and single system using same load. Testing was carried out five times using PWM 83, 93, 113, 150, and maximum PWM. The research results show the dual system can supply load more longer than single system, with a percentage of 53.22% of trial 1; 67.02% of trial 2; 112.56% of trial 3; 84.43 of trial 4; and 85.92 of trial 5.

Keywords: Battery, Dual Battery, PWM, Battery waste., Solar cell

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
I.1 Latar Belakang.....	I-1
I.2 Rumusan Masalah.....	I-3
I.3 Batasan Masalah	I-3
I.4 Tujuan dan Manfaat	I-4
I.5 Sistematika Penulisan	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	II-1
II.1 Tinjauan Teori	II-1
II.1.1 Baterai	II-1
II.1.2 Sel Surya	II-10
II.1.3 Solar Charge Controller	II-15
II.1.4 Arduino	II-17
II.1.5 Pulse Width Modulator (PWM).....	II-20
II.2 Tinjauan Alat.....	II-21
II.2.1 Arduino Mega	II-21
II.2.2 Panel Surya Monokristalin SP100W-18V	II-23
II.2.3 Baterai Lead Acid 12V 10Ah.....	II-24
II.2.4 Solar Charge Controller MPPT 50A 12/24V	II-24
II.2.5 Nextion NX4024T032 – 3.2" HMI	II-25
II.2.6 Sensor Arus dan tegangan INA219.....	II-26
II.2.7 Sensor Arus dan tegangan INA226.....	II-27

II.2.8	Lampu Sorot Owl 25 Watt	II-27
II.2.9	Motor DC 775 High Power 100W	II-28
II.2.10	Modul MOSFET AOD4184A	II-28
II.2.11	Relay 4 Channel	II-29
II.2.12	Modul Adapter MicroSD.....	II-30
II.2.13	Modul RTC DS3231	II-30
II.3	Studi Penelitian Terdahulu	II-30
BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH		III-1
III.1	Metode Penelitian.....	III-1
III.1.1	Studi literatur.....	III-2
III.1.2	Perancangan alat.....	III-2
III.1.3	Pembuatan alat	III-6
III.1.4	Pengujian.....	III-9
III.1.5	Analisis hasil pengujian	III-9
III.1.6	Evaluasi	III-10
III.2	Gambaran Umum Sistem	III-10
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		IV-12
IV.1	Pengujian Sensor.....	IV-12
IV.1.1	INA219 Solar Panel (0x40).....	IV-12
IV.1.2	INA219 Baterai 1 (0x41)	IV-14
IV.1.3	INA219 Baterai 2(0x44)	IV-15
IV.1.4	INA219 Beban (0x45).....	IV-17
IV.1.5	INA226 Panel Surya (0x42).....	IV-19
IV.1.6	INA226 Baterai (0x43)	IV-21
IV.1.7	INA226 Beban (0x48).....	IV-23
IV.2	Pengujian pengecasan baterai	IV-26
IV.2.1	Sistem Dual	IV-26
IV.2.2	Sistem Single.....	IV-26
IV.3	Membandingkan Sistem single dan dual baterai	IV-27
IV.3.1	Sistem Dual	IV-27
IV.3.2	Sistem Single.....	IV-28
IV.3.3	Perbandingan Sistem Single dan Dual	IV-29
BAB V PENUTUP.....		V-1
V.1	Kesimpulan	V-1
V.2	Saran.....	V-1
DAFTAR PUSTAKA		V-3

