

**ANALISA WAKTU PENGISIAN BATERAI PADA PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA SURYA BENDUNGAN JATIBARANG KOTA  
SEMARANG**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT  
MEMPEROLEH GELAR SARJANA STRATA SATU (S1) PADA PROGRAM  
STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG



**Disusun oleh :**

**HILMANSYAH DWI TAMAPUTRA**

**NIM 30601700014**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

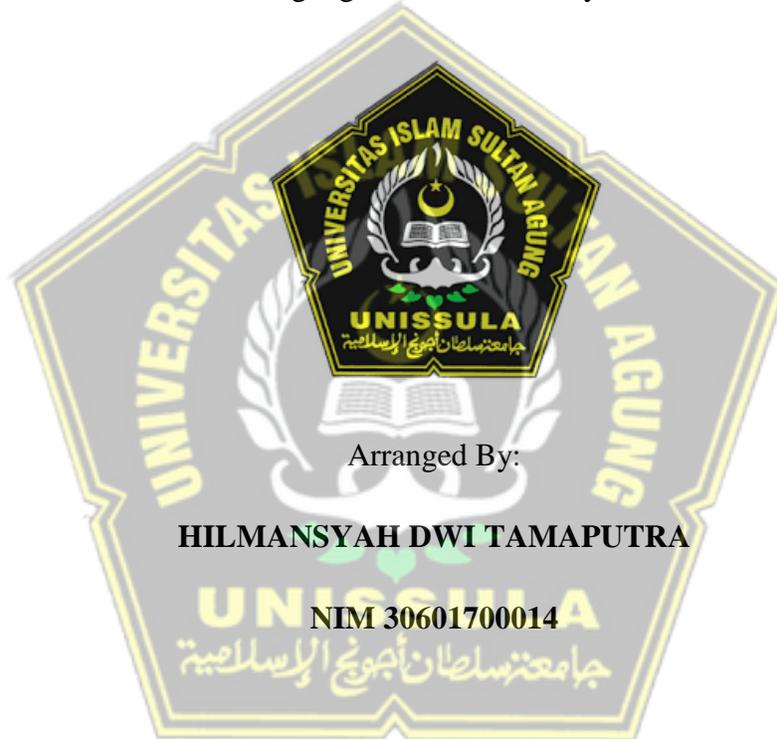
**SEMARANG**

**2023**

# **ANALYSIS OF BATTERY CHARGING TIME AT SOLAR POWER PLANT JATIBARANG DAM SEMARANG CITY**

## **FINAL PROJECT**

Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (SI) at  
Departement of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Sultan  
Agung Islamic University



Arranged By:

**HILMANSYAH DWI TAMAPUTRA**

**NIM 30601700014**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING**

**FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY**

**UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

**SEMARANG**

**2023**

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul "ANALISA WAKTU PENGISIAN BATERAI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA BENDUNGAN JATIBARANG KOTA SEMARANG" Ini disusun oleh :

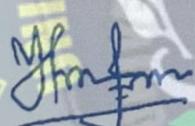
Nama : Hilmansyah Dwi Tamaputra  
Nim : 30601700014  
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Senin  
Tanggal : 10 Januari 2023

Pembimbing I

Pembimbing II

  
Ir. Ida Widihastuti, M.T.  
NIDN :0005036501

  
Dedi Nugroho, S.T., M.T.  
NIDN:0614117701

Mengetahui  
Ka. Prodi Teknik Elektro

  
Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.  
NIDN:0607018501

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

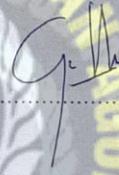
Laporan Tugas Akhir dengan judul "ANALISA WAKTU PENGISIAN BATERAI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA BENDUNGAN JATIBARANG KOTA SEMARANG" Ini telah dipertahankan di depan Penguji Sidang Tugas Akhir Pada :

Hari : Kamis  
Tanggal : 29 Desember 2022

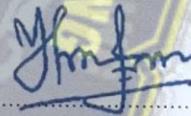
Tim Penguji

Tanda Tangan

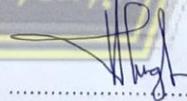
Gunawan, S.T.,M.T.  
NIDN:0607117101  
Ketua Penguji



Ir. Ida Widiastuti, M.T.  
NIDN :0005036501  
Penguji II



Dedi Nugroho. S.T.,M.T.  
NIDN:0614117701  
Penguji III



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hilmansyah Dwi Tamaputra  
NIM : 30601700014  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang dengan judul " **Analisa Waktu Pengisian Baterai Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Bendungan Jatibarang Kota Semarang**", adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 28 Oktober 2022

Yang Menyatakan  
  
METERAI  
TEMPEL  
FFAKX141689944  
Hilmansyah Dwi Tamaputra  
NIM.30601700014

## PERNYATAAN PERSETUJUAN UNGGAH KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Hilmansyah Dwi Tamaputra  
Nim : 30601700014  
Program Studi : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir/Skripsi/Tesis/Disertasi\* dengan judul :

ANALISA WAKTU PENGISIAN BATERAI PADA PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA SURYA BENDUNGAN JATIBARANG KOTA SEMARANG

dan menyetujuinya menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dalam pangkalan data, dan dipublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang 25 Januari 2023  
Yang menyatakan



Hilmansyah Dwi Tamaputra

## PERSEMBAHAN

Alhamdulillahill'alamiin Rasa syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, cinta, serta kasih sayang yang telah memberikan kekuatan dan juga kesabaran yang berlimpah sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya. Sholawat serta salam selalu terlimpah kepada Baginda Nabi besar kita Nabi Muhammad SAW, semoga kita mendapatkan syafa'at beliau di yaumul qiamah nanti, aamiin. Laporan tugas akhir ini saya persembahkan kepada orang-orang yang sangat saya sayangi dan cintai terutama kedua orang tua saya yaitu Bapak dan Ibu saya, sebagai wujud rasa terimakasih karena telah memberikan dukungan materiil maupun non materiil, motivasi yang besar, do'a yang selalu diberikan kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tak lupa juga saya ucapkan terimakasih kepada kakak kandung saya dan kekasih saya yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan pengalamannya kepada saya.

Terimakasih kepada saudara-saudara saya telah memberi dukungan dan do'a perhatian yang amat sangat berharga sehingga saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Saya ucapkan terimakasih juga kepada teman-teman seperjuangan Teknik Elektro angkatan 2017 dan teman-teman organisasi serta teman gang Abimanyu yang telah memberikan nasihat dan menjadi penyemangat saya dalam mengerjakan dan menyelesaikan tugas akhir ini

## MOTTO

“When You Want Something In Life, You Just Gotta Reach Out And Grab It.”

(Christopher McCandless – Into The Wild)

“Success Is Not The Key To Happiness, Happiness Is The Key To Success”

(Herman Cain)

“Jadikanlah sabar dan sholat sebagai penolongmu. Dan sesungguhnya yang demikian itu sungguh berat, kecuali bagi orang-orang yang khusyu”

(Qs. Al Baqarah: 45)

“Dan sungguh akan kami berikan cobaan kepadamu, dengan sedikit ketakutan, kelaparan, kekurangan harta, jiwa dan buah-buahan. Dan berikanlah berita gembira kepada orang-orang yang sabar”

(Qs. Al Baqarah: 155)

“Ya Rabbku, lapangkanlah untukku dadaku, dan mudahkanlah untukku urusanku, dan lepaskanlah kekakuan dari lidahku, supaya mereka mengerti perkataanku”

(Qs. Thaha: 25-28)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(Qs. Al Insyirah: 5)

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

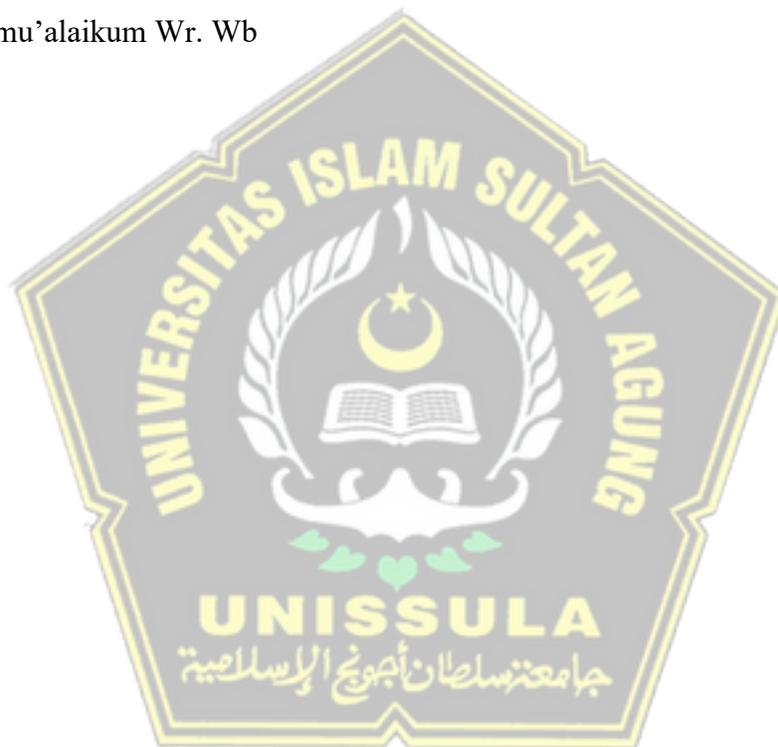
Alhamdulillahirobbilalamin segala puja dan puji syukur yang tak terhingga atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan sekaligus laporan tugas akhir yang berjudul “ANALISA WAKTU PENGISIAN BATERAI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA BENDUNGAN JATIBARANG KOTA” dengan sebaik-baiknya. Sholawat serta salam senantiasa turunkan kepada Nabi besar kita Nabi Muhammad SAW.

Laporan tugas akhir merupakan salah satu syarat bagi mahasiswa/i untuk meraih gelar sarjana (S1) di program studi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini tidak lepas mendapat bantuan dari berbagai pihak. Dengan rasa setulus hati, penulis ingin menyampaikan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Drs. H. Bedjo Santoso, MT., Ph.D selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung beserta jajarannya.
2. Ibu Dr. Novi Marlyana, ST., MT selaku Dekan di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung beserta jajarannya.
3. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
4. Dosen Pembimbing saya Ibu Ir. Ida Widiastuti, MT dan Bapak Dedi Nugroho, ST., MT yang telah membantu dan membimbing saya dengan sabar sampai laporan tugas akhir ini terselesaikan.
5. Dosen Penguji Sidang Tugas Akhir saya Bapak Gunawan, ST., MT selaku Ketua Penguji Sidang Tugas Akhir saya.
6. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu selama dibangku kuliah.
7. Staff dan Karyawan Fakultas Teknologi Industri yang sudah membantu dalam segala urusan tugas akhir mulai dari surat permohonan penelitian sampai sidang.

8. Terimakasih kepada pihak BBWS Pemali-Juana yang telah memberikan ijin kepada saya untuk dapat melakukan penelitian di OP3 Waduk Jatibarang.
9. Terimakasih kepada Korlap Waduk Jatibarang, pihak PLTS Bendungan Jatibarang dan pembimbing lapangan yang telah membimbing saat melakukan penelitian di PLTS Bendungan Jatibarang.
10. Terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dan memberi semangat pada saat penyelesaian laporan tugas akhir ini.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

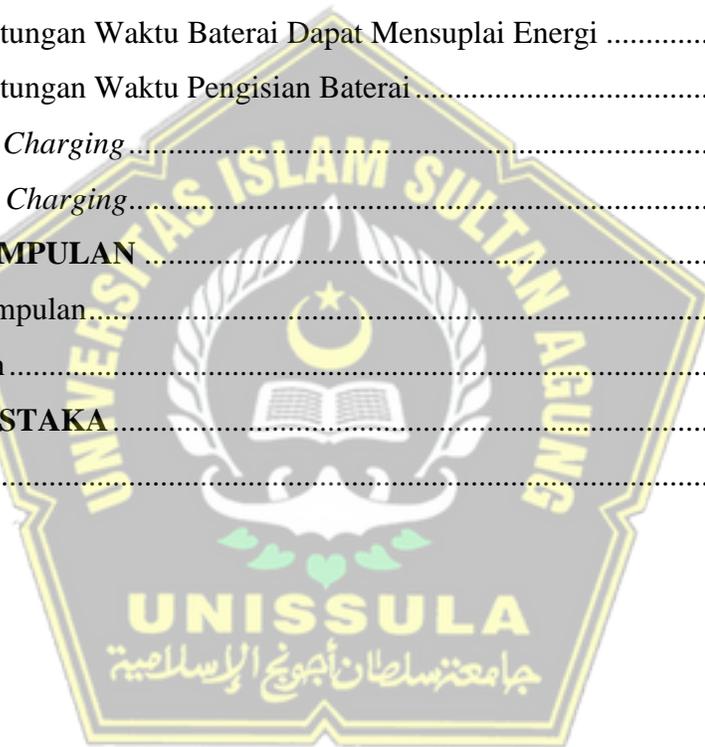


## DAFTAR ISI

|   |      |
|---|------|
| <b>LAPORAN TUGAS AKHIR</b> .....                              | i    |
| <b>FINAL PROJECT</b> .....                                    | ii   |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING</b> .....                     | iii  |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI</b> .....                        | iv   |
| <b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b> .....            | v    |
| <b>SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN UNGGAH KARYA ILMIAH</b> ..... | vi   |
| <b>PERSEMBAHAN</b> .....                                      | vii  |
| <b>MOTTO</b> .....  | viii |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                                   | ix   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                                       | xi   |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                                     | xiv  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                                    | xv   |
| <b>ABSTRAK</b> .....  | xvi  |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | xvii |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....                                | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                                      | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                     | 2    |
| 1.3 Batasan Masalah.....                                      | 2    |
| 1.4 Tujuan Penelitian.....                                    | 3    |
| 1.5 Manfaat Tugas Akhir.....                                  | 3    |
| 1.6 Sistematika Penulisan.....                                | 4    |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b> .....          | 5    |
| 2.1 Tinjauan Pustaka .....                                    | 5    |
| 2.2 Dasar Teori.....  | 7    |
| 2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....             | 7    |
| 2.2.2 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....      | 9    |

