

**ANALISA KINERJA PLTS *OFF GRID* YANG DIRANGKAI SECARA  
PARALEL DAN KOMBINASI (SERI-PARALEL) UNTUK PENERANGAN  
RUANGAN**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**



**DISUSUN OLEH:**

**ERNA WATI  
NIM 30601900014**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG  
2023**

***PERFORMANCE ANALYSIS OF OFF-GRID SOLAR POWER SYSTEMS  
CONFIGURED IN PARALLEL AND COMBINATION (SERIES-PARALLEL)  
FOR INDOOR LIGHTING***

**FINAL PROJECT**

As one the requirements to obtain a bachelor's degree in the Electrical Engineering  
Department of Sultan Agung University



Arranged by :

**Erna Wati**

**30601900014**

**ELECTRICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM**

**INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY**

**SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY**

**SEMARANG**

**2023**

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul **“ANALISA KINERJA PLTS OFF GRID YANG DIRANGKAI SECARA PARALEL DAN KOMBINASI (SERI-PARALEL) UNTUK PENERANGAN RUANGAN”**

Disusun oleh :

Nama : Erna Wati  
Nim : 30601900014  
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Selasa  
Tanggal : 29 Agustus 2023

Pembimbing I

Pembimbing II

  
11/09/23  
Ir. Budi Pramono Jati, MM., MT  
NIDN.0623126501

  
Dedi Nugroho, ST.,MT  
NIDN. 0617126602

Mengetahui  
Ketua program studi Teknik Elektro

  
11/09/23  
Jenny Putri Hapsari, ST.,MT  
NIDN. 0607018501

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

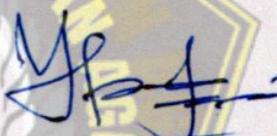
Laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisa Kinerja Plts Off Grid Yang Dirangkai Secara Paralel Dan Kombinasi (Seri-Paralel) Untuk Penerangan Ruangan” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : *Kamis*  
Tanggal : *07 September 2023*

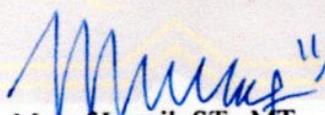
Penguji I

  
Ir. Suryani Alifah, MT., Ph.D  
NIDN. 0625036901

Penguji II

  
Ir. Ida Widihastuti, MT  
NIDN : 0005036501

**Ketua Penguji**

  
Munaf Ismail, ST., MT.  
NIDN. 0613127302

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Erna Wati

Nim : 30601900014

Judul Tugas Akhir : **ANALISA PERFORMA KINERJA PLTS OFF GRID  
YANG DIRANGKAI SECARA SERI PARALEL  
UNTUK PENERANGAN RUANGAN**

Dengan ini penulis menyatakan bahwa judul serta isi Tugas Akhir ini penulis buat untuk menyelesaikan Strata satu (S1) Teknik Elektro, Tugas Akhir ini asli penulis buat dan belum pernah diangkat, ditulis maupun dipublikasikan oleh siapapun, baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali secara tertulis mengacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, apabila dikemudian hari ternyata terbukti Tugas Akhir ini pernah diangkat ditulis maupun dipublikasi, maka penulis bersedia dikenakan sanksi akademis.

Demikian penulis buat surat pernyataan ini dengan penuh kesadaran dan tanggung jawab.

Semarang, 11 September 2023

Penulis



Erna Wati

NIM. 30601900014

## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Penulis yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Erna Wati  
Nim : 30601900014  
Program Studi : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknologi Industri  
Alamat Asal : Jl. Kaliluh, Rt 06, Rw 03, Desa. Wanasari, Kec.  
Wanasari, Brebes

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan Judul: Analisa Kinerja PLTS *Off Grid* Yang Dirangkai Secara Paralel Dan Kombinasi (Seri-Paralel) Untuk Penerangan Ruangan, Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung, serta memberikan hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dipublikasi diinternet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap meyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini penulis buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran hak cipta atau plagiatisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan penulis tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 12 September 2023



Erna Wati  
NIM. 30601900014

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Puja dan puji Syukur yang mendalam senantiasa penulis haturkan kepada Allah subhanahu wata'ala, atas nikmat iman, nikmat islam, nikmat sehat, yang telah diberikan kepada penulis, sholawat seta salam selalu tercurahkan kepada Baginda Agung, Rasulullah Nabi Muhammad Shallallahu alaihi wassalam, yang syafa'atnya selalu menjadi harapan seluruh umatnya kelak di Yaumul akhir. Dengan diselesaikannya Laporan Tugas Akhir ini, penulis mempersembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada kedua orangtua penulis, sebagai bukti rasa kasih penulisng untuk kedua orang tua yang senantiasa memberikan dukungan materil maupun non materil, semangat, dan kasih penulisng. Dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini, penulis sudah bisa memenuhi kepercayaan kedua orang tua, selama menjadi mahasiswa di Universitas Islam Sultan Agung.

Tidak lupa penulis persembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada Dosen pembimbing Bapak Ir. Budi Pramono Jati, MM., MT. dan Bapak Dedi Nugroho, ST., MT., yang telah memfasilitasi, memberikan pengarahan kepada penulis hingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Tidak lupa pula kepada seluruh rekan-rekan penulis Teknik Elektro 2019, penulis ucapkan banyak terimakasih atas dukungan, semangat, dan segala bantuan dalam bentuk apapun, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Salam Hormat, penulisng dan cinta atas kepercayaan yang telah diberikan kepada penulis.

## HALAMAN MOTO

“Ibu, disetiap sujudnya selalu menjadi doa, untuk kesuksesan anak-anaknya. Ragamu memang sakit, tapi doamu selalu mencakar langit” –Ning Umi Laila-

“Ayah rela tidak memperdulikan sakitnya, demi berusaha membuat anaknya pantas di pandangan mata orang lain” –Jyotika-

“Cita-cita terbaik dari pemuda adalah memuliakan ke-dua orang tuanya” –Gus Iqdam-

*Harapan-harapan baik yang terus didoakan, doanya tak akan pernah Tuhan tolak,  
kekuatan doa dan restu Orang tua tidak akan pernah ada tandingannya*

*-Anak perempuanmu ayah ibu-*



## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim*

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Nikmatnya sehingga masih berkesempatan untuk menuntut ilmu dalam keadaan sehat wal'afiat, Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW, semoga kelak kita mendapatkan syafaatnya. Aamiin Ya Rabbal Alamin.