LAMPIRAN..... V-6

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Tipe baterai beserta kelebihan dan kekurangan [24].....	II-9
Tabel II.2 Tipe Arduino [28].....	II-18
Tabel II.3 Spesifikasi Arduino Mega [31]	II-22
Tabel II.4 Spesifikasi panel surya monokristalin.....	II-23
Tabel II.5 Spesifikasi SCC MPPT 50A 12/24V	II-25
Tabel II.6 Spesifikasi HMI.....	II-26
Tabel II.7 Spesifikasi INA219	II-26
Tabel II.8 Spesifikasi Modul MOSFET	II-29
Tabel II.9 Spesifikasi Relay 4 Channel.....	II-29
Tabel II.10 Penelitian Terdahulu.....	II-31
Tabel III.1 Peralatan Penelitian.....	III-6
Tabel III.2 Perangkat Lunak Penelitian	III-7
Tabel IV.1 Pembacaan Arus INA219 Solar Panel	IV-13
Tabel IV.2 Pembacaan Tegangan INA219 Solar Panel	IV-13
Tabel IV.3 Pembacaan Arus INA219 Baterai 1	IV-14
Tabel IV.4 Pembacaan Tegangan INA219 Baterai 1	IV-15
Tabel IV.5 Pembacaan Arus INA219 Baterai 2.....	IV-16
Tabel IV.6 Pembacaan Tegangan INA219 Baterai 2.....	IV-17
Tabel IV.7 Pembacaan Arus INA219 Beban	IV-18
Tabel IV.8 Pembacaan Tegangan INA219 Beban	IV-19
Tabel IV.9 Pembacaan Arus INA226 Panel Surya	IV-20
Tabel IV.10 Pembacaan Tegangan INA226 Panel Surya	IV-21
Tabel IV.11 Pembacaan Arus INA226 Baterai.....	IV-22
Tabel IV.12 Pembacaan Tegangan INA226 Baterai.....	IV-23
Tabel IV.13 Pembacaan Arus INA226 Beban	IV-24
Tabel IV.14 Pembacaan Tegangan INA226 Beban	IV-25
Tabel IV.15 Pengecasan Sistem Dual Baterai.....	IV-26
Tabel IV.16 Pengecasan Sistem Single.....	IV-26
Tabel IV.17 Hubungan PWM terhadap Durasi Pengosongan Mode Dual	IV-27
Tabel IV.18 Hubungan PWM terhadap Durasi Pengosongan Mode Single	IV-28
Tabel IV.19 Data Tegangan, Daya, dan Energi Sistem Dual dan Single Baterai	IV-29
Tabel IV.20 Perbandingan Energi Dual Baterai dan Single Baterai dalam Persen	IV-30