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| 2.2.3                                  | Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ..... | 10        |
| 2.2.3.1                                | Panel Surya .....   | 10        |
| 2.2.3.2                                | <i>Pyranometer</i> .....                                    | 11        |
| 2.2.3.3                                | Inverter.....   | 12        |
| 2.2.3.4                                | <i>Energy Storage System (ESS)</i> .....                    | 12        |
| 2.2.3.5                                | <i>Converter Storage System (CSS)</i> .....                 | 13        |
| 2.2.3.6                                | Baterai.....  | 13        |
| 2.2.4                                  | Fungsi Baterai Pada PLTS.....                               | 14        |
| 2.2.5                                  | Jenis-jenis Baterai PLTS.....                               | 14        |
| 2.2.6                                  | Tegangan Nominal Baterai .....                              | 16        |
| 2.2.7                                  | Kapasitas Baterai .....                                     | 16        |
| 2.2.8                                  | Siklus Hidup ( <i>Cycle Life</i> ) Baterai.....             | 17        |
| 2.2.9                                  | Kondisi Penyimpanan dan Pengeluaran Baterai.....            | 17        |
| 2.2.10                                 | SoC dan DoD Baterai .....                                   | 19        |
| 2.2.11                                 | Tahap charging .....  | 19        |
| 2.2.11.1                               | <i>Bulk Charging</i> .....                                  | 20        |
| 2.2.11.2                               | <i>Absorption Charging</i> .....                            | 20        |
| 2.2.11.3                               | <i>Equalization Charging</i> .....                          | 20        |
| 2.2.11.4                               | <i>Float Charging</i> .....                                 | 21        |
| 2.2.12                                 | Metode Charging Baterai.....                                | 21        |
| 2.2.12.1                               | Metode Slow Charging .....                                  | 21        |
| 2.2.12.2                               | Metode Fast Charging.....                                   | 22        |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b> |   | <b>23</b> |
| 3.1                                    | Model Penelitian.....                                       | 23        |
| 3.2                                    | Objek Penelitian .....                                      | 24        |
| 3.3                                    | Komponen dan Data Penelitian .....                          | 24        |
| 3.4                                    | Baterai .....   | 24        |
| 3.5                                    | Data Nilai Pengisian Energi Baterai Harian.....             | 26        |

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| 3.6                                      | Diagram Alur Penelitian.....                                     | 26        |
| 3.7                                      | Tahapan Penelitian .....   | 27        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b> |  | <b>28</b> |
| 4.1                                      | Sistem Sumber Pada Listrik Bendungan Jatibarang.....             | 28        |
| 4.2                                      | Data Energi PLTS Bendungan Jatibarang .....                      | 28        |
| 4.3                                      | Data Hasil Pengisian Baterai Dan Energi Yang Dihasilkan PV ..... | 29        |
| 4.4                                      | Perhitungan Kapasitas Baterai.....                               | 30        |
| 4.5                                      | Perhitungan Waktu Baterai Dapat Mensuplai Energi .....           | 31        |
| 4.6                                      | Perhitungan Waktu Pengisian Baterai .....                        | 33        |
| 4.6.1                                    | <i>Slow Charging</i> .....                                       | 41        |
| 4.6.2                                    | <i>Fast Charging</i> .....                                       | 41        |
| <b>BAB V KESIMPULAN .....</b>            |  | <b>43</b> |
| 5.1                                      | Kesimpulan.....  | 43        |
| 5.2                                      | Saran .....  | 44        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>              |  | <b>45</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                     |  | <b>46</b> |



## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 3.1 Spesifikasi Baterai yang dipakai pada PLTS Bendungan Jatibarang .....  | 25 |
| Tabel 4.1 Data Energi PLTS Bendungan Jatibarang Tahun 2021 .....                 | 28 |
| Tabel 4.2 Data Pengisian Energi Baterai Harian Dan Energi Yang Dihasilkan PV ... | 29 |
| Tabel 4.3 Kapasitas Baterai Lead Acid .....                                      | 31 |
| Tabel 4.4 Perhitungan Waktu Baterai Dapat Mensuplai Energi .....                 | 31 |



## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.1 Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....                   | 7  |
| Gambar 2.2 PLTS On-Grid.....  | 9  |
| Gambar 2.3 PLTS Off-Grid .....  | 10 |
| Gambar 2.4 PLTS Hybrid .....  | 10 |
| Gambar 2.5 Panel Surya.....   | 11 |
| Gambar 2.6 <i>Pyranometer</i> .....   | 11 |
| Gambar 2.7 Inverter .....   | 12 |
| Gambar 2.8 <i>Energy Storage System (ESS)</i> .....                         | 12 |
| Gambar 2.9 <i>Converter Storage System (CSS)</i> .....                      | 13 |
| Gambar 2.10 Kapasitas Baterai Terhadap Temperatur .....                     | 17 |
| Gambar 2.11 <i>Charging and Discharging Battery</i> .....                   | 18 |
| Gambar 2.12 SoC dan DoD Baterai .....                                       | 19 |
| Gambar 2.13 Bulk charging current sesuai kapasitas baterai .....            | 21 |
| Gambar 3.1 Instalasi PLTS Off Grid .....                                    | 23 |
| Gambar 3.2 PLTS Bendungan Jatibarang .....                                  | 24 |
| Gambar 3.3 Baterai PLTS Jatibarang .....                                    | 25 |
| Gambar 3.4 Diagram Alur Penelitian.....                                     | 27 |
| Gambar 4.1 Pengisian Baterai Berdasarkan Waktu Tanggal 1 Oktober 2021 ..... | 34 |
| Gambar 4.2 Pengisian Baterai Berdasarkan Waktu Tanggal 2 Oktober 2021 ..... | 35 |
| Gambar 4.3 Pengisian Baterai Berdasarkan Waktu Tanggal 3 Oktober 2021 ..... | 36 |
| Gambar 4.4 Pengisian Baterai Berdasarkan Waktu Tanggal 4 Oktober 2021 ..... | 37 |
| Gambar 4.5 Pengisian Baterai Berdasarkan Waktu Tanggal 5 Oktober 2021 ..... | 38 |
| Gambar 4.6 Pengisian Baterai Berdasarkan Waktu Tanggal 6 Oktober 2021 ..... | 39 |
| Gambar 4.7 Pengisian Baterai Berdasarkan Waktu Tanggal 7 Oktober 2021 ..... | 40 |

## ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga surya merupakan energi terbarukan yang memanfaatkan energi matahari dan merubahnya menjadi energi listrik. Terdapat 3 jenis PLTS yaitu On Grid, Off Grid dan Hybrid, Salah satu komponen terpenting dari pembangkit listrik tenaga surya berjenis Off Grid adalah baterai, baterai berfungsi sebagai penyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dan akan digunakan untuk mensuplai beban yang digunakan. Sistem penyimpanan energi sangat penting bagi PLTS dikarenakan dibutuhkan ketersediaan energi secara terus menerus pada saat mendung atau malam hari.

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai waktu pengisian baterai menggunakan metode sekunder yaitu pengambilan data yang sudah ada atau tercatat pada pembangkit listrik tenaga surya Jatibarang Kota Semarang. Data yang digunakan untuk penelitian tugas akhir adalah data energi yang tersimpan tercatat harian dimulai dari jam 06.00 sampai jam 17.00 selama bulan Oktober 2021 pada baterai PLTS dan spesifikasi komponen yang diperlukan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi lama waktu pengisian baterai antara lain kapasitas baterai, kondisi cuaca dan intensitas waktu penyinaran matahari yang mempengaruhi daya yang dihasilkan panel surya.

Dari penelitian didapatkan kapasitas baterai PLTS bendungan Jatibarang sebesar 451.200 Wh dan rata-rata dapat mensuplai energi selama 15,4 jam. Untuk mengisi ulang energi baterai dengan kapasitas 451.200 WH memerlukan waktu selama 12 jam apabila menggunakan metode slow charging dan 3 jam apabila menggunakan metode fast charging. Dari grafik pengisian baterai dan perhitungan baterai, metode yang digunakan PLTS Jatibarang pada bulan Oktober 2021 menggunakan metode fast charging, karena pada bulan oktober intensitas hujan yang tinggi. Metode Fast Charging digunakan saat kondisi musim hujan dikarenakan cuaca yang tidak menentu yang mempengaruhi lamanya penyinaran matahari yang berdampak pada pengisian energi pada baterai PLTS.

**Kata Kunci :** *PLTS, Baterai, Kapasitas, Pengisian*

## **ABSTRACT**

*Solar power plants are renewable energy that utilizes solar energy and converts it into electrical energy. There are 3 types of PLTS namely On Grid, Off Grid and Hybrid. One of the most important components of an Off Grid type solar power plant is a battery, the battery functions as a store of electrical energy generated by solar panels and will be used to supply the load used. Energy storage systems are very important for PLTS because it requires continuous energy availability on cloudy days or at night.*

*In this study, we will discuss the battery charging time using a secondary method, namely retrieval of existing or recorded data at the Jatibarang solar power plant, Semarang City. The data used for the final project research is stored energy data recorded daily starting from 06.00 to 17.00 during October 2021 on the PLTS battery and the required component specifications. There are several factors that affect the length of time for charging the battery, including battery capacity, weather conditions and the intensity of the time of sunlight that affect the power generated by solar panels.*

*From the research, it was found that the battery capacity of the Jatibarang Dam PLTS was 451,200 Wh and on average it could supply energy for 15.4 hours. To recharge a battery with a capacity of 451,200 WH it takes 12 hours if you use the slow charging method and 3 hours if you use the fast charging method. From the graph of battery charging and battery calculations, the method used by the Jatibarang PLTS in October 2021 uses the fast charging method, because in October the rain intensity is high. The Fast Charging method is used during rainy season conditions due to uncertain weather which affects the duration of solar radiation which has an impact on charging energy in the PLTS battery.*

**Keywords:** *PLTS, Battery, Capacity, Charging*

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Energi matahari digunakan untuk mengubah sinar matahari menjadi panas atau listrik untuk memenuhi kebutuhan energi manusia. Energi matahari digunakan dengan mengubah sinar matahari langsung menjadi panas atau listrik. Pemanfaat energi matahari salah satu caranya dengan membangun PLTS (pembangkit listrik tenaga surya). PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) adalah pembangkit listrik yang menggunakan sel surya (*photovoltaic, PV*) untuk mengubah sinar matahari menjadi listrik. Pembangkit listrik ini merupakan salah satu cara untuk menggunakan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan (*renewable energy*). Salah satu komponen PLTS adalah baterai yang berfungsi menyimpan daya listrik yang dihasilkan PLTS.

Seperti pada PLTS Bendungan Jatibarang, Kota Semarang, Jawa Tengah. Bendungan yang dibangun dari tanggal 15 Oktober 2009 sampai 5 Mei 2014 dan memiliki luas 189 hektare berlokasi di Kelurahan Kandri, Kecamatan Gunungpati, Kota Semarang. Pada tahun 2017 Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) mencoba mereplikasikan pembangunan pembangkit listrik tenaga matahari. Pembangunan PLTS di Waduk Jatibarang bertujuan untuk menyediakan sumber listrik untuk operasional bendungan secara mandiri. PLTS Jatibarang menggunakan jenis PLTS Off-Grid memiliki 936 Photovoltaic (PV) dengan kemiringan 30° dapat menghasilkan energi listrik sebesar 300 kilowatt peak (kWp) dan memiliki 100 buah baterai berjenis lead acid OPzV atau GEL yang masing masing baterai memiliki tegangan sebesar 48 V dan Arus sebesar 94 Ah.

Permasalahan dalam waktu pengisian baterai pada PLTS adalah waktu yang tidak konsisten selama pengisian baterai. Pada pembangkit listrik tenaga surya, sistem penyimpan energi memerlukan ketersediaan energi yang konstan, terutama pada

cuaca mendung dan pada malam hari saat tidak ada sinar matahari. Waktu pengisian baterai pada PLTS dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain kondisi cuaca dan lama penyinaran di daerah tersebut yang mempengaruhi nilai intensitas cahaya, tegangan (V), arus (I), energi yang akan dihasilkan, waktu yang dibutuhkan untuk pengisian baterai dan waktu seberapa lama baterai dapat mensuplai energi.

Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan diatas, maka penulis ingin melakukan penelitian mengenai “ ANALISA WAKTU PENGISIAN BATERAI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA BENDUNGAN JATIBARANG KOTA SEMARANG “

### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan sebelumnya, maka didapati beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan kapasitas baterai yang digunakan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) Bendungan Jatibarang untuk menyimpan energi yang dihasilkan panel surya ?
2. Bagaimana menghitung lama baterai dapat mensuplai energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Bendungan Jatibarang.
3. Bagaimana menghitung lama waktu pengisian baterai pada pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) Bendungan Jatibarang ?

### **1.3 Batasan Masalah**

Saat merencanakan penelitian ini, diuraikan permasalahan agar penelitian yang akan dilakukan lebih terarah dan mencapai hasil yang maksimal, adapun batasan masalah adalah sebagai berikut:

1. Penelitian akan dilakukan di PLTS Bendungan Jatibarang yang beralamatkan di Kelurahan Kandri, Kecamatan Gunungpati, Kota Semarang, Jawa Tengah.
2. PLTS JatiBarang memiliki 100 buah baterai terhubung paralel dengan kapasitas 94 Ah di tegangan 48 V dan setting DoD sebesar 20%.

3. Hanya membahas mengenai baterai pada PLTS, tidak membahas mengenai Waduk Jatibarang secara keseluruhan.
4. Lebih terfokus untuk membahas terkait waktu pengisian energi pada baterai saja, tidak membahas mengenai PLTS secara keseluruhan.
5. Pengambilan data yang akan dilakukan menggunakan sampel harian

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai oleh penulis dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui jumlah baterai yang digunakan di PLTS Bendungan Jatibarang.
2. Mengklasifikasikan jenis baterai yang digunakan di PLTS Bendungan Jatibarang.
3. Menghitung kapasitas baterai yang digunakan di PLTS Bendungan Jatibarang.
4. Menghitung berapa lama waktu pengisian baterai di Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Bendungan Jatibarang
5. Menghitung berapa lama baterai dapat mensuplai energi di Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Bendungan Jatibarang.