Penyusunan Tugas Akhir ini adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Fakultas Teknologi Industri di Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penulisan Tugas Akhir ini tentunya banyak pihak yang memberikan bantuan secara moril maupun materil. Oleh karena itu, penulis menyampaikan upacara terima kasih yang tiada hingganya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan ridhonya serta memberikan ketabahan, kesabaran dan kelapangan hati serta pikiran dalam menimba ilmu.
2. Kedua orang tua, yakni bapak Mujahidin dan ibu Diswen yang telah memberikan dukungan baik materil maupun non materil dan tidak pernah berhenti mendo'akan di setiap sholatnya.
3. Saudara sekandung, kakak dan adik penulis tercinta Desy Nurini dan Intan widyanti, yang selalu mendoa'akan, memberi semangat dan selalu membuat penulis selalu bangkit dan optimis.
4. Bapak Prof. Dr. Gunarto SH., MHum. selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Ibu Dr. Hj. Novi Marlyana, S.T., M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
6. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

7. Bapak Ir. Budi Pramono Jati, MT., MT. dan Bapak Dedi Nugroho ST., MT., selaku dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II yang memberikan ilmu yang bermanfaat, memberikan banyak arahan, dan dengan sabar membimbing, sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
8. Bapak Dr. Muhammad Khosyi'in, S.T., M.T. Selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung.
9. Seluruh dosen dan karyawan Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini.
10. Teman-teman Team Robotik yang telah membantu penelitian, sehingga penelitian laporan Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan semestinya.
11. Teman Teknik Elektro angkatan 2019 senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan doa.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas segala dukungan, semangat, ilmu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa di dalam penyusunan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan untuk mencapai hasil yang lebih baik. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak pada terutama Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan dapat menambah wawasan.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Semarang, 11 September 2023



Penulis

## DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR.....	i
FINAL PROJECT .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
HALAMAN MOTO .....	viii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
ABSTRAK .....	xix
ABSTRACK .....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Tugas Akhir.....	2
1.5 Manfaat Tugas Akhir.....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	4
2.1    Tinjauan Pustaka .....	4
2.2    Dasar Teori .....	6
2.2.1    Pembangkit Listrik Tenaga Surya <i>Off Grid</i> (PLTS <i>Off Grid</i> ).....	6
2.2.2    Photovoltaik (Panel Surya) .....	8
2.2.3    Komponen-komponen Panel Surya .....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1    Tempat dan waktu penelitian.....	27
3.2    Pengaruh energi matahari pada Panel surya .....	28
3.3    Komponen Penelitian .....	30
3.4    Diagram Alur Penelitian.....	35
3.5    Penyusunan panel surya .....	36
3.6    Teknik Analisa Data .....	38
BAB IV HASIL DAN ANALISA .....	40
4.1    Penyusunan Panel Surya kondisi baterai penuh .....	40
4.1.1.    Panel Surya yang disusun secara Paralel kondisi baterai penuh .....	40
4.1.2.    Panel Surya yang disusun secara Seri-paralel Baterai penuh.....	50
4.2    Pengukuran Panel Surya saat kondisi Baterai kosong.....	59
4.3.1    Panel surya yang disusun secara paralel pada kondisi baterai kosong..	61
4.3.2    Panel Surya Yang dihubung Seri-paralel dalam kondisi Baterai kosong	68
4.3    Analisa perbandingan daya yang dihasilkan masing-masing penyusunan... 75	
4.4    Analisa perbandingan rugi-rugi daya pada masing-masing penyusunan .....	79

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	81
5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA .....	83
LAMPIRAN.....	85



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1</b> Tabel Spesifikasi Panel surya.....	30
<b>Tabel 3. 2</b> Deskripsi beban yang digunakan.....	39
<b>Tabel 4. 1</b> Hasil pengukuran arus, tegangan dan daya pada panel surya terhadap waktu .....	41
<b>Tabel 4. 2</b> Hasil pengukuran arus, tegangan dan daya pada baterai terhadap waktu .	43
<b>Tabel 4. 3</b> Pengukuran arus, tegangan dan daya pada beban terhadap waktu.....	45
<b>Tabel 4. 4</b> Hasil pengukuran Intensitas Cahaya terhadap waktu pengukuran. ....	48
<b>Tabel 4. 6</b> Hasil pengukuran arus, tegangan dan daya pada panel surya terhadap waktu. .....	50
<b>Tabel 4. 7</b> Hasil pengukuran arus, tegangan dan daya pada baterai terhadap waktu .	52
<b>Tabel 4. 8</b> Hasil Pengukuran arus, tegangan dan daya pada beban terhadap waktu .	55
<b>Tabel 4. 9</b> Hasil pengukuran Intensitas cahaya matahari terhadap waktu.....	57
<b>Tabel 4. 11</b> Tabel State of Charge .....	59
<b>Tabel 4. 12</b> Hasil Pengukuran Arus, Tegangan dan daya pada baterai terhadap waktu .....	61
<b>Tabel 4. 13</b> Hasil pengukuran tegangan, arus dan daya pada baterai.....	63
<b>Tabel 4. 14</b> Hasil pengukuran tegangan, arus, dan daya pada beban .....	64
<b>Tabel 4. 15</b> Hasil pengukuran intensitas cahaya matahari terhadap suhu .....	66
<b>Tabel 4. 17</b> Hasil Pengukuran Arus, Tegangan dan daya pada panel surya terhadap waktu.....	68
<b>Tabel 4. 18</b> Hasil Pengukuran Arus, Tegangan dan daya pada baterai terhadap waktu .....	70
<b>Tabel 4. 19</b> Hasil Pengukuran Arus, Tegangan dan daya pada beban terhadap waktu .....	71
<b>Tabel 4. 20</b> Hasil Pengukuran intensitas matahari terhadap waktu.....	73
<b>Tabel 4. 22</b> Tabel hasil perbandingan daya yang dihasilkan masing masing pengukuran .....	75

