

**PENYEIMBANGAN PENGISIAN *BATTERY ARRAY*  
MENGUNAKAN *ACTIVE EQUALIZER* DAN *MONITORING*  
BERBASIS *INTERNET OF THINGS* PADA *PHOTOVOLTAIC*  
*SYSTEM***

**SKRIPSI**

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



Disusun oleh:

**MUHAMMAD DZIKRY AFFATAH**

**3332170053**

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

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : *Penyeimbangan Pengisian Battery Array Menggunakan Active Equalizer Dan Monitoring Berbasis Internet of Things Pada Photovoltaic System.*

Nama Mahasiswa : Muhammad Dzikry Affatah

NPM : 3332170053

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 dipertanggungjawabkan. 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, Rabu 31 Januari 2024



**Muhammad Dzikry Affatah**  
3332170053

## LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini ditetapkan bahwa Skripsi berikut:

Judul : *Penyeimbangan Pengisian Battery Array Menggunakan Active Equalizer Dan Monitoring Berbasis Internet of Things Pada Photovoltaic System.*

Nama Mahasiswa : Muhammad Dzikry Affatah

NPM : 3332170053

Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro

Telah diuji dan dipertahankan pada Rabu, 31 Januari 2024 melalui Sidang Skripsi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan **LULUS / ~~TIDAK LULUS~~**

### Dewan Penguji

Pembimbing I : Dr. Eng. Rocky Alfan, S.T., M.Sc.

Pembimbing II : -

Penguji I : Prof. Dr. Alimuddin, S.T., M.M., M.T.

Penguji II : Ceri Ahendyarti, S.T., M.Eng.

Tanda Tangan



Mengetahui,  
Ketua Jurusan



**Dr. Eng. Rocky Alfan, S.T., M.Sc.**  
NIP. 198103282010121001

## **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 Tritayasa.

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 terimakasih 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, Rabu 31 Januari 2024

Penulis

## ABSTRAK

Muhammad Dzikry Affatah  
Teknik Elektro

Perencanaan Penyeimbangan Pengisian *Battery Array* Menggunakan BMS dan *Monitoring* Berbasis *Internet of Things* pada *Photovoltaic System*.

Sistem Photovoltaic (PV) memanfaatkan energi matahari menjadi listrik, termasuk dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid yang mengandalkan baterai sebagai cadangan. Baterai lithium ringan dan efisien digunakan dengan Battery Management System (BMS) untuk mengawasi dan meningkatkan kinerja. Penelitian ini mengembangkan BMS yang mengintegrasikan pengisian-pengosongan efisien, kontrol suhu, dan monitoring IoT, meningkatkan performa dan umur baterai. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu memantau tegangan, arus, suhu, serta persentase *State of Charge* (SoC) dan *Depth of Discharge* (DoD) baterai dengan akurasi yang baik, dengan rata-rata *error* kalibrasi sebesar 2,438% untuk tegangan dan 2,699% untuk arus. Selain itu, sistem ini dapat melindungi baterai dari *overcharge*, *overdischarge*, dan *overheat*, yang secara signifikan meningkatkan umur pakai baterai. Informasi tegangan, arus, dan status baterai dikirimkan melalui IoT menggunakan modul ESP32 dan tersimpan pada *platform* IoT dengan konektivitas internet, serta data dapat disimpan di penyimpanan *cloud platform* IoT. Penelitian ini memiliki potensi untuk meningkatkan kinerja sistem fotovoltaik dengan memastikan baterai bekerja pada kondisi yang optimal dan aman. Penggunaan IoT juga memungkinkan pemantauan jarak jauh dan manajemen yang lebih efisien.

Kata kunci: Sistem Fotovoltaik, BMS, Baterai Lithium, IoT, Pemantauan dan Perlindungan.

## **ABSTRACT**

Muhammad Dzikry Affatah  
Electrical Engineering

Balancing Battery Array Charging Planning Using BMS and Internet of Things  
Based Monitoring on Photovoltaic Systems.