#### **1.5 Manfaat Tugas Akhir**

Manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui jumlah baterai yang digunakan di PLTS Bendungan Jatibarang.
2. Mengklasifikasikan jenis baterai yang digunakan di PLTS Bendungan Jatibarang.
3. Mengetahui kapasitas baterai yang digunakan di PLTS Bendungan Jatibarang.
4. Mengetahui berapa lama waktu pengisian baterai di Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Bendungan Jatibarang.
5. Mengetahui berapa lama baterai dapat mensuplai energi di Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Bendungan Jatibarang.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penelitian Tugas Akhir ini menggunakan sistematika untuk memperjelas pemahaman terhadap materi yang dijadikan objek Tugas Akhir. Adapun sistematika penulisan sebagai berikut :

### BAB I : PENDAHULUAN

Bab 1 meliputi Latar Belakang Masalah, Rumusan Masalah, Definisi Masalah, Tujuan Tugas Akhir, Keunggulan Tugas Akhir, dan Struktur Penulisan.

### BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab II memberikan tinjauan literatur dan landasan teori yang diperlukan untuk memecahkan masalah tugas akhir dan menarik hipotesis dari berbagai sumber yang digunakan sebagai dasar untuk pekerjaan tugas akhir

### BAB III : METODELOGI PENELITIAN

Bab III menjelaskan metodologi tugas akhir, termasuk waktu dan tempat penelitian, data setiap komponen yang digunakan dalam penelitian, dalam persiapan untuk pembuatan tugas akhir.

### BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV meliputi data tugas akhir, pengukuran, perhitungan, analisis, dan pengolahan data yang diperoleh dari lokasi penelitian untuk hasil tugas akhir.

### BAB V : PENUTUP

Bab V berisi kesimpulan dari pembahasan tugas akhir dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian yang sudah dilakukan dan membahas mengenai Baterai pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya, diantaranya sebagai berikut :

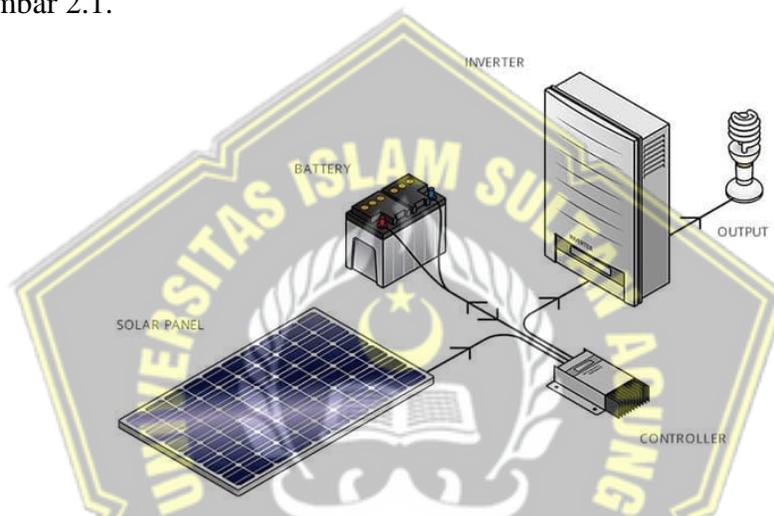
- a. Studi Penyimpanan Energi Pada Baterai PLTS. Penelitian yang dilakukan oleh Retno Aita Diantari, Erlina dan Christine Widyastuti Teknik Elektro STT-PLN. Kajian ini terkait dengan kajian penyimpanan energi PLTS. Karakteristik tersebut dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain kondisi cuaca dan lama penyinaran di daerah tersebut, yang mempengaruhi nilai intensitas cahaya, tegangan (V), arus (I) dan daya yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel surya yang terpasang dapat menghasilkan daya sebesar 1553,82 watt dalam sembilan jam penyinaran matahari dalam satu hari.[1]
- b. Analisis Performansi Pengisian Batere Sebagai Penyimpanan Energi Pada PLTS Mandiri 2000 Watt. Penelitian yang dilakukan oleh Aji Kumbara mahasiswa Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Palembang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baterai menghasilkan energi yang terus menerus, baterai tidak efisien 100%, sebagian energi hilang, misalnya panas reaksi kimia selama pengisian dan pengosongan.[2]

- c. Perancangan dan implementasi pengisian baterai lead acid menggunakan metode three steps. Penelitian yang dilakukan oleh Riandanu Aldy Sadewo , Ekky Kurniawan, S.T., M.T. , Kharisma Bani Adam, S.T., M.T. Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom. Dalam penelitian yang dilakukan dengan metode pengisian tiga fase, pengisian baterai timbal-asam dapat menghasilkan pengisian baterai yang menjaga baterai dalam kondisi penuh dan memperpanjang masa pakai baterai karena dapat mencegah baterai dari pengisian yang berlebihan. Dengan tegangan konstan atau arus konstan, waktu pengisian adalah 12 jam sampai 16 jam, karena metode pengisian tiga fase memiliki pengisian puncak, sehingga pengisian dapat secepat sistem baterai lainnya. Pengujian terakhir dilakukan dengan tiga keadaan baterai, yaitu di bawah 70%, antara 70% 90% dan di atas 90% untuk mendemonstrasikan metode pengisian tiga fase. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat sebuah sistem kontrol pengisian baterai yang dapat mengisi baterai sesuai kapasitas baterai.[3]
- d. Pengembangan Sistem Manajemen Baterai Pada PLTS Menggunakan On-Off Grid Tie Inverter. Penelitian yang dilakukan oleh Sapto Prayogo, Jurusan Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung. Pada penelitian ini dikembangkan sistem manajemen baterai untuk mengatur mekanisme *charging* dan *discharging* baterai pada inverter tipe grid on/off. Sistem manajemen baterai mengatur mekanisme pengisian baterai ketika bekerja sebagai inverter on-grid dan mengatur koneksi ke inverter ketika bekerja sebagai inverter off-grid, terutama untuk menghindari kondisi *over-discharge*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi BCU adalah 95,1% dan efisiensi inverter adalah 94,8%. Waktu transisi yang diperlukan untuk beralih dari mode offline ke mode online adalah 41,4 detik. Pemandangan sambungan baterai ke rangkaian inverter ke rangkaian pengisian baterai tidak mengganggu pengoperasian rangkaian utama PLTS off grid atau PLTS on grid.[4]

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang menggunakan sel surya (*Photovoltaic, PV*) untuk mengubah sinar matahari menjadi listrik. Pembangkit listrik ini merupakan sarana pemanfaatan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan (*renewable energy*). Instalasi PLTS sederhana ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Prinsip kerja panel surya adalah ketika mengenai panel surya, elektron sel surya bergerak dari N ke P dan terminal keluaran panel surya menghasilkan listrik. Besarnya listrik yang dihasilkan oleh panel surya bervariasi tergantung dari jumlah sel surya yang terhubung dengan panel surya. Output dari panel surya ini adalah arus searah (DC), tegangan output yang tergantung pada jumlah sel surya yang terpasang di panel surya dan jumlah sinar matahari yang menyinari panel surya.

Keluaran dari panel surya ini dapat langsung digunakan untuk beban-beban yang membutuhkan sumber DC arus rendah. Agar listrik yang dihasilkan dapat digunakan bahkan di malam hari (dalam situasi di mana panel surya tidak terkena sinar matahari), output dari panel surya ini harus terhubung ke pembawa data. Dalam hal ini, itu adalah baterai. Tetapi tidak terhubung langsung dari panel surya ke baterai, Anda perlu terhubung ke sirkuit kontrol di mana sirkuit tersebut memiliki sirkuit pengisian baterai otomatis.

Fungsi dari pengontrol ini adalah untuk mengatur tegangan keluaran panel surya dan secara otomatis mengatur arus baterai. Selain itu, pengontrol secara otomatis menghidupkan dan mematikan daya dari panel surya ke baterai dan memutus daya dari baterai ke beban jika terjadi korsleting atau kelebihan beban. Jenis regulator yang dirancang di sini adalah jenis modifikasi atau kombinasi regulator seri dan paralel.

Panel surya sebenarnya dapat digunakan secara langsung tanpa rangkaian regulator atau baterai, namun hal ini tidak dilakukan karena dapat membebani efisiensi panel (akibat overload) tanpa merusak panel surya yang mengancam jiwa. Selain itu, regulator ini juga berfungsi sebagai pelindung beban berlebih pada panel surya agar panel surya tidak cepat rusak.

Hubungan antara baterai dan beban berbanding lurus dengan beban. Saat baterai terisi penuh. Untuk melindungi baterai dari pengisian yang berlebihan atau hubungan arus pendek pada beban, baterai harus melewati sirkuit pelindung sebelum menghubungkan baterai secara langsung. Jika fungsinya cukup jelas, untuk melindungi baterai dari kelebihan beban atau korsleting.

Keluaran listrik dari PLTS ini berupa listrik arus AC, sehingga PLTS pembangkit arus searah (DC) tersebut harus dihubungkan dengan rangkaian elektronik atau modul elektronik yang disebut inverter DC-AC. Di mana inverter DC-AC. Digunakan untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Setelah mengubah DC menjadi AC, *output* AC dari inverter ini dapat digunakan langsung untuk menyalakan perangkat listrik dan elektronik yang membutuhkan AC.

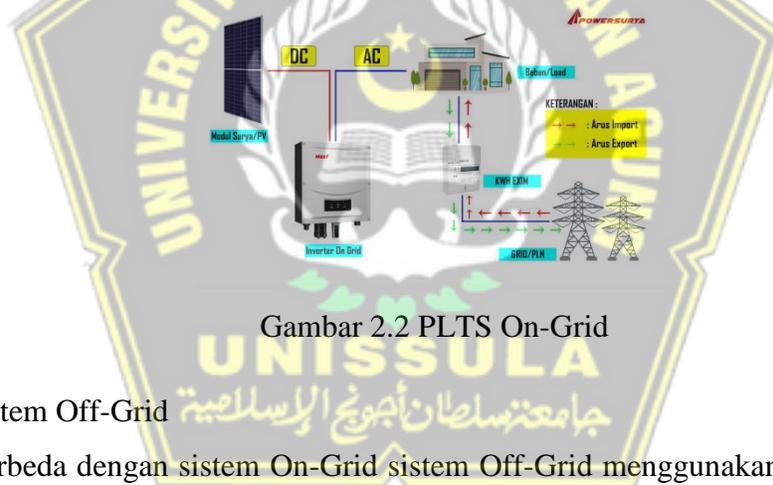
Tegangan keluaran dan daya yang akan dihubungkan ke beban harus sesuai dengan aktivitas inverter yang digunakan dan ukuran sistem penyimpanan yang digunakan *ampere-hour (AH)* atau (*ampere-hour baterai*).

### 2.2.2 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Klasifikasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ada 3 jenis, yaitu :

#### a. Sistem On-Grid

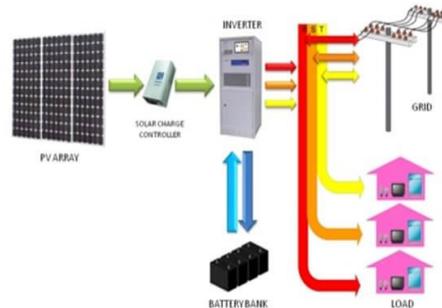
Sistem ini beroperasi tanpa menggunakan baterai sebagai unit penyimpanan arus listriknya, karena output daya yang dihasilkan langsung dialirkan menuju ke beban. Sistem jenis ini memiliki beberapa keunggulan diantaranya : lebih sedikit biaya investasinya karena tidak perlu membeli baterai sebagai unit penyimpanan arus listriknya. PLTS On-Grid dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 PLTS On-Grid

#### b. Sistem Off-Grid

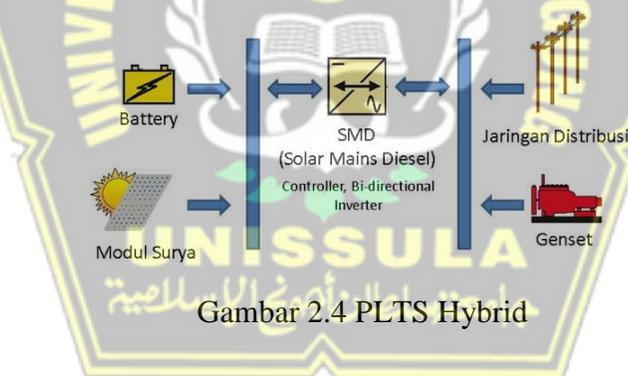
Berbeda dengan sistem On-Grid sistem Off-Grid menggunakan baterai sebagai unit penyimpanan arus listriknya, sistem jenis cocok diimplementasikan untuk daerah yang belum teraliri oleh listrik PLN. Sistem jenis Off-Grid memiliki investasi sedikit lebih banyak karena menggunakan baterai sebagai unit penyimpanan. PLTS Off-Grid dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 PLTS Off-Grid

c. Sistem Hybrid

Sistem Hybrid merupakan sebuah sistem yang mana gabungan antara sistem On-Grid dan Off-Grid, dimana terdapat baterai sebagai unit penyimpanan namun masih tersambung juga tersambung pula dengan listrik PLN. Fungsi baterai pada sistem ini hanya untuk sebagai cadangan jika sambungan listrik PLN terputus atau padam. PLTS Hybrid dapat dilihat pada gambar 2.4.[5]



Gambar 2.4 PLTS Hybrid

## 2.2.3 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

### 2.2.3.1 Panel Surya

Panel surya ini digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi listrik. Kebutuhan panel surya pada setiap instalasi berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan daya yang diinginkan (dalam watt). Komponen panel surya ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Panel Surya

### 2.2.3.2 Pyranometer

*Pyranometer* adalah alat untuk mengukur radiasi matahari. *Pyranometer* merupakan inovasi di bidang pengujian dan pengukuran sebagai alat ukur energi surya atau *solar cell device* yang mengukur besar kecilnya pengaruh radiasi cahaya pada permukaan datar dalam satuan  $W/m^2$ . *Pyranometer* memiliki sensor, yaitu sensor yang membaca nilai radiasi matahari yang memancar ke bumi secara *real time* saat diterima. *Pyranometer* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Pyranometer*

### 2.2.3.3 Inverter

Komponen inverter mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Oleh karena itu, komponen ini bersifat opsional. Tidak diperlukan beban arus searah (DC), komponen inverter dapat ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Inverter

### 2.2.3.4 Energy Storage System (ESS)

*Energy Storage System* (ESS) merupakan system yang digunakan untuk menyimpan energi listrik yang berlebih ke dalam baterai. Dengan kata lain ESS hanya akan bekerja jika ada listrik yang berlebih yang dilahirkan oleh panel surya dan akan disimpan kedalam baterai. *Energy Storage System* (ESS) dapat ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 *Energy Storage System* (ESS)

### **2.2.3.5 Converter Storage System (CSS)**

*Converter Storage System (CSS)* merupakan system yang digunakan untuk mengubah jenis arus listrik. CSS mampu mengubah arus listrik AC menjadi DC begitupun sebaliknya. CSS sangat penting dalam PLTS karena jenis arus yang dihasilkan panel surya berupa AC, sehingga agar dapat di simpat dalam baterai perlu adanya pengubahan jenis arus listrik. Converter Storage System (CSS) dapat ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Converter Storage System (CSS)*

### **2.2.3.6 Baterai**

Baterai berfungsi untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia, yang akan digunakan untuk mensuplai (menyediakan) listrik ke komponen kelistrikan yang menggunakan arus DC.