**Tabel 4. 23** Tabel hasil perbandingan daya yang dihasilkan masing masing pengukuran

..... 77



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Gambaran prinsip kerja sel surya. ....	10
<b>Gambar 2. 2 a.</b> Modul PV 36 Sel Surya dan <b>b.</b> Modul PV 72 Sel Surya.....	10
<b>Gambar 2. 3</b> Panel surya Monocrystalline.....	12
<b>Gambar 2. 4</b> Panel surya Polycrystalline.....	13
<b>Gambar 2. 5</b> Panel surya Thin Film.....	15
<b>Gambar 2. 6</b> Pengukuran Radiasi Panel Surya.....	16
<b>Gambar 2. 7</b> Rangkaian pengetesan sel surya .....	18
<b>Gambar 2. 8</b> Grafik Karakteristik I-V Sel Surya.....	18
<b>Gambar 2. 9</b> Lampu DC .....	22
<b>Gambar 2. 10</b> Baterai 12V.....	23
<b>Gambar 2. 11</b> Kurva I-V dan P-V (kurva karakteristik) suatu panel surya.....	25
<b>Gambar 3. 1</b> Tempat penelitian. ....	27
<b>Gambar 3. 2</b> Titik Lokasi Penelitian.....	28
<b>Gambar 3. 3</b> Panel surya monocrystalin.....	30
<b>Gambar 3. 4</b> MPPT Solar Controller For Models .....	31
<b>Gambar 3. 5</b> Baterai Lifepo4 12V 100Ah .....	32
<b>Gambar 3. 6</b> Lampu DC .....	32
<b>Gambar 3. 7</b> Infrared Thermometer.....	33
<b>Gambar 3. 8</b> Kabel penghubung.....	34
<b>Gambar 3. 9</b> Flowchart diagram alur penelitian.....	35
<b>Gambar 3. 10</b> Panel Surya yang disusun secara paralel .....	36
<b>Gambar 3. 11</b> Gambar rangkaian Panel surya yang dihubung paralel .....	36
<b>Gambar 3. 12</b> Panel surya yang disusun secara seri-paralel.....	37
<b>Gambar 3. 13</b> Gambar rangkaian Panel surya yang dihubung seri-paralel .....	37
<b>Gambar 3. 14</b> Beban saat menyala dan beban saat mati.....	38
<b>Gambar 4. 1</b> Grafik Pengaruh Arus, tegangan dan daya pada Panel Surya terhadap waktu PV tersusun paralel kondisi baterai penuh .....	43

<b>Gambar 4. 2</b> Grafik Pengaruh arus, tegangan dan daya terhadap waktu pada Baterai PV tersusun paralel dalam keadaan baterai penuh.....	45
<b>Gambar 4. 3</b> Grafik Pengaruh arus, tegangan dan daya terhadap waktu pada beban, PV tersusun paralel dalam keadaan baterai penuh.....	46
<b>Gambar 4. 4</b> Nyala lampu.....	47
<b>Gambar 4. 5</b> Grafik Pengaruh waktu terhadap intensitas cahaya, PV tersusun paralel dalam keadaan baterai penuh. ....	49
<b>Gambar 4. 7</b> Grafik Pengaruh arus, tegangan dan daya terhadap waktu pada PV tersusun seri-paralel dalam keadaan baterai penuh.....	52
<b>Gambar 4. 8</b> Grafik pengaruh arus, tegangan dan daya terhadap waktu pada baterai, PV seri paralel dalam keadaan baterai penuh. ....	54
<b>Gambar 4. 9</b> Grafik Pengaruh arus, tegangan dan daya terhadap waktu pada beban, PV tersusun paralel dalam keadaan baterai penuh.....	56
<b>Gambar 4. 10</b> Grafik Pengaruh Waktu terhadap intensitas cahaya matahari .....	58
<b>Gambar 4. 12</b> Hasil pengukuran tegangan saat kondisi baterai lemah.....	60
<b>Gambar 4. 13</b> Grafik Pengaruh Arus, tegangan dan daya pada Panel Surya terhadap waktu PV tersusun paralel kondisi baterai kosong .....	62
<b>Gambar 4. 14</b> Grafik Pengaruh Arus, tegangan dan daya pada baterai terhadap waktu,PV tersusun paralel kondisi baterai kosong .....	64
<b>Gambar 4. 15</b> Grafik Pengaruh Arus, tegangan dan daya pada beban terhadap waktu, PV tersusun paralel kondisi baterai kosong .....	65
<b>Gambar 4. 16</b> Grafik Pengaruh Intensitas matahari terhadap suhu, PV tersusun paralel dalam keadaan baterai kosong .....	67
<b>Gambar 4. 18</b> Grafik Pengaruh Arus, tegangan dan daya pada Panel Surya terhadap waktu PV tersusun seri-paralel kondisi baterai kosong .....	69
<b>Gambar 4. 19</b> Grafik Pengaruh Arus, tegangan dan daya pada baterai terhadap waktu PV tersusun seri-paralel kondisi baterai kosong .....	71
<b>Gambar 4. 20</b> Grafik Pengaruh Arus, tegangan dan daya pada beban terhadap waktu, PV tersusun seri-paralel kondisi baterai kosong .....	72

**Gambar 4. 21** Grafik Pengaruh Intensitas cahaya matahari terhadap waktu,PV tersusun seri-paralel kondisi baterai kosong ..... 74