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Proses charging ditandai dengan panah hijau dan discharging menggunakan panah merah [19]	II-1
Gambar II.2 Diagram sirkuit satu dioda [26]	II-11
Gambar II.3 Karakteristik I-V dan P-V pada modul surya kristalin silikon[26]	II-12
Gambar II.4 Model charger PWM [27].....	II-15
Gambar II.5 Gelombang output PWM ketika baterai lemah [27].....	II-16
Gambar II.6 Gelombang output PWM ketika baterai terisi 50% [27]	II-16
Gambar II.7 Gelombang output PWM ketika baterai terisi penuh [27].....	II-17
Gambar II.8 Model charger MPPT [27].....	II-17
Gambar II.9 Sinyal PWM [30].....	II-21
Gambar II.10 Komponen-komponen Arduino Mega[31]	II-21
Gambar II.11 Panel surya tipe monokristalin	II-23
Gambar II.12 Baterai Lead Acid 12V 10Ah	II-24
Gambar II.13 SCC MPPT	II-24
Gambar II.14 HMI Nextion.....	II-25
Gambar II.15 Sensor arus dan tegangan INA219	II-26
Gambar II.16 Sensor arus dan tegangan INA226	II-27
Gambar II.17 Lampu Sorot Owl	II-27
Gambar II.18 Motor DC 775.....	II-28
Gambar II.19 Modul MOSFET.....	II-28
Gambar II.20 Modul Relay 4 Channel	II-29
Gambar II.21 Modul Adapter MicroSD.....	II-30
Gambar II.22 Modul RTC DS3231.....	II-30
Gambar III.1 Metode Penelitian.....	III-1
Gambar III.2 Flowchart Sistem Dual dan Paralel Baterai	III-2
Gambar III.3 Flowchart Sistem Single Baterai	III-3
Gambar III.4 Wiring Diagram Rangkaian Kendali Sistem Dual dan Paralel	III-4
Gambar III.5 Wiring Diagram Rangkaian Kendali Sistem Single.....	III-4
Gambar III.6 Wiring Diagram Rangkaian Daya Sistem Dual dan Paralel	III-5
Gambar III.7 Wiring Diagram Rangkaian Daya Sistem Single.....	III-5
Gambar III.8 HMI Halaman 1.....	III-6
Gambar III.9 HMI Halaman 2.....	III-6
Gambar III.10 Rangkaian Sistem Dual dan Paralel	III-8
Gambar III.11 Rangkaian Sistem Single.....	III-8
Gambar III.12 Mounting Panel Surya.....	III-9
Gambar III.13 Diagram Blok Sistem Dual Baterai	III-10
Gambar III.14 Diagram Blok Sistem Single Baterai	III-11
Gambar IV.1 Grafik Pembacaan Arus INA219 Panel Surya.....	IV-12
Gambar IV.2 Grafik Pembacaan Tegangan INA219 Solar Panel.....	IV-13
Gambar IV.3 Grafik Pembacaan Arus INA219 Baterai 1.....	IV-14
Gambar IV.4 Grafik Pembacaan Tegangan INA219 Baterai 1.....	IV-15
Gambar IV.5 Grafik Pembacaan Arus INA219 Baterai 2.....	IV-16
Gambar IV.6 Grafik Pembacaan Tegangan INA219 Baterai 2.....	IV-17
Gambar IV.7 Grafik Pembacaan Arus INA219 Beban.....	IV-18
Gambar IV.8 Grafik Pembacaan Tegangan INA219 Beban	IV-19
Gambar IV.9 Grafik Pembacaan Arus INA226 Panel Surya.....	IV-20
Gambar IV.10 Grafik Pembacaan Tegangan INA226 Panel Surya.....	IV-21

Gambar IV.11 Grafik Pembacaan Arus INA226 Baterai.....	IV-22
Gambar IV.12 Grafik Pembacaan Tegangan INA226 Baterai.....	IV-23
Gambar IV.13 Grafik Pembacaan Arus INA226 Beban.....	IV-24
Gambar IV.14 Grafik Pembacaan Tegangan INA226 Beban.....	IV-25
Gambar IV.15 Grafik PWM terhadap Durasi Mode Dual.....	IV-28
Gambar IV.16 Grafik PWM terhadap Durasi Mode Single.....	IV-29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 – Dokumentasi alat	V-6
Lampiran 2 – Data pengujian	V-6
Lampiran 3 – Program Arduino	V-7

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

V	= <i>Voltage</i> (Tegangan Listrik)
I	= <i>Intensity of Current</i> (Kuat Arus Listrik)
P	= <i>Power</i> (Daya)
PWM	= <i>Pulse Width Modulation</i>
SOC	= <i>State of Charge</i>
LCD	= <i>Liquid Crystal Display</i>
HMI	= <i>Human Machine Interface</i>
I/O	= <i>Input/Output</i>

Ganesh Salma hisyam

220441039_muhammad hisyam abdillah_optimalisasi energi sistem dual baterai dalam aplikasi off-grid s

 Politeknik Manufaktur Bandung

Document Details

Submission ID
trn:oid::3618:108302658

Submission Date
Aug 14, 2025, 2:57 PM GMT+7

Download Date
Aug 14, 2025, 3:05 PM GMT+7

File Name
220441039_muhammad hisyam abdillah_optimalisasi energi sistem dual baterai dalam aplikasi o...pdf