Baterai digunakan dalam sistem mini-grid surya untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh modul surya di siang hari dan memasoknya ke beban di malam hari atau dalam cuaca berawan. Baterai bertindak sebagai penyimpan energi sementara (penyangga) yang menghilangkan perbedaan antara input energi modul surya dan kebutuhan listrik. Saat ini, baterai merupakan cara paling praktis untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh serangkaian reaksi elektrokimia dalam modul surya. Komponen ini merupakan salah satu komponen yang paling penting dan sekaligus paling rentan dari sistem PLTS off-grid. Baterai yang dirancang dengan buruk atau ukuran yang tidak tepat dapat mempersingkat masa pakai, mengurangi energi, merusak, dan menimbulkan risiko bagi pengguna. Masa pakai baterai terbatas tergantung pada penggunaan dan suhu pengoperasian.

#### **2.2.4 Fungsi Baterai Pada PLTS**

1. Sebagai pasokan beban dengan tegangan dan arus yang stabil melalui inverter baterai, dan juga ketika terjadi putusnya pasokan daya (*intermittent*) dari modul PV.
2. Bertindak sebagai cadangan untuk mengatasi perbedaan antara daya yang dihasilkan dari modul PV dan permintaan dari beban.
3. Menyediakan cadangan energi untuk digunakan pada hari berawan atau hujan dan keadaan darurat. Saat menentukan kapasitas baterai, hari-hari ketika sistem beroperasi sepenuhnya tanpa sumber energi dari modul fotovoltaik untuk memenuhi kebutuhan listrik (hari otonom) harus diperhitungkan.
4. Memasok daya ke komponen elektronika daya seperti *solar charge controller* dan inverter.

#### **2.2.5 Jenis-jenis Baterai PLTS**

1. Baterai Asam Timbal

Baterai asam timbal atau baterai lead acid, adalah teknologi yang telah banyak digunakan dalam sel surya. Jenis baterai deep cycle ini telah digunakan untuk penyimpanan energi sejak abad ke-19. Ada dua jenis baterai asam timbal yaitu baterai asam timbal flooded dan baterai asam timbal sealed. Baterai timbal-asam juga sering disebut baterai basah, sedangkan baterai sealed disebut baterai kering.

2. Baterai Lithium Ion

Baterai lithium-ion adalah jenis penyimpanan energi baru. Ketika kendaraan listrik menjadi banyak digunakan, produsen mulai menyadari potensi lithium-ion sebagai solusi penyimpanan energi. Baterai ini menjadi salah satu pilihan paling populer di antara panel surya yang paling banyak digunakan, seperti Tesla Power Wall.

3. Baterai Nikel Kadmium

Baterai nikel-kadmium (Ni-Cd) tidak banyak digunakan seperti baterai timbal-asam atau baterai lithium-ion. Baterai Ni-Cd pertama kali muncul pada akhir 1800-an dan mengalami desain ulang besar-besaran pada 1980-an, meningkatkan jumlah energi yang dapat disimpan. Baterai ini adalah pilihan favorit di industri pesawat terbang.

4. Baterai Flow

Baterai flow merupakan teknologi baru di bidang penyimpanan energi. Baterai ini berisi cairan elektrolit berair yang mengalir di antara dua ruang atau reservoir terpisah di dalam baterai. Selama pengisian, reaksi kimia terjadi yang memungkinkan energi disimpan dan dilepaskan.[6]

### 2.2.6 Tegangan Nominal Baterai

Tegangan nominal baterai adalah nilai tegangan yang tertera pada label baterai pada sistem panel surya yang biasanya menggunakan tegangan baterai sebesar 12v, 24v, atau 48v. Tegangan nominal mungkin tidak sama dengan nilai tersebut, tergantung pada kapasitas energy tersisa yang masih terkandung dalam baterai SOC (*state of charge*), kondisi pengisian (*charging*), dan kondisi pengosongan (*discharging*).

### 2.2.7 Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai adalah muatan listrik (*charge*) yang dapat diberikan oleh tegangan nominal baterai, yang dinyatakan dalam *ampere-hours* (Ah) atau *milliampere-hours* (mAh). Kapasitas baterai berbanding lurus dengan bahan elektroda dan jumlah elektrolit dalam baterai. Baterai fisik yang besar memiliki kapasitas yang besar dan sebaliknya, meskipun keduanya memiliki rating tegangan yang sama.

Tegangan nominal baterai tergantung pada bahan yang digunakan, sedangkan kapasitas baterai tergantung pada jumlah bahan dalam baterai. Untuk menentukan berapa kapasitas baterai yang akan digunakan sesuai persamaan (2.1).

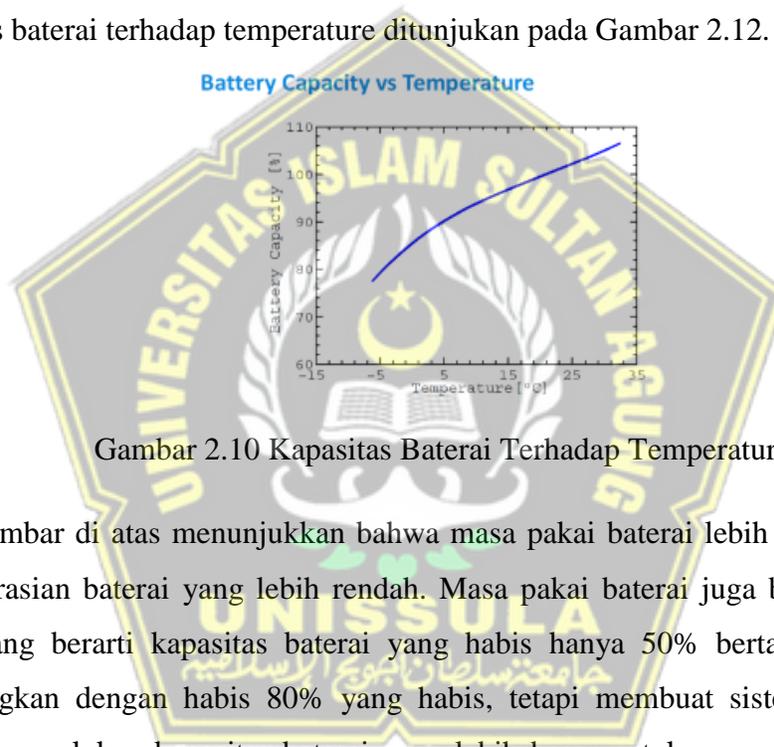
$$\text{Daya Baterai} = \text{Ah} \times \text{V} \quad (2.1)$$

Keterangan = Ah = Kapasitas Baterai (Ah)

V = Tegangan Pada Baterai

### 2.2.8 Siklus Hidup (*Cycle Life*) Baterai

Baterai dalam system energi surya mengalami siklus pengisian dan pengosongan berulang selama siklus hidupnya. Daya tahan baterai adalah jumlah pengisian dan pengosongan sampai kapasitas baterai berkurang dan tetap pada nominal 80% dari kapasitas. Pabrikan baterai biasanya menunjukkan masa pakai dalam data teknis baterai. Padahal, pemberian nilai satu siklus hidup merupakan informasi yang sangat sederhana, karena umur baterai juga bergantung pada suhu baterai. Grafik kapasitas baterai terhadap temperature ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.10 Kapasitas Baterai Terhadap Temperatur

Gambar di atas menunjukkan bahwa masa pakai baterai lebih lama pada suhu pengoperasian baterai yang lebih rendah. Masa pakai baterai juga bergantung pada DoD, yang berarti kapasitas baterai yang habis hanya 50% bertahan lebih lama dibandingkan dengan habis 80% yang habis, tetapi membuat sistem lebih mahal karena memerlukan kapasitas baterai yang lebih besar untuk memenuhi permintaan yang sama.

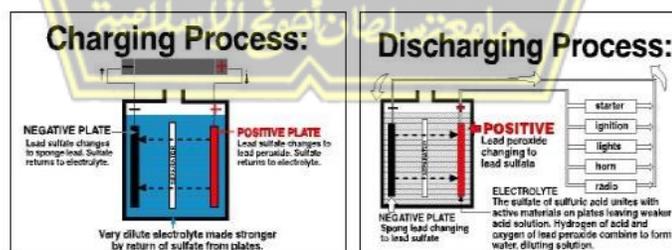
Suhu pengoperasian yang rendah memperpanjang masa pakai baterai, tetapi akan berdampak negatif pada kapasitas baterai. Kapasitas baterai menurun pada suhu yang lebih rendah. Hal ini dikarenakan pada suhu yang lebih tinggi reaksi kimia dalam baterai lebih aktif/lebih cepat, sehingga kapasitas baterai biasanya lebih tinggi.

Terkadang, pada suhu tinggi, kapasitas baterai benar-benar dapat melebihi nilai yang sudah ditentukan. Meskipun pada suhu tinggi, sel baterai terlalu aktif, juga berdampak negatif pada kesehatan baterai. Dan untuk menentukan berapa lama waktu baterai dapat menyuplai energi dapat digunakan sesuai persamaan (2.2).

$$T \text{ (Waktu)} = \frac{\text{Kapasitas Baterai}}{\text{Total Daya}} \quad (2.2)$$

### 2.2.9 Kondisi Penyimpanan dan Pengeluaran Baterai

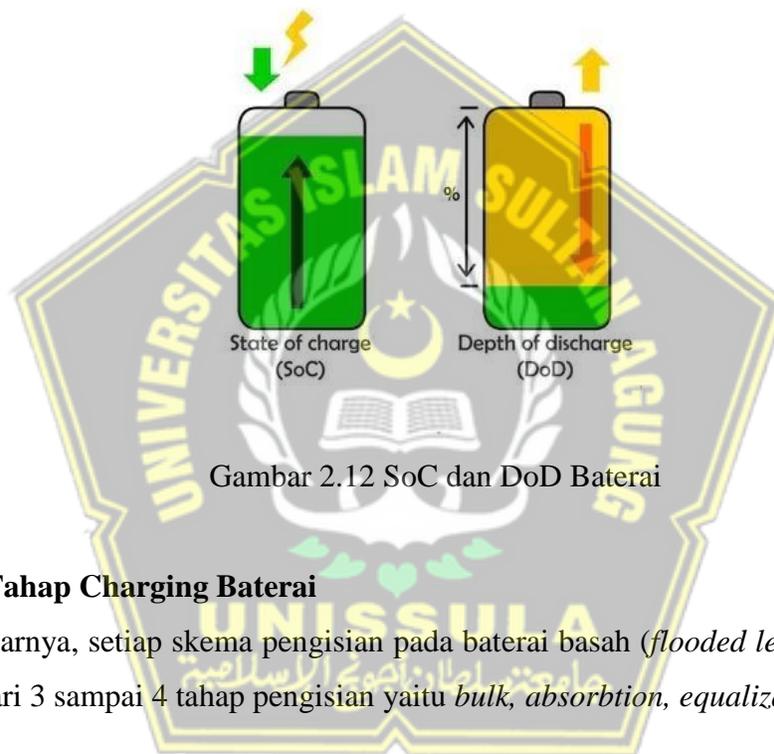
Baterai memiliki dua mode operasi, penyimpanan energi dan konsumsi energi, yang dapat terjadi selama penyimpanan dan pengosongan baterai. Overcharging terjadi ketika baterai terisi penuh dan daya baterai terbatas. Jika pada saat yang sama debit berlebih melebihi batas yang ditetapkan oleh pabrikan, baterai akan rusak dan masa pakai baterai akan dipersingkat. Tegangan baterai turun di bawah minimum 1,85 volt seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 untuk pengisian dan pengosongan baterai.



Gambar 2.11 *Charging and Discharging Battery*

### 2.2.10 SoC dan DoD Baterai

*Depth of Discharge* (DoD) baterai menunjukkan persentase debit baterai dari total kapasitas baterai, dan *State of Charge* (SoC) atau Kapasitas Pengisian baterai, yang menunjukkan persentase energi yang masih tersimpan di baterai. . Sederhananya, SoC baterai adalah ukuran berapa banyak energi yang ada di baterai pada saat tertentu, dinyatakan sebagai persentase.



Gambar 2.12 SoC dan DoD Baterai

### 2.2.11 Tahap Charging Baterai

Pada dasarnya, setiap skema pengisian pada baterai basah (*flooded lead acid battery*) terdiri dari 3 sampai 4 tahap pengisian yaitu *bulk*, *absorbtion*, *equalization* dan *float*.

### 2.2.11.1 *Bulk Charging*

*Bulk Charging* adalah proses pengisian baterai dengan arus tinggi. Beberapa produsen tidak membatasi arus pengisian pada titik ini, karena tegangan baterai masih lebih rendah di bawah tegangan gas (di mana larutan baterai tampak mendidih). Beberapa produsen merekomendasikan pengisian arus konstan ketika tegangan baterai tinggi. Arus searah mudah dilakukan dengan catu daya konvensional (*battery charger*), tetapi sulit dengan SESF karena radiasi matahari yang bervariasi. Pada tahap ini, arus yang diinginkan dapat diisi selama tidak melebihi 20% dari kapasitas Ah baterai untuk menghindari panas berlebih.

### 2.2.11.2 *Absorption Charging*

Tahapan *absorption charging* adalah tahapan dimana tegangan pengisian konstan sedangkan arus pengisian menurun hingga baterai mencapai fase terisi penuh atau SOC 100%. Indikasi ini terlihat ketika arus pengisian berkurang hingga mencapai 1% dari kapasitas Ah. Contoh ; kapasitas baterai adalah 100 Ah, arus pengisian akhir adalah 1 ampere.