**Gambar 4. 23** Grafik perbandingan daya pada penyusunan photovoltaik secara paralel dan seri-paralel. .... 76

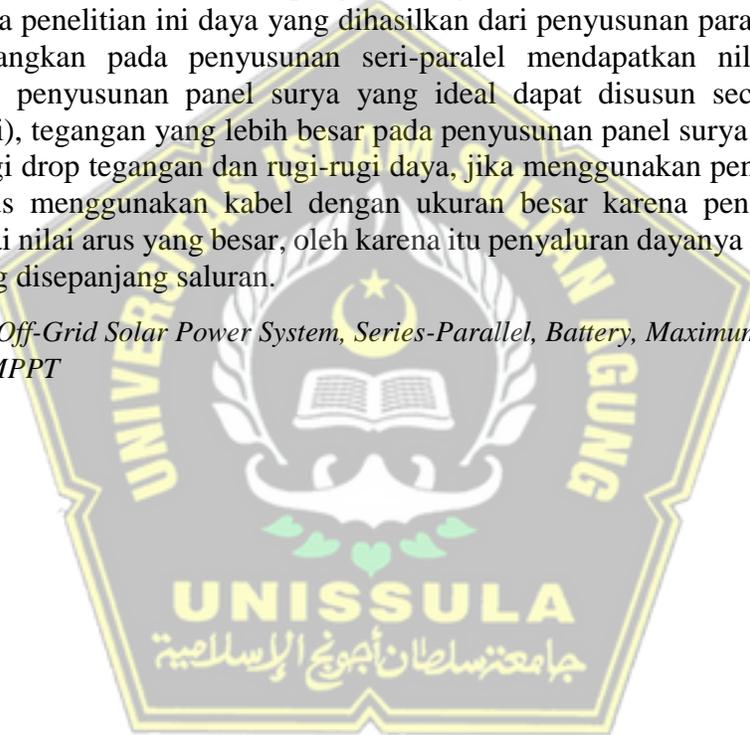
**Gambar 4. 24** Grafik perbandingan daya pada penyusunan photovoltaik secara paralel dan seri-paralel. .... 78



## ABSTRAK

Analisa performa Kinerja PLTS *Off Grid* yang dirangkai secara seri paralel untuk penerangan ruangan. Penelitian ini dimulai dengan perancangan PLTS dihubung paralel dan Seri-paralel (Kombinasi). Pada penelitian ini dibagi menjadi dua hasil yaitu penyusunan panel surya yang baterainya dalam kondisi penuh dan dalam kondisi baterai kosong. Penelitian ini menggunakan 4 buah panel surya, baterai, *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dan beban berupa lampu. Pengambilan data ini dilakukan selama 8 jam, dari jam 08:00-16:00 WIB, pengukurannya dilakukan selama interval waktu 30 menit. Pada penelitian ini daya yang dihasilkan dari penyusunan paralel adalah 32,68 Watt, sedangkan pada penyusunan seri-paralel mendapatkan nilai 33,06 Watt. Kombinasi penyusunan panel surya yang ideal dapat disusun secara seri paralel (kombinasi), tegangan yang lebih besar pada penyusunan panel surya bertujuan untuk mengurangi drop tegangan dan rugi-rugi daya, jika menggunakan penyusunan paralel maka harus menggunakan kabel dengan ukuran besar karena penyusunan paralel mempunyai nilai arus yang besar, oleh karena itu penyaluran dayanya semakin rendah, daya hilang disepanjang saluran.

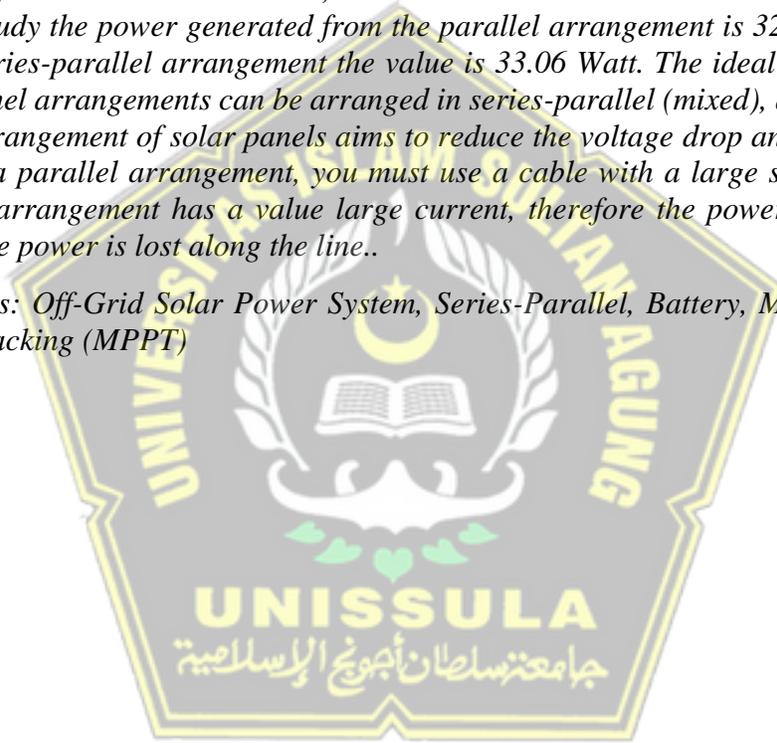
*Keywords: Off-Grid Solar Power System, Series-Parallel, Battery, Maximum Power Point Tracking (MPPT)*



## ABSTRACT

*Performance analysis of Off Grid PLTS performance which is arranged in parallel series for room lighting. This research begins with the design of PLTS connected in parallel and series-parallel (mixed). This research is divided into two results, namely the preparation of solar panels whose batteries are in full condition and in empty battery condition. This study used 4 solar panels, batteries, Maximum Power Point Tracking (MPPT) and loads in the form of lamps. Data collection was carried out for 8 hours, from 08:00 to 16:00 WIB, measurements were carried out every 30 minutes. In this study the power generated from the parallel arrangement is 32.68 Watt, while in the series-parallel arrangement the value is 33.06 Watt. The ideal combination of solar panel arrangements can be arranged in series-parallel (mixed), a larger voltage in the arrangement of solar panels aims to reduce the voltage drop and power losses, if using a parallel arrangement, you must use a cable with a large size because the parallel arrangement has a value large current, therefore the power distribution is lower, the power is lost along the line..*

*Keywords: Off-Grid Solar Power System, Series-Parallel, Battery, Maximum Power Point Tracking (MPPT)*



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Kebutuhan energi setiap tahunnya semakin meningkat, disamping pertumbuhan penduduk yang terus bertambah dan banyak masyarakat yang menggunakan alat-alat listrik, hal itu menjadi salah satu penyebab meningkatnya konsumsi energi listrik. Pada saat ini energi listrik menjadi salah satu kebutuhan utama manusia dalam menunjang aktivitas sehari-hari, oleh karena itu kebutuhan energi listrik harus terus tercukupi dan harus digunakan secara efisien.

Mayoritas suplai energi listrik berasal dari energi yang diperoleh melalui proses pembakaran bahan bakar fosil, seperti minyak bumi, gas alam, batu bara, dll, sedangkan kita tahu bahwa bahan bakar fosil termasuk sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dan suatu saat jumlahnya akan habis.