Photovoltaic (PV) systems harness solar energy into electricity, including off-grid Solar Power Plants (PLTS) relying on batteries as reserves. Lightweight and efficient lithium batteries are utilized with a Battery Management System (BMS) to oversee and enhance performance. This research develops a BMS integrating efficient charging-discharging, temperature control, and IoT monitoring, improving battery lifespan and performance. Test results demonstrate accurate monitoring of voltage, current, temperature, State of Charge (SoC), and Depth of Discharge (DoD), with calibration errors averaging 2.438% for voltage and 2.699% for current. Additionally, the system safeguards against overcharge, overdischarge, and overheat, significantly prolonging battery lifespan. Voltage, current, and battery status information is transmitted via IoT using the ESP32 module and stored on an IoT platform with internet connectivity, with data also stored in cloud storage. This research has the potential to enhance photovoltaic system performance by ensuring batteries operate under optimal and safe conditions. The utilization of IoT enables remote monitoring and more efficient management.

Keywords: Photovoltaic System, BMS, Lithium Battery, IoT, Monitoring and Protection.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	6
2.2 PLTS <i>Off-Grid</i> .....	6
2.3 Sistem DC-Coupling.....	6
2.4 Komponen Penyusun Sistem PLTS .....	7
2.4.1 Modul Surya .....	7
2.4.2 <i>Solar Charge Controller</i> .....	7
2.4.3 <i>Inverter</i> .....	8
2.5 Baterai.....	8
2.5.1 Parameter Baterai.....	8
2.5.2 Klasifikasi Baterai.....	9
2.5.3 Baterai Lithium-Ion .....	10
2.6 <i>Battery Management System</i> .....	11
2.7 Mikrokontroler ESP32.....	12
2.8 Sensor Tegangan.....	13
2.9 Sensor ACS712.....	13
2.10 Sensor DS18B20.....	15
2.11 <i>OLED Display</i> .....	16
2.12 Peltier TEC1-12706.....	16
2.13 Modul <i>Relay</i> .....	17
2.14 <i>Internet of Things</i> .....	18
2.15 Kajian Pustaka .....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	20
3.1 Perancangan Penelitian .....	20
3.1.1 Diagram Blok Sistem.....	20
3.1.2 Diagram Alir Sistem <i>Monitoring</i> .....	21
3.1.3 Diagram Alir Sistem Proteksi.....	22
3.2 Perancangan Sistem <i>Monitoring</i> .....	23
3.2.1 Rangkaian <i>Input</i> Sistem <i>Monitoring</i> .....	23

3.2.2	Rangkaian <i>Output</i> Sistem <i>Monitoring</i> .....	24
3.2.3	Perancangan <i>Dashboard</i> Thinger.io .....	25
3.3	Perancangan Sistem Proteksi .....	25
3.4	Spesifikasi dan Konfigurasi Baterai.....	26
3.5	Pemodelan Sistem BMS <i>Active Equalizer</i> .....	27
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	29
4.1	Hasil Perancangan Alat.....	29
4.2	Pengujian Parsial.....	30
4.2.1	Pengujian Sensor Tegangan.....	31
4.2.2	Pengujian Sensor Arus.....	32
4.2.3	Pengujian Sensor Suhu .....	34
4.3	Pengujian Integrasi.....	35
4.4	Data Perekaman dan Parameter Pengujian .....	36
4.5	Data Perekaman Kondisi Pengisian dan Pengosongan Baterai .....	40
4.6	Kondisi Suhu Selama Pengisian dan Pengosongan Baterai.....	41
4.7	Kondisi Pendingin Suhu Baterai.....	43
4.8	Performa <i>Active Equalizer Balancer</i> Baterai .....	45
4.9	Hasil Sistem Proteksi Baterai.....	49
4.10	Pengiriman Mikrokontroler ke Platform Thinger.io.....	51
BAB V	PENUTUP.....	53
5.1	Kesimpulan .....	53
5.2	Saran .....	53
DAFTAR PUSTAKA	.....	54
.....	.....	1