### 2.2.11.3 *Equalization Charging*

Tahap ini adalah tingkat overcharge terkontrol (5% overcharge) yang dirancang untuk menyeimbangkan tegangan sel dan berat jenis baterai. Keseimbangan dapat dicapai dengan menaikkan tegangan pengisian sesaat ke tingkat tertentu untuk sementara waktu. Ekualisasi akan memulihkan gejala-gejala kerusakan seperti stratifikasi, yaitu terkonsentrasinya asam di bagian bawah baterai, ataupun sulfasi yang berarti pembentukan kristal sulfat yang berlebihan pada dibagian pelat aktif. Tahap ekualisasi ini dilakukan dengan interval waktu tertentu saja dapat dilakukan sekali sebulan sampai dengan setahun sekali, setelah 10 hingga 100 *deep-cycle* bergantung pada rekomendasi dari pihak produsen baterai. Ekualisasi harus dilakukan jika hasil pemantauan berat jenis sel menunjukkan perbedaan yang lebih besar dari 0,03.

#### 2.2.11.4 *Float Charging*

Tahap *Float Charging* adalah tahap pengisian di mana tegangan pengisian dikurangi dan dipertahankan pada tingkat yang tidak terbatas untuk menjaga baterai selalu dalam kondisi baik (100% SOC). Tabel dibawah ini menunjukkan petunjuk pengisian baterai tergantung pada kapasitasnya yang dinyatakan sebagai reserve capacity. Panduan ini dapat digunakan untuk menentukan arus pengisian baterai berdasarkan sesuai dengan kapasitasnya.[7]

| Reserve Capacity (RC) Rating                 | Slow Charge (RECOMMENDED) | Fast Charge         |
|--|---------------------------|---------------------|
| 80 Minutes or less (32 ampere hours or less) | 15 Hours @ 3 amps         | 5 Hours @ 10 amps   |
| 80 to 125 Minutes (32 to 50 ampere hours)    | 21 Hours @ 4 amps         | 7.5 Hours @ 10 amps |
| 125 to 170 Minutes (50 to 68 ampere hours)   | 22 Hours @ 5 amps         | 10 Hours @ 10 amps  |
| 170 to 250 Minutes (68 to 100 ampere hours)  | 23 Hours @ 6 amps         | 7.5 Hours @ 20 amps |
| Above 250 Minutes (over 100 ampere hours)    | 24 Hours @ 10 amps        | 6 Hours @ 40 amps   |

Gambar 2.13 Bulk charging current sesuai kapasitas baterai

#### 2.2.12 Metode Charging Baterai

Terdapat 2 metode pengisian baterai yaitu metode *Slow Charging* dan *Fast Charging*

##### 2.2.12.1 Metode *Slow Charging*

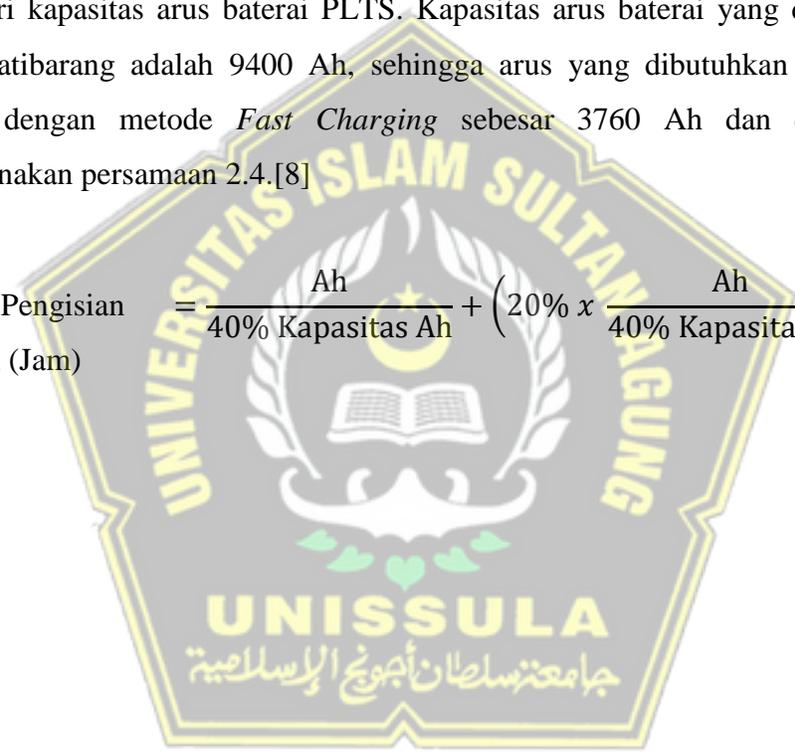
Pada metode *Slow Charging* membutuhkan arus untuk pengisian sebesar 10% dari kapasitas arus baterai PLTS. Kapasitas arus baterai yang dimiliki baterai PLTS Jatibarang adalah 9400 Ah, sehingga arus yang dibutuhkan untuk mengisi baterai dengan metode *Slow Charging* adalah 940 Ah dan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.3.

$$\begin{aligned} \text{Lama Pengisian} &= \frac{\text{Ah}}{10\% \text{ Kapasitas Ah}} + \left( 20\% \times \frac{\text{Ah}}{10\% \text{ Kapasitas Ah}} \right) \\ \text{Baterai (Jam)} & \end{aligned} \quad (2.3)$$

### 2.2.12.2 Metode *Fast Charging*

Pada metode *Fast Charging* membutuhkan arus untuk pengisian sebesar 40% dari kapasitas arus baterai PLTS. Kapasitas arus baterai yang dimiliki baterai PLTS Jatibarang adalah 9400 Ah, sehingga arus yang dibutuhkan untuk mengisi baterai dengan metode *Fast Charging* sebesar 3760 Ah dan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4.[8]

$$\begin{aligned} \text{Lama Pengisian} &= \frac{\text{Ah}}{40\% \text{ Kapasitas Ah}} + \left( 20\% \times \frac{\text{Ah}}{40\% \text{ Kapasitas Ah}} \right) \\ \text{Baterai (Jam)} & \end{aligned} \quad (2.4)$$



## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Model Penelitian

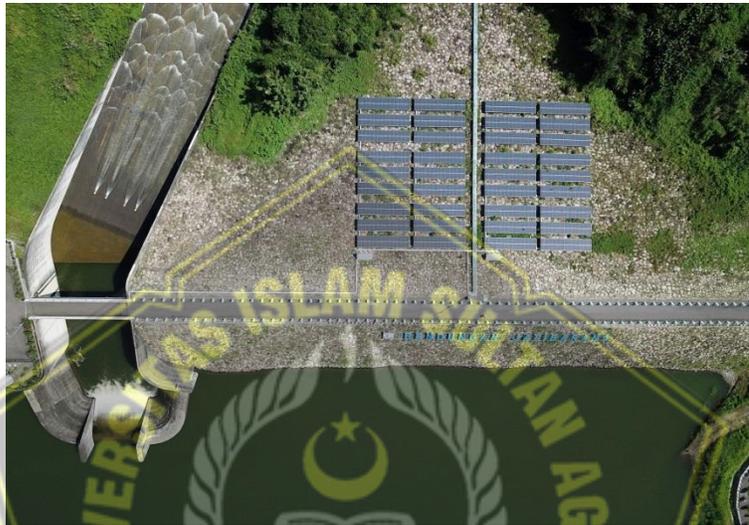


Gambar 3.1 Instalasi PLTS Off Grid

Metodologi penelitian merupakan metode-metode atau cara yang digunakan dalam menyelesaikan sebuah penelitian, dalam hal ini penulis melakukan penelitian mengenai “ANALISA WAKTU PENGISIAN BATERAI “ dengan studi kasus di Pembangkit Listrik Tenaga Surya Bendungan Jatibarang Kota Semarang menggunakan metode sekunder yaitu pengambilan data yang sudah ada atau tercatat pada pembangkit listrik tenaga surya Jatibarang Kota Semarang. Data yang digunakan untuk penelitian tugas akhir adalah data energi yang tersimpan tercatat harian selama bulan Oktober 2021 pada baterai PLTS dan spesifikasi komponen yang diperlukan. Untuk menghitung dan mengetahui kapasitas baterai, waktu baterai dapat mensuplai energinya dan seberapa lama waktu pengisian baterai. Sistem pembangkitan yang diterapkan pada PLTS Bendungan Jatibarang yaitu menggunakan sistem Off Grid, sistem Off Grid merupakan sistem jaringan yang tidak terkoneksi dengan PLN seperti gambar 3.1 dan menggunakan baterai berjenis lead acid OPzV atau GEL berjumlah 100 buah terhubung secara parallel.

### 3.2 Objek Penelitian

Objek yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu baterai pada pembangkit listrik tenaga surya bendungan Jatibarang yang berlokasi di kota Semarang, Jawa Tengah.



Gambar 3.2 PLTS Bendungan Jatibarang

### 3.3 Komponen dan Data Penelitian

Untuk menganalisa waktu pengisian baterai pada PLTS Bendungan Jatibarang dibutuhkan data teknis terkait modul baterai, data intensitas sinar matahari di PLTS Bendungan Jatibarang, data pengukuran pada panel surya. Pada penelitian yang dilakukan dibutuhkan data komponen yang ada pada PLTS Bendungan Jatibarang.

### 3.4 Baterai

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Jatibarang merupakan jenis PLTS *Offgrid*, salah satu komponen dari jenis PLTS *Offgrid* adalah baterai yang berfungsi untuk unit penyimpanan arus listriknya. Baterai yang digunakan pada PLTS Jatibarang berjenis lead acid OPzV atau GEL berjuamblah 100 buah terhubung secara parallel.



Gambar 3.3 Baterai PLTS Jatibarang

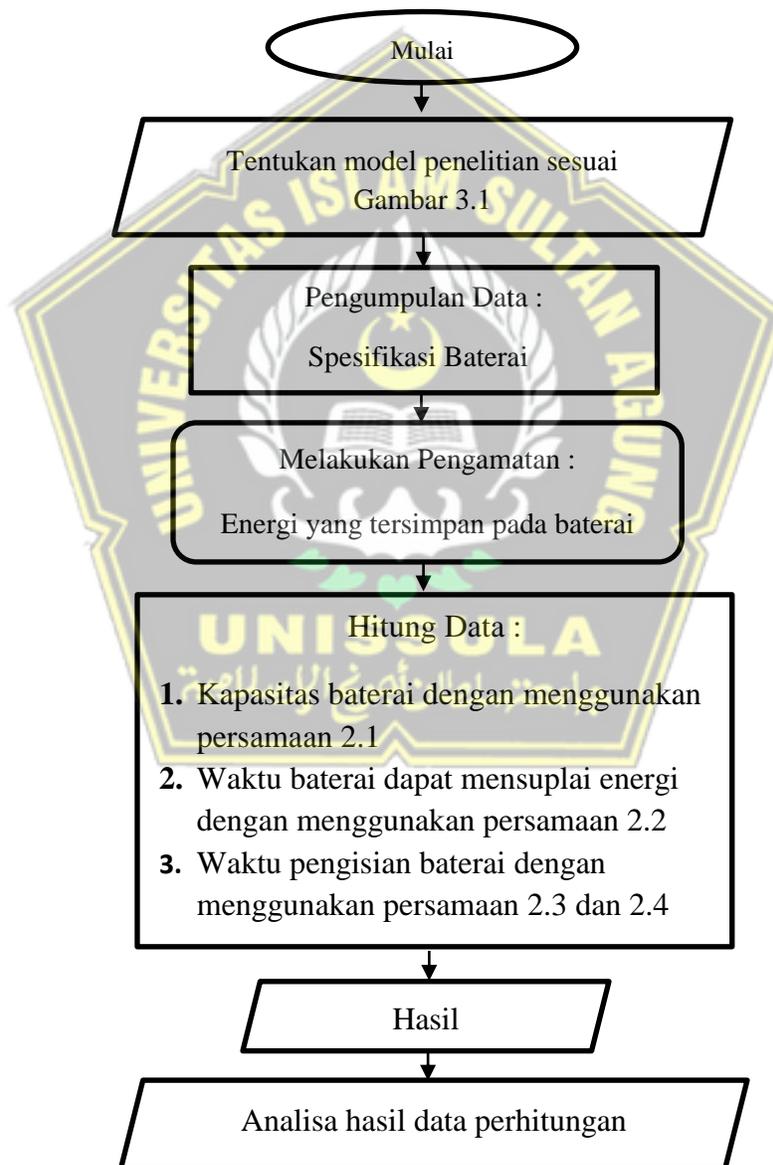
Tabel 3.1 Spesifikasi Baterai yang dipakai pada PLTS Bendungan Jatibarang

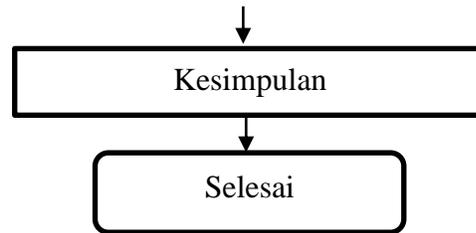
| Spesifikasi                         | Keterangan   |
|-------------------------------------|--|
| <i>Cell Type</i>                    | Samsung SDI Mega E2, 48 V / 94 Ah                  |
| <i>Battery Voltage Range</i>        | 633 – 822 V  |
| <i>BMS Communication Interfaces</i> | RS485, Ethernet                                    |
| <i>Bms Communication Protocol</i>   | Modbus RTU, Modbus TCP                             |
| <i>Dimensions of Battery Unit</i>   | 3,740 * 2,440 * 1,182 mm / 147,2 “ * 96,1” * 46,5” |
| <i>Weight of Battery</i>            | 5.5 T / 12,125 lbs                                 |
| <i>Cooling Concept of Battery</i>   | <i>Heating Ventilation and Air Conditioning</i>    |

### 3.5 Data Nilai Pengisian Energi Baterai Harian

Mengingat intensitas cahaya yang berubah-ubah tiap waktu maka energi yang dihasilkan panel surya akan berbeda tiap harinya maka perlukan pengukuran energi yang masuk pada baterai setiap harinya. pengukuran nilai energi yang tersimpan pada baterai berfungsi untuk menghitung berapa lama baterai dapat menyuplai energi.