Salah satu solusi dari semakin meningkatnya konsumsi energi adalah dengan menawarkan sumber energi baru dan terbarukan sebagai alternatif penyediaan energi listrik dengan sistem kelistrikan PLTS, yang lebih ramah lingkungan serta membantu indonesia mengurangi emisi gas rumah kaca.

Listrik tenaga matahari dibangkitkan oleh komponen yang disebut solar cell yang besarnya sekitar 10-15 cm persegi. Komponen ini mengkonversikan energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik, solar cell merupakan komponen vital yang umumnya terbuat dari bahan semikonduktor.

Untuk mengetahui model perancangan mana yang sesuai hingga menghasilkan kinerja yang lebih baik, dalam penelitian ini dilakukan perbandingan penyusunan PLTS secara paralel dan seri-paralel. Daya yang dihasilkan akan disalurkan untuk penerangan ruangan kerja dari jam 08.000-16.00.

Tugas Akhir ini membahas tentang Analisa Simulasi Perancangan PLTS 50 wp *Off Grid*, sebagai Penerangan ruangan kerja dari jam 08.00-16.00, dengan beberapa

metode yang digunakan dalam perancangan simulasi PLTS akan menghasilkan daya dan akan disambungkan ke beban (lampu). Di dalam perancangan instalasi ini membutuhkan beberapa parameter yang digunakan untuk perancangan ini.

### **1.2 Rumusan Masalah**

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

1. Bagaimana pengaruh penyusunan PLTS paralel dan kombinasi terhadap beban.
2. Bagaimana Perancangan panel surya yang sesuai untuk mendapatkan output yang maksimal, apakah dirancang secara paralel atau kombinasi.
3. Bagaimana mengetahui dan membandingkan prosentase rugi-rugi daya yang disebabkan oleh masing masing penyusunan.

### **1.3 Batasan Masalah**

Agar penelitian ini dapat dilakukan dan mendalam, maka penulis memandang permasalahan penelitian yang diangkat perlu dibatasi variabelnya. Oleh sebab itu, penulis membatasi masalahnya sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini hanya dirancang menggunakan sistem beban DC.
2. Pada penelitian ini tidak memperhitungkan sudut kemiringan pada panel.
3. Pada penelitian ini beban difokuskan pada penerangan sebuah ruangan.
4. Penelitian ini difokuskan untuk pengumpulan data masing-masing penyusunan PLTS serta daya yang mampu dihasilkan.

### **1.4 Tujuan Tugas Akhir**

Tujuan Tugas Akhir ini adalah menganalisa performa kinerja panel surya yang disusun secara, paralel dan kombinasi, untuk penerangan ruangan,serta perbandingan keluaran daya yang dihasilkan setiap masing-masing penyusunan.

### **1.5 Manfaat Tugas Akhir**

Manfaat dari penelitian dan penyusunan proposal tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai simulasi penerangan untuk ruangan ketika siang hari, supaya dapat direalisasikan sebagai bentuk pemanfaatan PLTS yang sudah tersedia.
2. Penulis dapat mengetahui metode mana yang paling sesuai ketika digunakan dalam rangkaian panel surya supaya mendapatkan hasil yang optimal.
3. Masyarakat umum yang membaca dapat mengetahui perancangan yang efektif untuk mengetahui performa kinerja panel surya.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Dalam sistematika penulisan laporan penelitian ini dapat menggunakan sistematika untuk memperjelas pemahaman terhadap materi yang dijadikan objek pelaksanaan penelitian ini. Adapun sistematika penulisannya sebagai berikut :

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab I ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan tugas akhir, manfaat dan sistematika penulisan.

#### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

Bab II ini berisikan tentang tinjauan pustaka mengenai penelitian yang telah dilakukan,serta teori mengenai komponen-komponen yang terkait dengan penyusunan panel surya.

#### **BAB III: METODE PENELITIAN**

Bab III ini berisikan tentang pembahasan terkait proses penyusunan panel surya yang dihubung secara seri, paralel maupun kombinasi dan hal-hal yang akan dilakukan dalam pengambilan data pada penelitian ini.

#### **BAB IV: HASIL DAN ANALISA**

Bab IV ini berisi tentang hasil yang didapatkan setelah melakukan penelitian ini dan data yang didapat dari pengujian dari penelitian ini.

#### **BAB V : PENUTUP**

Bab V ini berisi tentang kesimpulan akhir yang didapatkan setelah melakukan penelitian dan saran untuk pengembangan dari penelitian.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Pada penelitian ini memiliki referensi penelitian sebelumnya, sebagai pendukung dalam penyusunan tugas akhir ini antara lain :

1. Penelitian yang berjudul **Rancang Panel Surya Untuk Instalasi Penerangan Rumah Sederhana Daya 900 Watt**, yang disusun oleh Mahmud Idris. Tujuan dari penelitian ini adalah pembuatan sistem pembangkit listrik PLTS dengan baterai cadangan berkapasitas 900 Watt, untuk mengurangi konsumsi listrik PLN dan memanfaatkan sumber daya alam surya menjadi energi listrik. Sistem PLTS didukung oleh baterai untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Hasil dari penelitian ini telah memberikan perencanaan untuk merancang struk PLTS dan bagian pendukung yang diperlukan untuk menghasilkan PLTS dengan kapasitas 900 Watt, baterai cadangan PLTS dengan kapasitas baterai 200Ah dengan tegangan 12V, *photovoltaic* 150 Wp x 2 MPPT *charge controller* tenaga surya dengan kapasitas 30A, *pure sine wave inverter* dengan kapasitas 1000 watt dan menggunakan MCB untuk melindungi arus 1 fasa 6A dan 2A.[1]
2. Penelitian ini berjudul **Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid Untuk Rumah Tinggal Di Kota Banjarbaru**, yang disusun oleh Renaldy Rahman. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perencanaan PLTS Off Grid untuk rumah tinggal tipe 45 di Kota Banjarbaru yang berdekatan dengan garis katulistiwa sehingga mendapat sinar matahari melimpah. Metode penelitian menggunakan metode analisis kuantitatif, dengan menggunakan teknik pengumpulan data literatur dan pengukuran yang selanjutnya diperhitungkan dengan rumus. Dengan total kebutuhan daya per harinya sebesar 8.108 W. Panel surya yang digunakan tipe Monocrystalline 300Wp sebanyak 8 buah. Jumlah hari otonomi selama 3 hari, maka diperoleh biaya investasi awal sebesar