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konfigurasi Penyambungan Sistem DC [20] .....	7
Gambar 2.2 Parameter Baterai .....	9
Gambar 2.3 Prinsip Pengisian dan Pengosongan Baterai Lithium-Ion.....	11
Gambar 2.4 Deskripsi Komponen ESP32 [30] .....	12
Gambar 2.5 Rangkaian Resistor Pembagi Tegangan.....	13
Gambar 2.6 Rangkaian <i>Integrated Hall</i> IC pada ACS712.....	14
Gambar 2.7 Sensor Suhu DS18B20 .....	15
Gambar 2.8 OLED <i>Display</i> Tipe SH1106 .....	16
Gambar 2.9 <i>Thermo Electric Cooler</i> Seri TEC1-12706[33].....	17
Gambar 2.10 Modul <i>Relay</i> 5V 2 Kanal.....	17
Gambar 2.11 Gambaran Umum Thingier.io [36].....	18
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem .....	20
Gambar 3.2 Diagram Alir Sistem <i>Monitoring</i> .....	21
Gambar 3.3 Diagram Alir Sistem Proteksi .....	22
Gambar 3.4 Rangkaian <i>Input</i> Sistem <i>Monitoring</i> .....	23
Gambar 3.5 Rangkaian <i>Output</i> Sistem <i>Monitoring</i> .....	24
Gambar 3.6 Tampilan Antarmuka <i>Dashboard</i> Thingier.io.....	25
Gambar 3.7 Rangkaian Sistem Proteksi.....	26
Gambar 3.8 Rangkaian <i>Active Equalizer</i> 3S .....	27
Gambar 3.9 Proses Penyeimbangan <i>Active Equalizer</i> .....	28

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Baterai [24] .....	10
Tabel 2.2 Spesifikasi Baterai yang Digunakan .....	14
Tabel 2.3 Spesifikasi Baterai yang Digunakan .....	15
Tabel 3.1 Spesifikasi Baterai yang Digunakan .....	26
Tabel 4.1 Nilai <i>Error</i> Pengujian Sensor Tegangan.....	32
Tabel 4.2 Nilai <i>Error</i> Pengujian Sensor Arus.....	33
Tabel 4.3 Nilai <i>Error</i> Pengujian Sensor Suhu .....	34
Tabel 4.4 Nilai Iradiasi Berdasarkan Kondisi Cuaca.....	37
Tabel 4.5 Nilai Suhu Lingkungan Berdasarkan Kondisi Cuaca .....	38
Tabel 4.6 Nilai Suhu Panel Berdasarkan Kondisi Cuaca.....	39
Tabel 4.7 Periode Pengisian dan Pengosongan Baterai .....	41
Tabel 4.8 Kondisi Suhu Baterai Ketika Pengisian.....	42
Tabel 4.9 Kondisi Respon Pendingin Baterai .....	44
Tabel 4.10 Nilai Pengisian dan Pengosongan pada 7 Agustus .....	46
Tabel 4.11 Selisih Nilai Baterai Antar String pada 7 Agustus.....	46
Tabel 4.12 Nilai Pengisian dan Pengosongan 11 Agustus.....	47
Tabel 4.13 Selisih Nilai Baterai Antar String pada 11 Agustus.....	47
Tabel 4.14 Nilai Pengisian dan Pengosongan 13 Agustus.....	49
Tabel 4.15 Selisih Nilai Baterai Antar String pada 13 Agustus.....	49

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Matahari dianggap sebagai sumber energi terbarukan yang memiliki keunggulan relatif tinggi dibandingkan sumber energi terbarukan lainnya. Keunggulannya meliputi ketersediaan yang tak terbatas, distribusi merata di seluruh wilayah, dampak lingkungan minimal, dan fasilitas pasokan yang bebas risiko terhadap bencana alam, perusakan manusia, serta politik lokal maupun internasional[1]. Potensi besar energi surya di Indonesia disebabkan letak geografis negara ini yang berada di garis khatulistiwa. Potensi energi surya yang dapat dimanfaatkan di seluruh daratan Indonesia yang mencakup luas 2 juta km<sup>2</sup> adalah sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup> per hari, setara dengan 112.000 GWp yang dapat didistribusikan menjanjikan sebagai sumber energi terbarukan dan berkelanjutan dengan sumber energinya tidak terbatas dengan intensitas rata-rata mencapai 2.000 jam per tahun[2][3].