### 3.6 Diagram Alur Penelitian





Gambar 3.4 Diagram Alur Penelitian

### 3.7 Tahapan Penelitian

1. Mengumpulkan data teknis terkait komponen PLTS yang digunakan (Spesifikasi Komponen).
2. Mencatat data energi yang tersimpan pada baterai harian.
3. Menghitung kapasitas baterai (Wh) dengan menggunakan persamaan 2.1.
4. Menghitung berapa lama energi pada baterai dapat digunakan. Dengan menggunakan persamaan 2.2.
5. Menghitung berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk pengisian pada baterai dengan menggunakan persamaan 2.3 dan 2.4.
6. Menganalisa hasil data perhitungan PLTS Bendungan Jatibarang.
7. Menyimpulkan terkait penelitian yang sudah dilakukan di PLTS Bendungan Jatibarang.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Sistem Sumber Pada Listrik Bendungan Jatibarang

Sumber listrik yang digunakan untuk operasional Bendungan Jatibarang terdiri dari 3 sumber yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Genset dan PLN. Akan tetapi sumber listrik utama yang digunakan yaitu berasal dari PLTS, Genset dan PLN hanya digunakan apabila PLTS sedang bermasalah. PLTS Bendungan Jatibarang mampu menghasilkan energi listrik sebesar 300 kWp

#### 4.2 Data Energi PLTS Bendungan Jatibarang

Data energi listrik yang tersimpan pada baterai PLTS Bendungan Jatibarang pada Tahun 2021 dapat dilihat pada table 4.1.

Tabel 4.1 Data Energi Total PLTS Bendungan Jatibarang Tahun 2021

| Bulan     | Energi Total (kWh) |
|-----------|--------------------|
| Januari   | 10.364,35          |
| Februari  | 8,762.27           |
| Maret     | 11.908,85          |
| April     | 11.315,58          |
| Mei       | 11.970,21          |
| Juni      | 10,006,72          |
| Juli      | 10.613,70          |
| Agustus   | 10.714,24          |
| September | 8.459,54           |
| Oktober   | 10.334,15          |
| November  | 3.192,66           |
| Desember  | 1.984,42           |

### 4.3 Data Hasil Pengisian Baterai Dan Energi Yang Dihasilkan PV.

Tabel 4.2 Data Pengisian Energi Baterai Harian Dan Energi Yang Dihasilkan PV.

| Bulan           | Energi Yang Tersimpan Dalam Baterai (kWh) | Energi Total Harian Yang Dihasilkan PV (kWh) |
|-----------------|---|--|
| 1 Oktober 2021  | 300.20                                    | 450.56                                       |
| 2 Oktober 2021  | 291,42                                    | 410.09                                       |
| 3 Oktober 2021  | 287,45                                    | 390.44                                       |
| 4 Oktober 2021  | 265,66                                    | 370.51                                       |
| 5 Oktober 2021  | 321,44                                    | 467.89                                       |
| 6 Oktober 2021  | 303,84                                    | 452.17                                       |
| 7 Oktober 2021  | 270,41                                    | 380.64                                       |
| 8 Oktober 2021  | 306,70                                    | 457.80                                       |
| 9 Oktober 2021  | 294,56                                    | 417.97                                       |
| 10 Oktober 2021 | 297,61                                    | 420.35                                       |
| 11 Oktober 2021 | 304,14                                    | 453.20                                       |
| 12 Oktober 2021 | 309,61                                    | 458.03                                       |
| 13 Oktober 2021 | 365,19                                    | 569.04                                       |
| 14 Oktober 2021 | 363,17                                    | 562.78                                       |
| 15 Oktober 2021 | 363,27                                    | 562.96                                       |
| 16 Oktober 2021 | 366,34                                    | 573.74                                       |
| 17 Oktober 2021 | 361,26                                    | 540.49                                       |
| 18 Oktober 2021 | 326,98                                    | 477.89                                       |
| 19 Oktober 2021 | 365,16                                    | 568.58                                       |
| 20 Oktober 2021 | 356,32                                    | 530.35                                       |
| 21 Oktober 2021 | 357,08                                    | 531.75                                       |
| 22 Oktober 2021 | 346,18                                    | 520.38                                       |
| 23 Oktober 2021 | 357,00                                    | 531.21                                       |

|                  |            |              |
|------------------|------------|--------------|
| 24 Oktober 2021  | 350,77     | 522.04       |
| 25 Oktober 2021  | 353,73     | 523.90       |
| 26 Oktober 2021  | 350,90     | 522.48       |
| 27 Oktober 2021  | 356,49     | 530.65       |
| 28 Oktober 2021  | 373,63     | 580.53       |
| 29 Oktober 2021  | 360,13     | 537.65       |
| 30 Oktober 2021  | 228,47     | 391.06       |
| 31 Oktober 2021  | 206,15     | 310.52       |
| <b>Total</b>     | 10.052 MWh | 15017,65 MWh |
| <b>Rata-rata</b> | 326,36 kWh | 484,44 kWh   |

Dari tabel diatas merupakan energi yang dihasilkan PLTS Jatibarang pada bulan Oktober, Rata-rata energi yang tersimpan pada baterai di bulan Oktober 2021 sebesar 326,36 kWh dengan energi yang dihasilkan PV sebesar 484,44 kWh, energi terbesar yang tersimpan pada baterai terjadi pada tanggal 28 Oktober 2021 sebesar 373,63 kWh dengan energi yang dihasilkan PV sebesar 580,53 kWh dan energi paling rendah yang tersimpan pada baterai terjadi pada tanggal 31 Oktober 2021 sebesar 206,15 kWh dengan energi yang dihasilkan PV sebesar 310.52 kWh. Besar kecil nya energi yang dihasilkan dipengaruhi beberapa faktor antara lain faktor kondisi cuaca dan faktor lamanya intensitas penyinaran matahari.

#### 4.4 Perhitungan Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai diukur dalam Ampere-Jam atau sering ditulis Ah (*Ampere-Hour*). Pada PLTS Jatibarang memiliki 100 buah baterai yang terhubung secara paralel, satu buah baterai memiliki arus 94 Ah dan memiliki Tegangan sebesar 48 V. Untuk mengetahui berapa banyak energi yang dapat disimpan perlu mengkonversikan Ah menjadi Wh (Watt-Hour) dapat menggunakan persamaan 2.1.

$$\begin{aligned}
 \text{Energi Baterai} &= I \times V \\
 &= 9400 \text{ Ah} \times 48 \text{ V} \\
 &= 451.200 \text{ Wh}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Kapasitas Baterai Lead Acid.

| Parameter Baterai             | Baterai Lead Acid |                            |
|-------------------------------|-------------------|----------------------------|
|                               | 1 buah            | 100 buah terhubung paralel |
| I (Kuat arus per jam atau Ah) | 94 Ah             | 9400Ah                     |
| V (Tegangan baterai atau V)   | 48 V              | 48 V                       |
| E (Energi)                    | 840 Wh            | 451.200 Wh                 |

#### 4.5 Perhitungan Waktu Baterai Dapat Mensuplai Energi

Energi listrik yang tersimpan dalam baterai bisa di isi ulang apabila energi listrik yang tersimpan dalam baterai habis digunakan untuk mensuplai beban yang digunakan. Waktu baterai dapat mensuplai energi dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2, sebagai contoh perhitungan menggunakan tabel 4.4 pada tanggal 1 oktober 2021

$$t (\text{ waktu}) = \frac{\text{Kapasitas Baterai}}{\text{Total Energi}}$$

$$t (\text{ waktu}) = \frac{451200}{300.20} = 15 \text{ Jam}$$

Tabel 4.4 Perhitungan Waktu Baterai Dapat Mensuplai Energi.

| Tanggal        | Energi Total Harian (kWh) | DoD Baterai (20%) | Waktu Suplai Energi Baterai (Jam) |
|----------------|---------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| 1 Oktober 2021 | 300.20                    | 60.04             | 15                                |

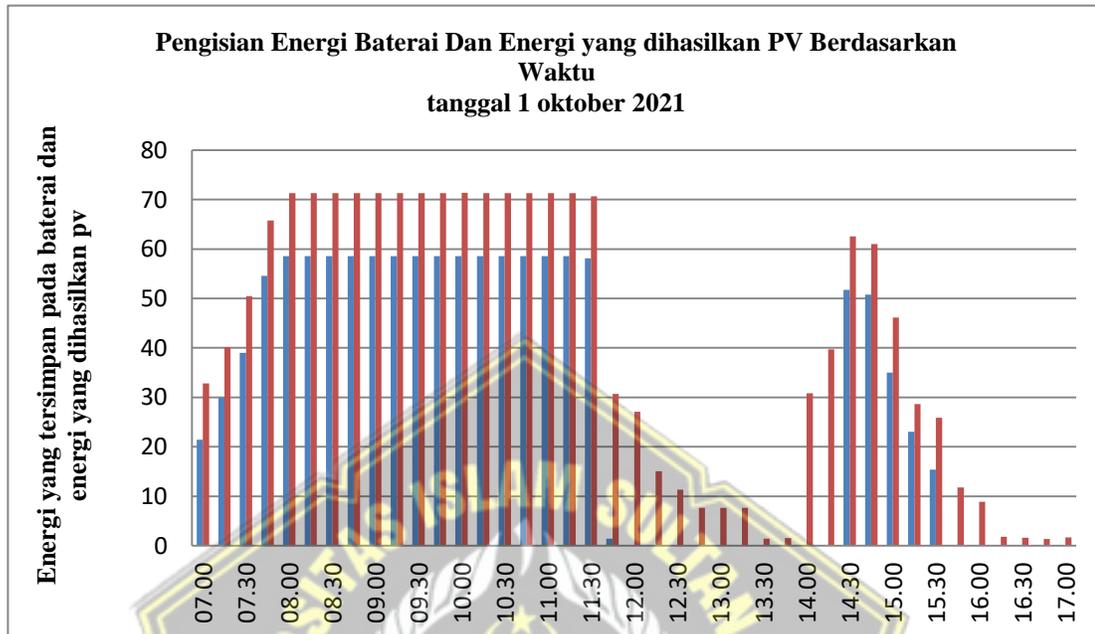
|                 |        |       |      |
|-----------------|--------|-------|------|
| 2 Oktober 2021  | 291,42 | 58,28 | 15,4 |
| 3 Oktober 2021  | 287,45 | 57,49 | 15,6 |
| 4 Oktober 2021  | 265,66 | 53,13 | 16,9 |
| 5 Oktober 2021  | 321,44 | 64,28 | 14   |
| 6 Oktober 2021  | 303,84 | 60,76 | 14,8 |
| 7 Oktober 2021  | 270,41 | 54,08 | 16,6 |
| 8 Oktober 2021  | 306,70 | 61,34 | 14,7 |
| 9 Oktober 2021  | 294,56 | 58,91 | 15,3 |
| 10 Oktober 2021 | 297,61 | 59,52 | 15,1 |
| 11 Oktober 2021 | 304,14 | 60,82 | 14,8 |
| 12 Oktober 2021 | 309,61 | 61,92 | 14,5 |
| 13 Oktober 2021 | 365,19 | 73,03 | 12,3 |
| 14 Oktober 2021 | 363,17 | 72,63 | 12,4 |
| 15 Oktober 2021 | 363,27 | 72,65 | 12,4 |
| 16 Oktober 2021 | 366,34 | 73,26 | 12,3 |
| 17 Oktober 2021 | 361,26 | 72,25 | 12,4 |
| 18 Oktober 2021 | 326,98 | 65,39 | 13,7 |
| 19 Oktober 2021 | 365,16 | 73,03 | 12,3 |
| 20 Oktober 2021 | 356,32 | 71,26 | 12,6 |
| 21 Oktober 2021 | 357,08 | 71,41 | 12,6 |
| 22 Oktober 2021 | 346,18 | 69,23 | 13   |
| 23 Oktober 2021 | 357,00 | 71,4  | 12,6 |
| 24 Oktober 2021 | 350,77 | 70,15 | 12,8 |
| 25 Oktober 2021 | 353,73 | 70,74 | 12,7 |
| 26 Oktober 2021 | 350,90 | 70,18 | 12,8 |
| 27 Oktober 2021 | 356,49 | 71,29 | 12,6 |
| 28 Oktober 2021 | 373,63 | 74,72 | 12   |

|                    |        |       |      |
|--------------------|--------|-------|------|
| 29 Oktober 2021    | 360,13 | 72.02 | 12,5 |
| 30 Oktober 2021    | 228,47 | 45,69 | 19,7 |
| 31 Oktober 2021    | 206,15 | 41,23 | 21,8 |
| <b>Rata - rata</b> | 326,36 | 58.03 | 15,4 |

Dari tabel diatas rata-rata waktu baterai dapat mensuplai energinya selama 15,4 Jam, waktu terlama baterai dapat mensuplai energi pada tanggal 31 Oktober 2021 selama 21,8 Jam dengan energi yang dihasilkan sebesar 206,15 kWh dan waktu paling singkat dapat mensuplai energi terjadi pada tanggal 28 Oktober 2021 selama 12 Jam dengan daya yang dihasilkan sebesar 373,63 kWh.