Rp.139.862.500 dan biaya pemeliharaan tahunan selama periode 25 tahun sebesar Rp. 13.986.250. Hal tersebut sangat membantu masyarakat mengetahui perencanaan PLTS dari segi kebutuhan komponen, luas area panel surya, dan nominal biaya yang diperlukan serta *renewable energy*. [2]

3. Penelitian ini berjudul **Rancang bangun pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Sistem Penerangan Rumah**. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami beberapa potensi pemanfaatan energi surya sehari-hari sebagai pembangkit listrik tenaga surya. Oleh karena itu, pemanfaatan sumber daya alam dilakukan untuk memahami beberapa potensi pemanfaatan PLTS. Untuk menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk sistem penerangan rumah, proses pembangkit listrik tenaga surya dapat dilakukan dengan sinar matahari agar dapat menghasilkan energi listrik. Sebuah lampu pijar 10 Watt membutuhkan daya sebesar 132 Watt. Pada panel surya akan ada daya yang hilang tergantung jenis dan kualitas panel surya tersebut, untuk menstabilkan kebutuhan tersebut pemakaian listrik tidak kurang dari kebutuhan amannya maka total daya perhari dikalikan dengan 13%. Nilai ini yang harus dihasilkan oleh panel. [3]
4. Penelitian ini berjudul **Perancangan PLTS untuk Rumah tinggal dengan kapasitas daya terpasang 450 VA** Perancangan PLTS ini dilakukan dengan cara meninjau lokasi di daerah Bekasi, tepatnya di kampung Gabus Rawa, desa Srijaya, kecamatan Tambun Utara, kemudian menentukan intensitas matahari di daerah tersebut dan menentukan kebutuhan beban yang akan dipasang, setelah itu dibuat desain yang ideal dengan spesifikasi peralatan yang ada di pasaran. Hasil peninjauan menunjukkan total pemakaian energi adalah 300 Wh, dengan kapasitas daya modul sebesar 80,44 Wp, kemudian dipilih panel surya sebesar 100 Wp, kapasitas baterai yang digunakan berdasarkan efisiensi dan autonomy days adalah sebesar 62,5 Ah, maka dipilih baterai dengan kapasitas 100 Ah. Kapasitas baterai sebesar 100 Ah dengan total arus beban sebesar 6,25

Ah, maka kemampuan baterai dapat membackup untuk beban penerangan selama 16 jam.[4]

5. Penelitian ini berjudul Studi **Karakteristik *Photovoltaic* Terhubung Seri dan Paralel** Penelitian ini membahas karakteristik photovoltaic (PV) berdasarkan perubahan intensitas radiasi matahari dan suhu di Kota Medan. Karakteristik PV yang dibahas pada penelitian ini tidak hanya karakteristik satu buah PV akan tetapi dua buah PV dalam keadaan terhubung seri dan paralel. PV yang digunakan pada penelitian ini adalah BPSX 60 Watt *Polycrystalline* dan disimulasi menggunakan MATLAB atau SIMULINK. Karakteristik PV yang dibahas pada penelitian ini adalah karakteristik daya-tegangan (P-V) dan arus-tegangan (I-V).[5]

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off Grid* (PLTS *Off Grid*)

Dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), ada yang disebut dengan PLTS *Off Grid* . sistem ini menggunakan baterai untuk menyimpan energi listrik, sistem pembangkit listrik tenaga surya yang tidak terhubung dengan jaringan listrik umum

PLTS *Off Grid* adalah sistem pembangkit listrik bertenaga surya yang dapat menghasilkan energi listrik menggunakan rangkaian modul *photovoltaic*. Sistem ini bekerja secara terpusat karena hanya terpasang hanya pada suhu wilayah, yang prioritasnya untuk memberikan suplai pada masyarakat yang jarak tempat tinggalnya saling berdekatan. Oleh Karena itu dinamakan off grid karena berada pada luar jaringan listrik PLN , sehingga harus dirancang secara tepat agar dapat menghasilkan daya yang cukup.

Dengan demikian, sistem PLTS *Off Grid* membutuhkan baterai untuk tetap memberikan daya cadangan meskipun pada keadaan hujan. Sistem ini merupakan

pilihan yang sangat memungkinkan untuk distribusi listrik di daerah terpencil karena mudah dipasang.

Sistem panel surya ini menyimpan energi listrik yang dihasilkan dengan baterai khusus, yang berguna dalam situasi di mana jaringan listrik terganggu. Perlu diingat bahwa pembangkit listrik tenaga surya off grid membutuhkan baterai sebagai bagian dari sistem kerjanya sehingga memakan biaya yang cukup mahal. Sistem operasinya dan oleh karena itu harganya cukup mahal.[6]

#### A. Cara kerja PLTS *Off Grid*

Berikut adalah cara kerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off Grid*:

- a. PLTS *Off-Grid* menggunakan panel surya untuk menyerap energi matahari, panel ini terdiri dari sel surya yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Biasanya beberapa modul panel surya yang dihubungkan secara seri maupun paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus yang diperlukan.
- b. Inverter *Off Grid* untuk mengubah daya DC yang tersimpan pada baterai menjadi daya AC, yang sesuai dengan perangkat listrik seperti lampu, kipas angin, dan peralatan lainnya.
- c. Pengontrol pengisian daya baterai, panel surya menghasilkan arus searah (DC) sedangkan kebutuhan listrik rumah tangga biasanya arus bolak-balik (AC), oleh karena itu sistem *off grid* menggunakan *battery charge Controller* untuk mengatur pengisian baterai dengan arus searah dari panel surya.
- d. Monitor dan sistem keamanan bisa menggunakan MPPT untuk mengukur konsumsi energi memberikan tanda ketika terjadi masalah.

#### B. Kelebihan dan Kekurangan penggunaan PLTS *Off Grid*

Berikut adalah beberapa keuntungan dan kelebihan menerapkan PLTS *Off Grid*.