Sistem PV terdiri dari sel fotovoltaik yang mengubah energi foton dari sinar matahari menjadi energi listrik melalui proses konversi di lapisan-lapisan tipis material murni silikon (Si) dan material semikonduktor lainnya. Ketika bahan tersebut menerima energi foton, elektron terlepas dari ikatan atomnya, menjadi elektron yang bergerak bebas dan menghasilkan tegangan listrik arus searah[4]. Dalam pembangkit listrik tenaga surya, salah konfigurasinya adalah PLTS *off-grid* atau *stand-alone* yang tidak terhubung dengan jaringan PLN dimana secara umum, dalam operasinya, sistem PLTS *off-grid* menggunakan baterai sebagai penyimpan energi cadangan untuk memastikan kelancaran pasokan listrik ke beban karena daya sistem *off-grid* dihasilkan hanya saat sinar matahari tersedia. Oleh karena itu, sistem photovoltaic yang menjadi satu-satunya sumber pembangkitan diperlukan sistem penyimpanan[5][6][7].

Sistem penyimpanan energi mencakup metode dan teknologi untuk menyimpan berbagai jenis energi, seperti energi listrik, elektrokimia, kimia, mekanik, termal, dan bentuk energi lainnya. Baterai paling umum digunakan untuk menyimpan energi listrik untuk digunakan dalam jangka waktu tertentu[8][9].

Beberapa jenis baterai telah diciptakan dengan berbagai fungsi serta kebutuhan penggunaan, diantaranya adalah baterai jenis lithium.

Baterai lithium, ringan dan memiliki daya serap tinggi, dapat diisi ulang tanpa memori efek. Anoda dan katoda dari baterai ini terbuat dari karbon dan oksida lithium, dengan elektrolit dan larutan penyangga mendukung pergerakan ion dalam reaksi elektrokimia. Penelitian komprehensif difokuskan pada pengelolaan charging dan discharging, estimasi sisa umur pakai, dan karakterisasi penurunan performa baterai lithium. Kegagalan baterai dapat menyebabkan bencana, gangguan operasional, dan penurunan kinerja[10][11][12].

*Battery Management System* (BMS) tidak hanya melindungi baterai, tetapi juga meningkatkan kinerja dan keamanannya. Fungsinya mencakup monitoring sel, keamanan, estimasi status pengisian dan kesehatan baterai, penyeimbangan sel, manajemen termal, dan kendali pengisian daya, BMS memastikan tindakan korektif pada kondisi abnormal, meskipun BMS bawaan tidak dapat dipantau langsung, IoT memungkinkan pengumpulan, penyimpanan, dan pengiriman data serta memberikan pemantauan langsung dan pengendalian parameter BMS[13][14][15].

*Internet of Things* (IoT) adalah jaringan perangkat terhubung yang mendukung komunikasi antar perangkat. Ini melibatkan teknologi seperti sensor, aktuator, sistem operasi, mikrokontroler, teknologi komunikasi, keamanan, platform IoT, dan alat analitik [16]. Sistem IoT menggabungkan perangkat keras dan perangkat lunak, saling terhubung melalui jaringan untuk pengumpulan, pemrosesan, dan pertukaran data yang berguna [17].

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian mendesain sistem *Battery Management System* yang bersumberkan panel surya dengan menggabungkan beberapa metode kendali penyeimbang pengisian dan pengosongan untuk mengoptimalkan proses pengisian dan pengosongan agar menjaga kapasitas baterai selalu pada kondisi optimal serta kendali suhu untuk menjaga baterai agar terjaga dari kondisi penurunan akibat suhu sehingga menambah *lifetime* pemakaian baterai dan juga disertai beberapa sensor untuk memantau parameter baterai seperti tegangan baterai, arus baterai, kapasitas baterai dan suhu baterai serta *monitoring* berbasis *internet of thing* juga digunakan untuk memudahkan pengguna untuk monitoring jarak jauh.

## 1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana merancang dan membuat sistem *monitoring* tegangan, arus, suhu dan SoC serta DoD pada BMS untuk *battery array* PLTS?
2. Bagaimana merancang dan membuat sistem proteksi pengisian dan pengosongan pada baterai lithium?
3. Bagaimana merancang sistem pengiriman informasi tegangan, arus, suhu dan persentase SoC serta DoD menggunakan modul ESP32 dengan teknologi *Internet of Things*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai yaitu sebagai berikut:

1. Merancang dan membuat sistem *monitoring* tegangan, arus, suhu dan persentase SoC serta DoD pada BMS untuk *battery array* PLTS.
2. Merancang dan membuat sistem proteksi pengisian dan pengosongan pada baterai lithium.
3. Menggunakan metode pengiriman informasi tegangan, arus dan persentase SoC serta DoD menggunakan modul ESP32 agar sistem *monitoring* lebih efektif dan efisien.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Terciptanya *Battery Management System* (BMS) yang terintegrasi sehingga baterai susun dapat diproteksi dan dipantau pada kondisinya setiap saat.
2. Mampu berkontribusi terhadap perkembangan pembangkit listrik energi baru terbarukan, khususnya dalam bidang *Energy Storage System* (ESS) di pembangkit listrik tenaga surya.
3. Membantu dan mempermudah *monitoring* efisiensi pengisian *battery array* dari jarak jauh dan secara *realtime*.

## 1.5 Batasan Masalah

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

1. Penelitian ini membahas mengenai perbandingan efisiensi pengisian dan pengosongan *battery array* menggunakan *cell balancing* dengan metode *Active Equalizer BMS*.
2. Komponen perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini meliputi mikrokontroler ESP32, sensor ACS712 untuk mengukur arus, sensor DS18B20 untuk mengukur suhu, rangkaian *voltage divider* untuk mengukur tegangan dan TEC1-12706 *thermoelectric* untuk sistem pendinginan baterai.
3. Perancangan *battery array* yang digunakan pada penelitian ini memiliki spesifikasi tegangan per sel 3,7 V dan kapasitas per sel 2.600 mAh dengan konfigurasi susun 3 seri 8 paralel.
4. Metode pengisian *battery array* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *Solar Charge Control* jenis *Maximum Power Point Tracking* dengan tegangan pengisian sebesar 12,6 V dan arus pengisian sebesar 1.3 A.
5. Metode pengosongan *battery array* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan beban lampu DC 12 V 25 W.
6. Penelitian ini sumber listrik pengisian *battery array* menggunakan sistem PLTS dengan modul surya jenis *monocrystalline* 310 Wp dengan *solar charge control* MPPT 20 A.
7. *Platform* yang digunakan untuk monitoring berbasis *Internet of Things* pada penelitian ini adalah Thinger.io.

## 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 penyeimbangan pengisian dan pengosongan *battery array* serta data monitoring *battery array*.

## 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.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chigbogu Godwin Ozoegwu, “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, pp. 146–159, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.04.050.
- [2] J. Sambaliung No, K. Samarinda Ulu, K. Samarinda, and K. Timur, “Analisis Efisiensi Panel Surya Sebagai Energi Alternatif Rahmat Hasrul,” *Jurnal Sain, Energi, Teknologi dan Industri*, vol. 5, no. 2, pp. 79–87, 2021.
- [3] J. M. Kadang and J. Windarta, “Optimasi Sosial-Ekonomi pada Pemanfaatan PLTS PV untuk Energi Berkelanjutan di Indonesia,” *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 2, no. 2, pp. 74–83, Jul. 2021, doi: 10.14710/jebt.2021.11113.
- [4] Safri Nahela, Ivan Fauzi Faridyan, Noviadi Arief Rachman, Agus Risdiyanto, and Bambang Susanto, “Analisa Unjuk Kerja Grid Tied Inverter Terhadap Pengaruh Radiasi Matahari dan Temperatur PV pada PLTS On Grid,” *ELKHA*, vol. 11, no. 2, pp. 60–65, 2019.
- [5] Tony Koerniawan and Aas Wasri Hasanah, “KAJIAN SISTEM KINERJA PLTS OFF-GRID 1 kWp DI STT-PLN,” *JURNAL ENERGI DAN KELISTRIKAN*, vol. 10, no. 1, pp. 38–44, 2018.
- [6] H. Rusiana Iskandar *et al.*, “ANALISIS PERFORMA BATERAI JENIS VALVE REGULATED LEAD ACID PADA PLTS OFF-GRID 1 KWP,” vol. 13, no. 2, 2021, doi: 10.24853/jurtek.13.2.129-140.
- [7] A. A. Elbaset, S. A. M. Abdelwahab, H. A. Ibrahim, and M. A. E. Eid, *Performance Analysis of Photovoltaic Systems with Energy Storage Systems*. 2019. doi: 10.1007/978-3-030-20896-7.
- [8] Pujianto, Asepta Surya Wardhana, Alfin Sahrin, and Astrie Kusuma Dewi, “RANCANG BANGUN PENYIMPANAN ENERGI LISTRIK PADA PHOTOVOLTAIC MENGGUNAKAN BATERAI LITHIUM UNTUK APLIKASI DC HOUSE,” vol. 1, pp. 876–886, 2021, doi: <https://doi.org/10.53026/sntem.v1i2.559>.
- [9] Muslih Nasution, “Karakteristik Baterai Sebagai Penyimpan Energi Listrik Secara Spesifik,” *Cetak) Journal of Electrical Technology*, vol. 6, no. 1, 2021.
- [10] Asnal Effendi, Frasha Kusuma, Andi M Nur Putra, Siti Amalia, and Arfita Yuana Dewi, “Study Pengisian Energi Ke Baterai Terhadap Output Energi Panel Surya Dengan Menggunakan Solar Tracker 4 Axis,” *Kp. Olo*, p. 25143, 2022, doi: 10.30596/rele.v1i1.10787.