File Size
2.8 MB

80 Pages

12,264 Words

67,045 Characters

 Page 1 of 87 - Cover Page

Submission ID trn:oid::3618:108302658

 Page 2 of 87 - Integrity Overview

Submission ID trn:oid::3618:108302658




12% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Abstract

Top Sources

- 12%  Internet sources
- 6%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Energi listrik telah menjadi salah satu hal yang dibutuhkan oleh masyarakat untuk menjalankan kegiatan sehari-hari, terutama untuk kegiatan yang perlu dikerjakan dengan cepat [1], [2], [3], [4], [5]. Peningkatan akan kebutuhan energi di dunia mencapai 35% seiring dengan meningkatnya populasi [2], [6]. Namun, mayoritas sumber energi listrik sekarang berasal dari bahan bakar fosil yang jumlahnya terbatas dan tidak ramah lingkungan [1], [6], [7], [8]. Oleh karena itu, umat manusia perlu mengembangkan pembangkit listrik yang ramah lingkungan dan berasal dari sumber daya alam yang tak terbatas, salah satunya yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Di Indonesia sendiri, energi matahari tersedia sangat melimpah, karena Indonesia dilalui garis khatulistiwa [1], [3]. Berdasarkan laporan dari Institute for Essential Services Reform (IESR) pada tahun 2019, potensi dari energi surya di Indonesia mencapai 200GW, namun pemanfaatannya masih kurang dari 100MW [9]. Pemanfaatan energi surya ini juga tidak menimbulkan polusi udara atau suara [10], [11]. Aplikasi dari penggunaan energi surya ini juga cukup bervariasi, mulai dari tingkat industri sampai domestik [10].

Dalam sistem penyimpanan energi surya skala rumahan, baterai digunakan sebagai tempat penyimpanan energi yang paling umum digunakan. Baterai merupakan salah satu alat yang dikembangkan di seluruh dunia, yang dapat digunakan untuk menyimpan energi listrik [12]. Baterai dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *rechargeable sekunder* atau dapat diisi kembali dan *non-rechargeable primer* atau tidak dapat diisi kembali [13]. Beberapa bahan yang digunakan untuk membuat baterai yaitu Lithium (Li), Mangan (Mn), timbal (Pb), dan Cadmium (Cd), yang merupakan bahan dengan tingkat ekotoksitas tinggi [14]. Penggunaan baterai secara tradisional, yaitu penggunaan lalu pembuangan merupakan cara yang kurang

baik, karena akhirnya baterai langsung dibuang tanpa didaur ulang [15]. Salah satu cara untuk mengurangi jumlah limbah baterai yaitu dengan memaksimalkan umur pakai baterai.

Tiap jenis baterai memiliki siklus hidup atau life cycle yang berbeda-beda. Pada baterai dengan nilai *Depth of Discharge* (DoD) 80%, Lead Acid memiliki nilai siklus hidup 300-3000 siklus, Lithium Ion 3000 siklus, Nikel Cadmium 3000 siklus, dan lain-lain [16]. Namun, ada beberapa hal yang dapat mengurangi siklus hidup baterai, seperti suhu tinggi, *Depth of Discharge* yang besar, pengisian dan pengosongan kapasitas baterai yang berlebihan (*overcharge* dan *overdischarge*) [17], [18], [19]. Hal tersebut tentu akan membuat umur baterai menjadi berkurang, dan pada akhirnya menimbulkan limbah baterai. Oleh karena itu, diperlukan teknologi atau suatu sistem yang dapat memaksimalkan umur baterai dan mengurangi limbah baterai.