Keuntungan:

- a. PLTS *off grid* menyediakan pasokan listrik mandiri di daerah terpencil atau jauh dari jaringan listrik PLN, ini sangat berguna di daerah dengan akses listrik terbatas atau tidak ada listrik sama sekali.

- b. PLTS menggunakan energi surya sebagai sumber daya utamanya. Hal ini mengurangi ketergantungan pada sumber bahan bakar fosil yang terbatas dan mampu membantu mengurangi emisi gas rumah kaca.[6]

Kerugian:

- a. PLTS *Off Grid* membutuhkan sistem penyimpanan energi , seperti baterai, untuk menyimpan energi saat sedang tidak ada sinar matahari dan modul panel surya tidak bisa menyerap energi matahari. Penggunaan baterai ini memerlukan biaya tambahan dan memerlukan perawatan rutin dan juga pergantian baterai.
- b. Sistem PLTS *Off Grid* sangat bergantung pada kondisi cuaca dan intensitas matahari, jika cuaca terus buruk atau mendung maka produksi listrik dapat berkurang cukup signifikan.
- c. Merancang dan memasang PLTS *Off Grid* yang tepat membutuhkan pengetahuan teknik yang memadai. Perhitungan kebutuhan energi yang akurat, pemilihan komponen yang tepat, dan perancangan yang cermat diperlukan untuk memastikan pengoprasian sistem sudah benar.

### 2.2.2 Photovoltaik (Panel Surya)

Teknologi yang memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan listrik. PV bekerja dengan cara mengubah energi cahaya matahari langsung menjadi energi listrik melalui proses *Photovoltaic*. Proses *Photovoltaic* ini terjadi pada bahan semikonduktor yang terdapat di dalam panel surya.

Panel surya terdiri dari beberapa sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Ketika sinar matahari mengenai sel surya, foton dalam sinar matahari menabrak atom di dalam bahan semikonduktor, sehingga elektron dalam atom terlepas dan menghasilkan arus listrik. Elektron kemudian ditangkap oleh medan listrik yang dihasilkan oleh material semikonduktor, sehingga mengalir melalui kawat konduktor dan menghasilkan listrik.

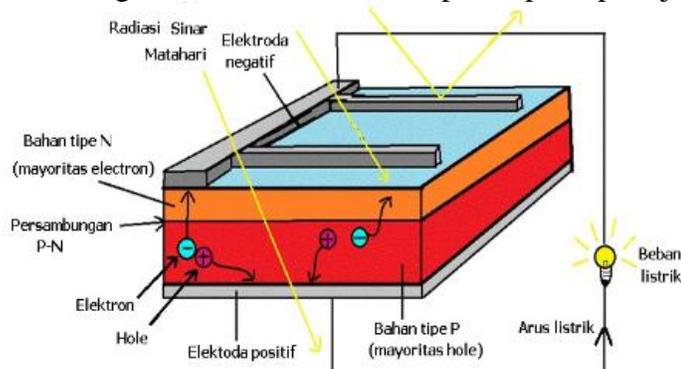
PV dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari pembangkit listrik tenaga surya skala besar hingga aplikasi rumah tangga seperti lampu jalan, penerangan rumah, dan pengisian baterai. PV juga sangat ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polusi, sehingga dapat membantu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Teknologi PV terus mengalami perkembangan dan peningkatan efisiensi sehingga semakin banyak digunakan di seluruh dunia. Dalam beberapa tahun terakhir, harga panel surya juga semakin terjangkau sehingga semakin banyak masyarakat yang memasang panel surya di rumah atau gedung mereka untuk menghasilkan listrik yang lebih murah dan ramah lingkungan.[7]

### 2.2.2.1 Prinsip Kerja Solar PV

Sel surya (photovoltaic cell) terbuat dari bahan semi konduktor seperti halnya diode, memiliki sambungan antara bahan tipe P dan N. Daerah persambungan antara kedua bahan tersebut dikenal sebagai daerah persambungan P- N (P-N junction), daerah disekitar persambungan ini disebut sebagai daerah deplesi (pengosongan) dan memiliki medan listrik internal. Bahan tipe P memiliki mayoritas pembawa muatan yang disebut hole, sedangkan bahan tipe N memiliki mayoritas pembawa muatan yang disebut elektron . Pada saat sel surya terkena radiasi oleh penyinaran matahari maka elektron – elektron dalam bahan semikonduktor akan tereksitasi sehingga menciptakan pasangan-pasangan elektron dan hole.

Dibawah pengaruh medan listrik internal, pasangan – pasangan ini akan terpisah. Elektron – elektron akan bergerak menuju elektroda negative sementara hole akan bergerak ke elektroda positif. Jika kedua kutub elektroda dihubungkan ke beban maka akan mengalir arus listrik. Ini merupakan prinsip kerja sel surya.



**Gambar 2. 1** Gambaran prinsip kerja sel surya.

Panel surya tersusun atas rangkaian seri sel surya. Setiap satu sel surya silikon menghasilkan tegangan 0,5 volt, sehingga untuk meningkatkan tegangan maka sel surya dirangkai secara seri. Rangkaian ini disebut modul PV (modul panel surya).

#### 2.2.2.2 Standar modul PV

36 sel surya menghasilkan 18 volt, tegangan bisa turun 17 volt akibat panas pada sel surya, tegangan ini cukup untuk mengisi baterai 12 tegangan ini cukup untuk mengisi baterai 12 volt.

72 sel surya menghasilkan 36 volt, tegangan bisa turun 34 volt akibat panas pada sel surya, tegangan ini cukup untuk mengisi baterai 24 volt.[8]



**Gambar 2. 2** a. Modul PV 36 Sel Surya dan b. Modul PV 72 Sel Surya

#### 2.2.2.3 Jenis Modul PV

##### a. Monocrystalline

Model ini terbuat dari kristal silikon murni. Mirip seperti membuat kripik singkong. Potongan singkong diiris tipis-tipis yang siap untuk digoreng. Berbeda

dengan kristal silikon murni yang memerlukan teknologi khusus untuk mengirisnya menjadi kepingan-kepingan kristal silikon yang tipis. Berkat teknologi ini dapat dihasilkan komponen sel surya yang serupa sehingga menjadi sel surya yang efisien dibandingkan jenis sel lainnya, sekitar 15-20%. Mahalnya harga kristal silikon murni dan teknologi yang digunakan, menyebabkan mahalnya harga jenis sel surya ini dibandingkan jenis sel surya yang lain di pasaran. Sel-sel surya monocrystalline juga dikenal sebagai sel-sel kristal tunggal. *Monocrystalline* sangat mudah diidentifikasi karena berwarna hitam pekat. Sel *monocrystalline* terbuat dari bentuk silikon yang sangat murni, membuatnya menjadi bahan paling efisien untuk konversi sinar matahari menjadi energi.