- [11] Siti Unvaresi M. Beladona *et al.*, “Sifat Perovskit sebagai Material Elektroda untuk Baterai Lithium-Ion (LIB),” *BOHR: Jurnal Cendekia Kimia*, vol. 01, pp. 13–21, 2022, [Online]. Available: <https://e-journal.upr.ac.id/index.php/bohr/13>
- [12] SHAHID A. HASIB *et al.*, “A Comprehensive Review of Available Battery Datasets, RUL Prediction Approaches, and Advanced Battery Management,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 86166–86193, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3089032.
- [13] Manh-Kien Tran, Satyam Panchal, Tran Dinh Khang, Kirti Panchal, Roydon Fraser, and Michael Fowler, “Concept Review of a Cloud-Based Smart Battery Management System for Lithium-Ion Batteries: Feasibility, Logistics, and Functionality,” *Batteries*, vol. 8, no. 2, Feb. 2022, doi: 10.3390/batteries8020019.
- [14] Hossam A. Gabbar, Ahmed M. Othman, and Muhammad R. Abdussami, “Review of Battery Management Systems (BMS) Development and Industrial Standards,” *Technologies (Basel)*, vol. 9, no. 2, p. 28, Apr. 2021, doi: 10.3390/technologies9020028.
- [15] Catarina Reis and Marisa da Silva Maximiano, *Internet of things and advanced application in healthcare*, 1st ed., vol. 1. 701 E. Chocolate Avenue: IGI Global, 2017.
- [16] Seri Megawati and Ansarullah Lawi, “Pengembangan Sistem Teknologi Internet of Things Yang Perlu Dikembangkan Negara Indonesia”, doi: <https://doi.org/10.26740/jieet.v5n1.p19-26>.
- [17] Abdulrahman Alreshidi and Aakash Ahmad, “Architecting software for the Internet of Thing based systems,” *Future Internet*, vol. 11, no. 7, Jul. 2019, doi: 10.3390/fi11070153.
- [18] M. Syahwil and N. Kadir, “Rancang Bangun Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Off-grid Sebagai Alat Penunjang Praktikum Di Laboratorium,” *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, vol. 3, no. 1, pp. 2654–251, 2021.
- [19] Putu Pawitra Teguh, Suwarno, and M. Fitra Zambak, “Optimalisasi Kecepatan Putaran Motor Listrik Sebagai Beban Pada PLTS 5 kWp,” *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 8–15, 2022, doi: <https://doi.org/10.30596/rele.v1i1.10784>.
- [20] B. Ramadhani, *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos and Don'ts*, 1st ed., vol. 1. Jakarta: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2018.
- [21] Bagas Widodo and Winarso, “Peningkatan Energi Listrik Serta Daya Keluaran Pada Panel Surya Dengan Penambahan Sistem Pendingin Heatsink