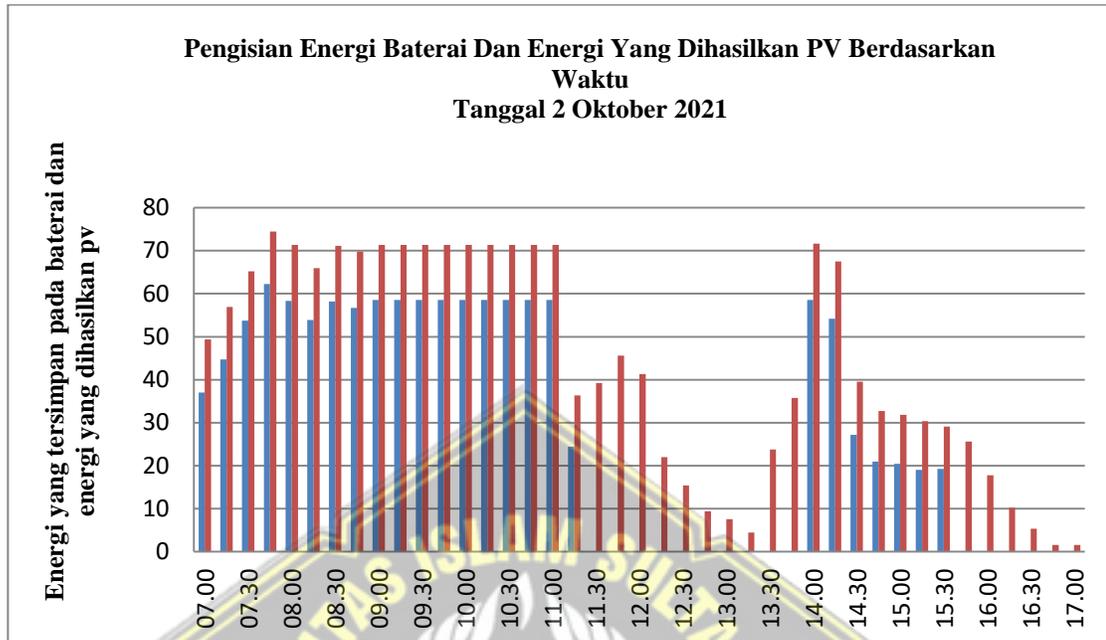
#### 4.6 Perhitungan Waktu Pengisian Baterai

Pada baterai harus diisi sesuai dengan spesifikasi dengan metode pengisian tiga tahap, yaitu bulk, absorption, dan float. Pengisian dengan cara penyetaraan (equalization) tidak boleh dilakukan untuk baterai berjenis lead acid OPzV atau GEL. Terdapat 2 metode untuk menghitung waktu pengisian baterai yaitu metode *Slow Charging* dan *Fast Charging*, dapat dihitung menggunakan persamaan 2.3 dan 2.4. Dibawah ini merupakan grafik pengisian energi baterai dan energi yang dihasilkan PV berdasarkan waktu tanggal 1 sampai tanggal 7 Oktober 2021.



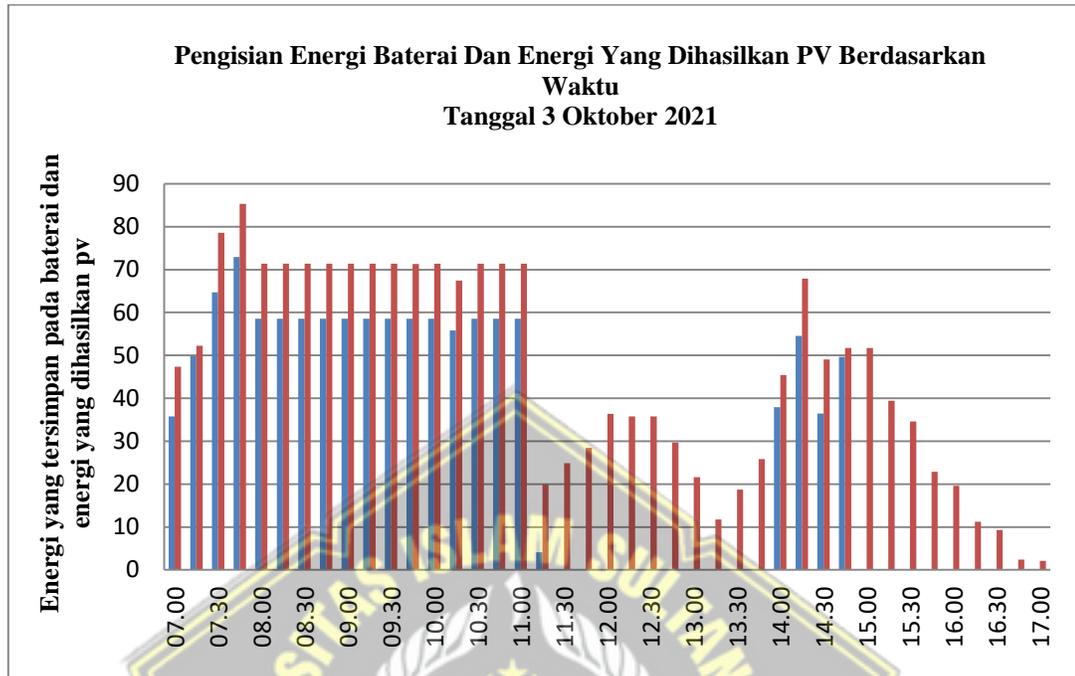
Gambar 4.1 Pengisian Baterai Berdasarkan Waktu Tanggal 1 Oktober 2021

Pada tanggal 1 Oktober 2021 Solar Panel atau PV (Garis Merah) mulai menghasilkan energi listrik dari jam 07.00 sampai dengan jam 17.00. Energi yang dihasilkan secara konstan terjadi pada jam 08.00 sampai jam 11.30 dengan energi yang dihasilkan sebesar 71,34 kWh kelebihan produksi listrik PV digunakan untuk mengisi energi pada baterai (Garis Biru) sampai kondisi baterai full atau penuh dan akan mengisi kembali saat kondisi energi baterai berkurang sebesar 30% dari kapasitas penyimpanan baterai. Penggunaan energi baterai pada siang hari dikarenakan produksi energi pada PV yang tidak bisa mensuplai beban secara keseluruhan.



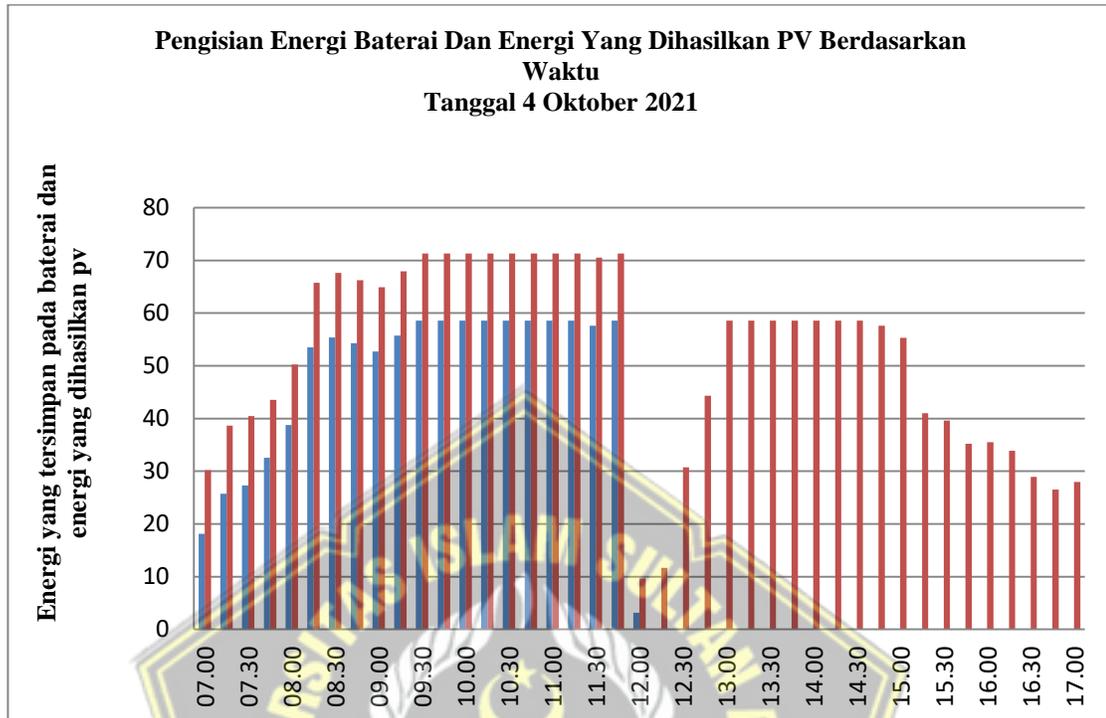
Gambar 4.2 Pengisian Baterai Berdasarkan Waktu Tanggal 2 Oktober 2021

Pada tanggal 2 Oktober 2021 Solar Panel atau PV (Garis Merah) mulai menghasilkan energi listrik dari jam 07.00 sampai dengan jam 17.00. Energi yang dihasilkan secara konstan terjadi pada jam 09.00 sampai jam 11.00 dengan energi yang dihasilkan sebesar 71,34 kWh kelebihan produksi listrik PV digunakan untuk mengisi energi pada baterai (Garis Biru) sampai kondisi baterai full atau penuh dan akan mengisi kembali saat kondisi energi baterai berkurang sebesar 30% dari kapasitas penyimpanan baterai. Penggunaan energi baterai pada siang hari dikarenakan produksi energi pada PV yang tidak bisa mensuplai beban secara keseluruhan.



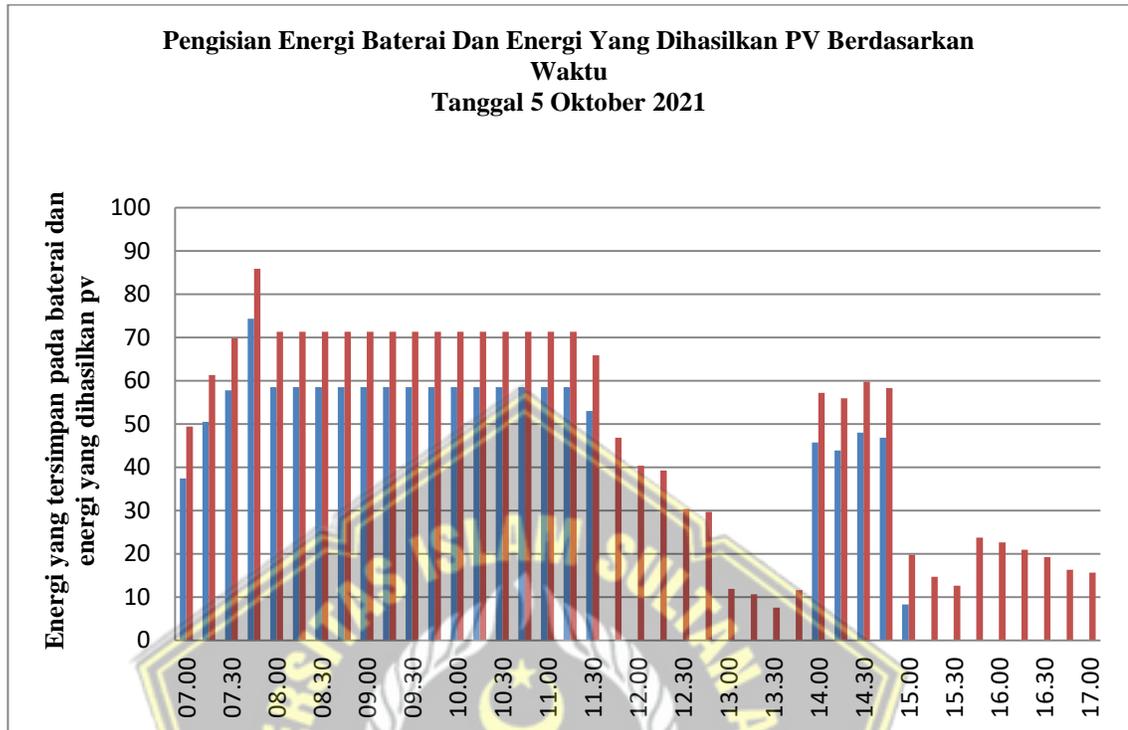
Gambar 4.3 Pengisian Baterai Berdasarkan Waktu Tanggal 3 Oktober 2021

Pada tanggal 3 Oktober 2021 Solar Panel atau PV (Garis Merah) mulai menghasilkan energi listrik dari jam 07.00 sampai dengan jam 17.00. Energi yang dihasilkan secara konstan terjadi pada jam 08.00 sampai jam 11.00 dengan energi yang dihasilkan sebesar 71,34 kWh kelebihan produksi listrik PV digunakan untuk mengisi energi pada baterai (Garis Biru) sampai kondisi baterai full atau penuh dan akan mengisi kembali saat kondisi energi baterai berkurang sebesar 30% dari kapasitas penyimpanan baterai. Penggunaan energi baterai pada siang hari dikarenakan produksi energi pada PV yang tidak bisa mensuplai beban secara keseluruhan.



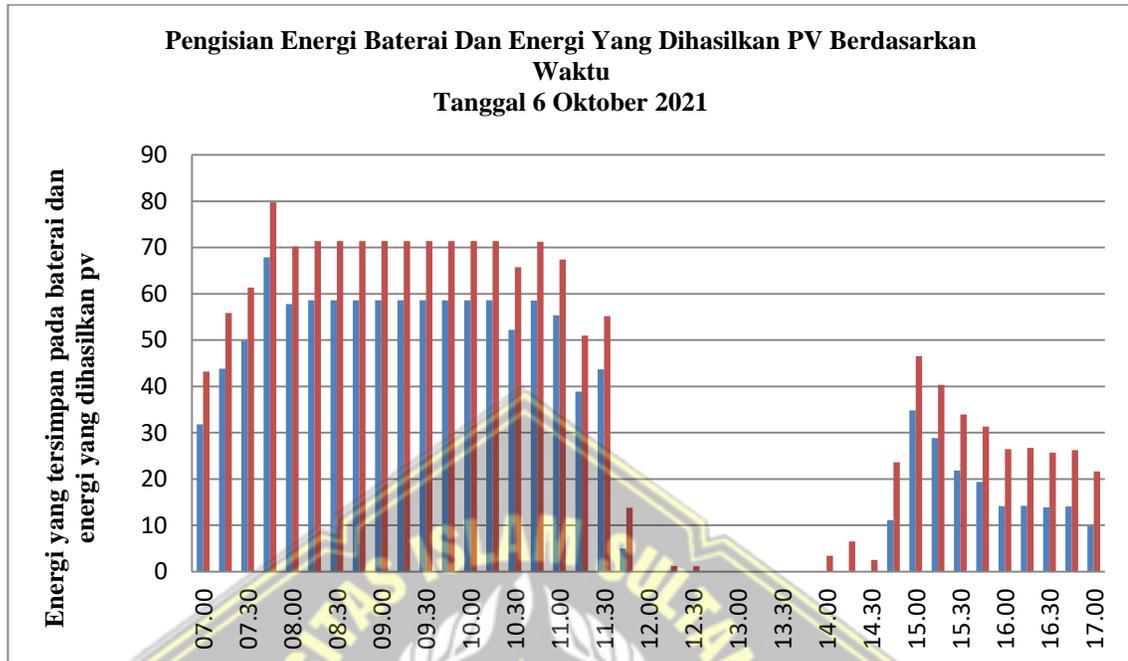
Gambar 4.4 Pengisian Baterai Berdasarkan Waktu Tanggal 4 Oktober 2021

Pada tanggal 4 Oktober 2021 Solar Panel atau PV (Garis Merah) mulai menghasilkan energi listrik dari jam 07.00 sampai dengan jam 17.00. Energi yang dihasilkan secara konstan terjadi pada jam 09.30 sampai jam 11.30 dengan energi yang dihasilkan sebesar 71,34 kWh kelebihan produksi listrik PV digunakan untuk mengisi energi pada baterai (Garis Biru) sampai kondisi baterai full atau penuh dan akan mengisi kembali saat kondisi energi baterai berkurang sebesar 30% dari kapasitas penyimpanan baterai. Penggunaan energi baterai pada siang hari dikarenakan produksi energi pada PV yang tidak bisa mensuplai beban secara keseluruhan.