Dalam mengatasi permasalahan mengenai umur baterai, terdapat penelitian-penelitian terdahulu yang menggunakan sistem dual baterai untuk memaksimalkan kinerja dari baterai. Penelitian-penelitian tersebut memfokuskan penggunaan sistem dual baterai pada sumber energi terbarukan. Pada penelitian yang dilakukan Kathe, dkk pada tahun 2021, metode yang digunakan yaitu menggabungkan satu set baterai baru dengan satu set baterai lama pada satu sistem yang sama, dan dikendalikan oleh sebuah mikrokontroler dalam proses *switching*. Penelitian tersebut mengklaim bahwa sistem yang digunakan dapat memperpanjang umur baterai dikarenakan sistem tersebut mengurangi jumlah pengisian dan pengosongan [20]. Namun, penelitian tersebut tidak menyertakan data hasil percobaan alat, yang mengakibatkan klaim terhadap keunggulan sistem tersebut kurang kuat. Selanjutnya, pada penelitian yang dilakukan oleh Nizam, dkk pada tahun 2021, metode yang digunakan yaitu menggabungkan baterai *Valve Regulated Lead Acid* dengan *Lithium Ferro Phosphate* dengan Arduino Nano sebagai kontroler. Selain menggunakan sistem dual baterai, pada penelitian ini juga menggunakan sistem single baterai sebagai pembanding dengan dual baterai. Hasilnya yaitu, Penggunaan sistem dual baterai bisa menghemat energi baterai dibandingkan dengan single.

VLRA pada sistem dual baterai lebih hemat energi 68,62% dan LFP pada sistem dual baterai lebih hemat energi 29,48%, dibandingkan sistem single baterai [12]. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya mengenai dual baterai, pengujian yang dilakukan tidak menggabungkan dua baterai untuk supply beban yang lebih besar, melainkan hanya menggunakan satu baterai dalam satu waktu, sehingga kapasitas baterai yang bisa digunakan oleh beban terbatas. Selain itu, alat yang dibuat juga hanya bisa beroperasi dalam mode otomatis. Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini akan menggunakan metode yang berbeda dan akan menambahkan HMI untuk monitoring pembacaan sensor.

Dengan demikian, maka tujuan dari tugas akhir ini adalah membuat alat kontrol sistem dual baterai disertai dengan sistem monitoring. Sistem dual baterai ini akan diterapkan dalam sistem *photovoltaic off-grid*.

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perbandingan energi antara sistem single baterai dan dual baterai dalam sistem photovoltaic dengan menggunakan beban yang sama?
2. Bagaimana sistem dual baterai dalam sistem photovoltaic dapat memaksimalkan masa pakai baterai?

I.3 Batasan Masalah

1. Pengujian sistem bertempat di lingkungan kampus Polman Bandung
2. Pengujian dilakukan ketika panel surya mendapatkan sinar matahari (sekitar pukul 08.00 sampai 15.00) dan malam hari
3. Panel surya yang digunakan yaitu 100Wp
4. Baterai yang digunakan yaitu Lead Acid 12V 10Ah
5. Beban yang digunakan pada pengujian adalah 1 buah lampu LED 25 Watt dan Motor DC 12/24V
6. Parameter yang akan digunakan adalah energi dan durasi pengosongan baterai

I.4 Tujuan dan Manfaat

Berdasarkan pada rumusan masalah, maka penelitian ini bertujuan dan bermanfaat untuk:

1. Membuat alat kontrol dan monitoring sistem penyimpanan energi surya yang dapat memaksimalkan umur pakai baterai.
2. Mengetahui perbedaan penggunaan energi dan durasi pengosongan antara sistem single baterai dan dual baterai.

Tugas akhir ini akan bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan terutama dalam bidang energi. Alat hasil dari tugas akhir ini dapat digunakan di rumah sebagai cadangan energi apabila terjadi pemadaman listrik atau bisa digunakan oleh pihak institusi sebagai bahan ajar untuk mahasiswa.

I.5 Sistematika Penulisan

Sistematika Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN, berisi uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi gambaran umum tentang landasan teori untuk menjelaskan beberapa istilah dan ilmu terkait serta melihat hasil pencapaian penelitian terdahulu dengan kajian yang sama.

BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH, berisi langkah-langkah penyelesaian tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, berisi jawaban permasalahan yang dirumuskan, dan penjelasan mengenai hasil-hasil TA.

BAB V PENUTUP, berisi kesimpulan dari pembahasan hasil TA dan saran sebagai referensi bagi peneliti yang akan mengembangkan TA tersebut.