- Dan Reflektor Aluminium Foil,” *JURNAL TEKNIK ELEKTRO DAN KOMPUTER TRIAC*, vol. 9, no. 1, 2022, doi: <https://doi.org/10.21107/triac.v9i1.14278>.
- [22] K. Joni, M. Zain, R. Alfita, and M. Ulum, “Sistem Mekanik Smart Electric Solar Car Berbasis Android,” *JEECOM*, vol. 3, no. 1, 2021.
- [23] R. Mochammad, F. Rahman, A. Mashar, and E. Yusuf, “Perancangan Inverter PLTS Atap Off-Grid Kapasitas 1300 VA,” *Industrial Research Workshop and National Seminar*, pp. 13–14, 2022, doi: <https://doi.org/10.35313/irwns.v13i01.4224>.
- [24] C. Julien, A. Mauger, A. Vijn, and K. Zaghbi, *Lithium Batteries: Science and Technology*. Springer Nature Switzerland AG, 2015. doi: 10.1007/978-3-319-19108-9.
- [25] R. Korthauer, *Lithium-ion batteries: Basics and applications*. Springer Berlin Heidelberg, 2018. doi: 10.1007/978-3-662-53071-9.
- [26] M. S. Hossain Lipu *et al.*, “Intelligent algorithms and control strategies for battery management system in electric vehicles: Progress, challenges and future outlook,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 292. Elsevier Ltd, Apr. 10, 2021. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126044.
- [27] F. Rahmasari, R. E. Saputra, and C. Setianingsih, “PENYEIMBANGAN SEL BATERAI PADA SMART HOUSE MENGGUNAKAN METODE PENYEIMBANGAN SEL PASIF BERBASIS IOT,” vol. 8, no. 5, p. 6470, 2021.
- [28] N. Ghaeminezhad, Q. Ouyang, X. Hu, G. Xu, and Z. Wang, “Active Cell Equalization Topologies Analysis for Battery Packs: A Systematic Review,” *IEEE Trans Power Electron*, vol. 36, no. 8, pp. 9119–9135, Aug. 2021, doi: 10.1109/TPEL.2021.3052163.
- [29] A. Imran and M. Rasul, “PENGEMBANGAN TEMPAT SAMPAH PINTAR MENGGUNAKAN ESP32,” 2020.
- [30] “ESP32 Series Datasheet Including,” 2022. [Online]. Available: <https://www.espressif.com/en/support/download/documents>.
- [31] ALLEGRO Microsystem, “ACS712 Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kV RMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor ACS712 2 ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS,” Feb. 07, 2022 [Online]. Available: [www.allegromicro.com](http://www.allegromicro.com)
- [32] DALLAS semiconductor, “DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire® Digital Thermometer,” 2022 [Online]. Available: [www.dalsemi.com](http://www.dalsemi.com)

- [33] T. Hariono, A. Mahdalena, and H. Ashoumi, "Automatic Water Temperature Control System In Hydroponic Plants With Peltier Tec1 12706 And Temperature Sensors DS18B20," pp. 438–445, 2021.
- [34] M. R. Alfariski, M. Dhandi, and A. Kiswantono, "Automatic Transfer Switch (ATS) Using Arduino Uno, IoT-Based Relay and Monitoring," *JTECS: Jurnal Sistem Telekomunikasi Elektronika Sistem Kontrol Power Sistem dan Komputer*, vol. 2, no. 1, p. 1, Feb. 2022, doi: 10.32503/jtecs.v2i1.2238.
- [35] D. Hidayat and I. Sari, "MONITORING SUHU DAN KELEMBABAN BERBASIS INTERNET of THINGS (IoT)," *Jurnal Teknologi Dan Ilmu Komputer Prima (JUTIKOMP)*, vol. 4, no. 1, pp. 525–530, 2021, doi: doi.org/10.34012/jutikomp.v4i1.1676.
- [36] INTERNET OF THINGER S.L., "OVERVIEW," 2022. <https://docs.thinger.io/> (accessed Dec. 04, 2022).
- [37] Matius Singgih Pamuji, Ekki Kurniawan, and Irham Mulkan Rodiana, "Rancang Bangun Catu Daya System Water Ionizer Menggunakan Modul Sel Surya dengan Penyimpanan pada Baterai Li-Ion 18650 untuk," *eProceedings of Engineering Telkom University*, vol. 9, no. 5, pp. 2310–2318, 2022.
- [38] Syariful Azis, Lukmanul Hakim, and Afri Yudamson, "Multiple Storage Device Pada Rangkaian Penyeimbang Baterai Untuk Aplikasi PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) Off Grid," *Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)*, vol. 5, pp. 158–162, 2022.