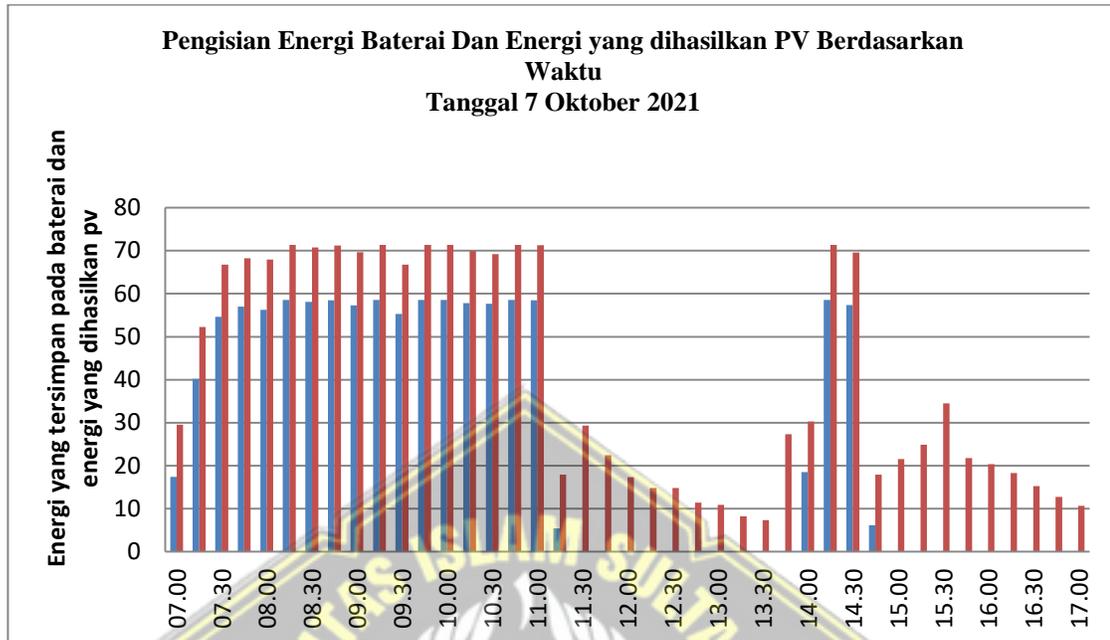
Gambar 4.5 Pengisian Baterai Berdasarkan Waktu Tanggal 5 Oktober 2021

Pada tanggal 5 Oktober 2021 Solar Panel atau PV (Garis Merah) mulai menghasilkan energi listrik dari jam 07.00 sampai dengan jam 17.00. Energi yang dihasilkan secara konstan terjadi pada jam 08.00 sampai jam 11.00 dengan energi yang dihasilkan sebesar 71,33 kWh kelebihan produksi listrik PV digunakan untuk mengisi energi pada baterai (Garis Biru) sampai kondisi baterai full atau penuh dan akan mengisi kembali saat kondisi energi baterai berkurang sebesar 30% dari kapasitas penyimpanan baterai. Penggunaan energi baterai pada siang hari dikarenakan produksi energi pada PV yang tidak bisa mensuplai beban secara keseluruhan.



Gambar 4.6 Pengisian Baterai Berdasarkan Waktu Tanggal 6 Oktober 2021

Pada tanggal 6 Oktober 2021 Solar Panel atau PV (Garis Merah) mulai menghasilkan energi listrik dari jam 07.00 sampai dengan jam 17.00. Energi yang dihasilkan secara konstan terjadi pada jam 08.00 sampai jam 10.30 dengan energi yang dihasilkan sebesar 71,4 kWh kelebihan produksi listrik PV digunakan untuk mengisi energi pada baterai (Garis Biru) sampai kondisi baterai full atau penuh dan akan mengisi kembali saat kondisi energi baterai berkurang sebesar 30% dari kapasitas penyimpanan baterai. Penggunaan energi baterai pada siang hari dikarenakan produksi energi pada PV yang tidak bisa mensuplai beban secara keseluruhan.



Gambar 4.7 Pengisian Baterai Berdasarkan Waktu Tanggal 7 Oktober 2021

Pada tanggal 7 Oktober 2021 Solar Panel atau PV (Garis Merah) mulai menghasilkan energi listrik dari jam 07.00 sampai dengan jam 17.00. Kelebihan produksi listrik PV digunakan untuk mengisi energi pada baterai (Garis Biru) sampai kondisi baterai full atau penuh dan akan mengisi kembali saat kondisi energi baterai berkurang sebesar 30% dari kapasitas penyimpanan baterai. Penggunaan energi baterai pada siang hari dikarenakan produksi energi pada PV yang tidak bisa mensuplai beban secara keseluruhan.

Dari Grafik diatas pada tanggal 1 sampai 7 Oktober 2021 waktu yang dibutuhkan untuk pengisian baterai dengan kapasitas sebesar 451.200 Wh membutuhkan waktu rata-rata sekitar 3-4 jam dan akan berhenti mengisi baterai saat kondisi baterai *full* atau penuh. Dan baterai akan diisi kembali apabila total daya pada baterai telah digunakan sebesar 30% atau Soc 70%.

#### 4.6.1 *Slow Charging*

Pada metode *Slow Charging* membutuhkan arus untuk pengisian sebesar 10% dari kapasitas arus yang dimiliki baterai PLTS. Kapasitas arus baterai yang dimiliki baterai PLTS Jatibarang adalah 9400 Ah, sehingga arus yang dibutuhkan untuk mengisi baterai dengan menggunakan metode *Slow Charging* adalah 940 Ah dan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.3.

$$\begin{aligned} \text{Lama Pengisian Baterai (Jam)} &= \\ &= \frac{\text{Ah}}{10\% \text{ Kapasitas Ah}} + \left( 20\% \times \frac{\text{Ah}}{10\% \text{ Kapasitas Ah}} \right) \\ &= \frac{9400 \text{ Ah}}{940 \text{ Ah}} + \left( 20\% \times \frac{9400 \text{ Ah}}{940 \text{ Ah}} \right) \\ &= 12 \text{ Jam} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan metode *Slow Charging* kapasitas baterai sebesar 9400 Ah dapat diisi selama 12 Jam menggunakan arus pengisian sebesar 940 Ah atau 10% dari kapasitas arus baterai, metode *Slow Charging* lebih di anjurkan untuk digunakan saat mengisi baterai daripada metode *Fast Charging*

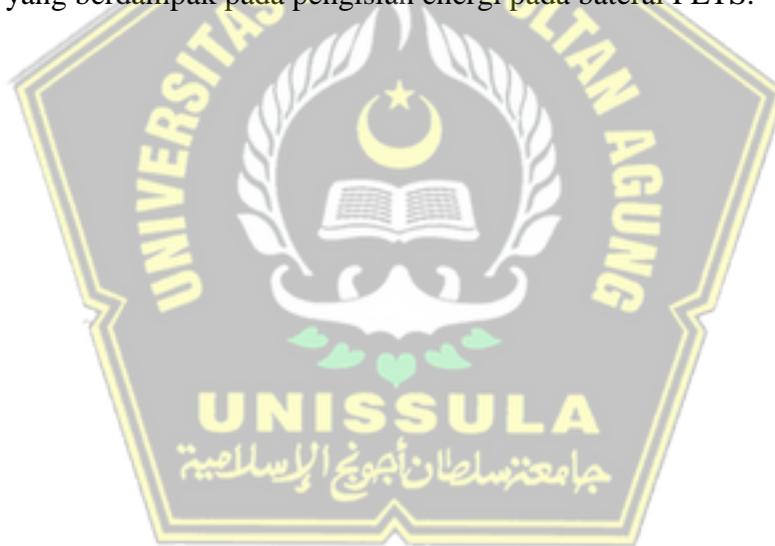
#### 4.6.2 *Fast Charging*

Pada metode *Fast Charging* membutuhkan arus untuk pengisian sebesar 40% dari kapasitas arus yang dimiliki baterai PLTS. Kapasitas arus baterai yang dimiliki baterai PLTS Jatibarang adalah 9400 Ah, maka arus yang dibutuhkan untuk mengisi baterai dengan menggunakan metode *Fast Charging* adalah 3760 Ah dan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4.

$$\begin{aligned} \text{Lama Pengisian Baterai (Jam)} &= \\ &= \frac{\text{Ah}}{40\% \text{ Kapasitas Ah}} + \left( 20\% \times \frac{\text{Ah}}{40\% \text{ Kapasitas Ah}} \right) \\ &= \frac{9400 \text{ Ah}}{3760 \text{ Ah}} + \left( 20\% \times \frac{9400 \text{ Ah}}{3760 \text{ Ah}} \right) \\ &= 3 \text{ Jam} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan metode *Fast Charging* kapasitas baterai sebesar 9400 Ah dapat diisi selama 3 Jam menggunakan arus pengisian sebesar 3760 Ah atau 40% dari kapasitas arus baterai. Penggunaan metode *Fast Charging* digunakan saat kondisi tertentu seperti musim hujan, akan tetapi metode *Fast Charging* tidak dianjurkan untuk digunakan saat pengisian energi baterai dikarenakan dapat mempersingkat umur baterai karena saat pengisian kondisi baterai menjadi panas.

Dari grafik pengisian baterai dan perhitungan baterai, waktu yang digunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Bendungan Jatibarang menggunakan metode *Fast Charging*. Metode *Fast Charging* digunakan apabila kondisi musim hujan dikarenakan cuaca yang tidak menentu yang mempengaruhi lamanya penyinaran matahari yang berdampak pada pengisian energi pada baterai PLTS.



## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai waktu pengisian baterai PLTS Bendungan Jatibarang Kota Semarang dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. PLTS Jatibarang menggunakan jenis baterai lead acid dan memiliki kapasitas baterai sebesar 451.200 Wh dengan jumlah baterai sebanyak 100 buah terhubung parallel, masing masing baterai memiliki arus sebesar 94 Ah dan tegangan sebesar 48 V.
2. Rata-rata waktu baterai pada PLTS Jatibarang dapat mensuplai energi selama 15,4 Jam, waktu paling lama dapat mensuplai energi selama 21,8 Jam dan waktu paling singkat dapat mensuplai energi selama 12 Jam.
3. Waktu pengisian baterai terdapat 2 metode pengisian yaitu *Slow Charging* dan *Fast Charging*. Dari grafik pengisian baterai dan perhitungan baterai, metode yang digunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Bendungan Jatibarang pada bulan Oktober 2021 menggunakan metode *Fast Charging* dengan waktu pengisian selama 3 jam dengan kapasitas baterai sebesar 451.200 Wh dan panel surya yang mampu menghasilkan energi sebesar 300 KWp. Metode *Fast Charging* digunakan saat kondisi musim hujan dikarenakan cuaca yang tidak menentu yang mempengaruhi lamanya penyinaran matahari yang berdampak pada pengisian energi pada baterai PLTS.

## 5.2 Saran

Setelah dilakukannya penelitian tugas akhir ini maka penulis memiliki saran untuk penelitian berikutnya, yaitu :

1. Saran untuk penelitian selanjutnya bisa dikembangkan untuk perhitungan pengisian baterai untuk mengetahui untuk mengetahui secara rinci waktu yang dibutuhkan saat pengisian baterai dari berbagai jenis baterai
2. Saran selanjutnya dapat dilakukan penelitian pada jenis-jenis baterai untuk mengetahui setiap karakteristik baterai yang digunakan pada PLTS.
3. Saran yang terakhir bisa ditambahkan atau menggunakan simulasi daya yang masuk ke baterai dan keluar pada PLTS.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. W. Retno Aita Diantari, Erlina, “Studi Penyimpanan Energi Pada Baterai PLTS,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 9, no. 2, pp. 120–125, 2017.
- [2] M. S. Setiyani, “Analisis Performansi Pengisian Baterai Sebagai Penyimpanan Energi pada PLTS Mandiri 2000 Watt,” pp. 1–9, 2020.
- [3] R. A. SADEWO, “Perancangan dan Implementasi Pengisian Baterai Lead Acid Menggunakan Solar Cell Dengan Menggunakan Metode Three Steps Charging,” *e-Proceeding Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 26–35, 2017, [Online]. Available: <https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/home/catalog/id/123903/slug/perancangan-dan-implementasi-pengisian-baterai-lead-acid-menggunakan-solar-cell-dengan-menggunakan-metode-three-steps-charging.html>.
- [4] Sapto Prayogo, “Pengembangan sistem manajemen baterai pada PLTS menggunakan on-off grid tie inverter,” *J. Tek. Energi*, vol. 9, no. 1, pp. 58–63, 2019, doi: 10.35313/energi.v9i1.1646.
- [5] I. Pembangkit and L. Tenaga, “Dos & Don ’ ts.”
- [6] Direktorat Jenderal Energi Baru terbarukan dan Konservasi Energi, “Panduan Pengoperasian dan Pemeliharaan PLTS OFF-GRID,”.
- [7] Direktorat Jenderal Guru Dan Tenaga Pendidikan, “Pemasangan Dan Pemeliharaan PLTS,” p. 227, 2015.
- [8] A. Penentuan Kapasitas Baterai dan Pengisiannya pada Mobil Listrik, I. Susanti, C. R. dan Anton Firmansyah, and C. R. dan Anton Firmansyah Politeknik Negeri Sriwijaya, “Analisa Penentuan Kapasitas Baterai Dan Pengisiannya Pada Mobil Listrik,” *Elektra*, vol. 4, no. 2, pp. 29–37, 2019.