Panel type Monocrystalline paling generik dijual dipasaran, lebih kurang 90% panel surya dibentuk menggunakan bahan seperti bahan semikonduktor. Silikon memang berlimpah, bahan yg stabil dan tidak beracun. Bekerja dengan baik bagi mereka yang mendesain panel yg baik. Proses produksi *Monocrystalline* lebih sulit. Dan biaya yang dikeluarkan produksi akan lebih mahal dibanding panel Poly. Membutuhkan kristal yang seragam, proses pembuatannya juga menggunakan suhu tinggi.

Ketika proses pembuatan biji kristal yang dipanaskan bisa hilang, menciptakan 50 material terbuang waktu proses pemotongan. Hal tadi menciptakan harga panel Monocrystalline 50% lebih mahal dibanding panel *polycrystalline*.

Panel surya jenis Mono memang lebih baik, pada arti membuat daya power lebih tinggi dibanding jenis panel lainnya. Lantaran menggunakan kristal tunggal, tempat tinggal lebih memilih panel jenis ini. Lantaran elektron lebih mudah mengalir melalui sel semikonduktor dengan hasil lebih baik.

Walau ukurannya sedikit lebih kecil, taraf power yg didapatkan bisa menyamai berukuran panel *Poly* yg lebih besar. Umur pemakaian panel surya tipe Mono lebih baik, pada arti susutnya power selama usia penggunaan akan lebih lama. Masalah pada panel Mono, waktu panel tertutup kotoran, debu atau dedaunan

atau bekerja dalam ruang tinggi. Tingkat efisien panel bisa semakin menurun. Diperlukan perawatan dengan membersihkan bagian atas panel secara berkala.[9]



Gambar 2. 3 Panel surya *Monocrystalline*

b. Polycrystalline

Jenis ini terdiri dari banyak batang kristal silikon yang menyatu atau dicairkan dan tuang ke dalam cetakan persegi. Kemurnian Kristal silikonnya tidak semurni pada sel surya monokristalin, sehingga sel surya yang dihasilkan tidak sama satu sama lain dengan efisiensi lebih rendah, sekitar 13% hingga 16%. Tampilannya seperti pola pecahan kaca di dalamnya. Bentuknya persegi, bila disusun membentuk panel surya yang rapat tidak seperti susunan pada panel surya monocrystalline, dan proses pembuatannya lebih mudah dibanding panel monocrystalline., karenanya harganya lebih murah. Jenis ini paling banyak dipakai saat ini. Panel surya pertama berdasarkan silikon polycrystalline yang juga dikenal sebagai polysilicon (p-Si) dan multi-kristal silikon (mc-Si), diperkenalkan ke pasar pada tahun 1981.



**Gambar 2. 4** Panel surya Polycrystalline.

c. Thin Film

Thin film PV atau thin solar cell adalah teknologi pembuatan panel surya dengan menggunakan lapisan tipis bahan semikonduktor seperti silikon, *cadmium telluride* atau *perovskite*. Teknologi ini berbeda dengan sel surya konvensional yang menggunakan bahan semikonduktor yang lebih tebal.

Keuntungan dari teknologi PV film tipis adalah lebih murah untuk diproduksi dan pengoperasiannya karena lebih sedikit bahan semikonduktor yang digunakan dibandingkan dengan sel surya konvensional. Selain itu, sel surya tipis dapat dibuat lebih fleksibel dan ringan, serta dapat dipasang di berbagai permukaan.

Namun, kelemahan teknologi PV film tipis adalah efisiensi konversi energi yang lebih rendah dibandingkan dengan sel surya tradisional. Sel surya yang lebih

tipis juga umumnya lebih rentan terhadap degradasi dari paparan sinar matahari yang konstan dan memiliki umur yang lebih pendek.

Meskipun begitu teknologi PV film tipis tetap menjadi pilihan yang menarik untuk aplikasi tertentu, seperti pada memasang panel surya di tempat yang sulit dijangkau atau di permukaan yang tidak rata.

Berikut adalah keuntungan dari thin film:

- a. Lebih hemat biaya produksi dan penggunaan dibandingkan dengan sel surya konvensional
- b. Dapat dibuat lebih fleksibel, ringan dan dapat dipasang di berbagai permukaan
- c. Lebih tahan terhadap suhu tinggi dan bayangan

Berikut adalah kekurangan dari thin film:

- a. Efisiensi energi yang lebih rendah dibandingkan sel surya konvensional
- b. Lebih rentan terhadap degradasi akibat paparan sinar matahari secara terus menerus.
- c. Memiliki masa pakai yang lebih pendek dibandingkan dengan sel surya konvensional
- d. Sulit untuk diproduksi dalam skala besar



**Gambar 2. 5** Panel surya *Thin Film*

#### **2.2.2.4 Pengaruh Kinerja Panel Surya**

a. Lokasi Penempatan Panel Surya

Kinerja panel surya akan meningkat berpengaruh terhadap penempatan panel surya itu sendiri, dimana kita ketahui bahwa panel surya menyerap energi matahari, menyerap intensitas cahaya dari matahari, maka penempatan panel surya harus pada tempat yang terbuka tidak terhalangi benda, pohon ataupun bayangan lain yang akan menghalangi sinar matahari masuk, maka dari itu kebanyakan dari penempatan panel surya di tempatkan pada atap rumah dimana tidak ada bayangan yang menghalangi cahaya matahari masuk atau di tanah lapang yang terbuka.

b. Insulation Surya

Kinerja panel surya tergantung pada potensi radiasi matahari di suatu tempat atau lokasi dimana panel surya akan dibangun. Potensi radiasi ini akan berbeda-beda antara satu daerah dengan daerah lain, parameter yang digunakan untuk mengukur radiasi ini disebut sebagai Insulation (Incoming Solar Radiation)

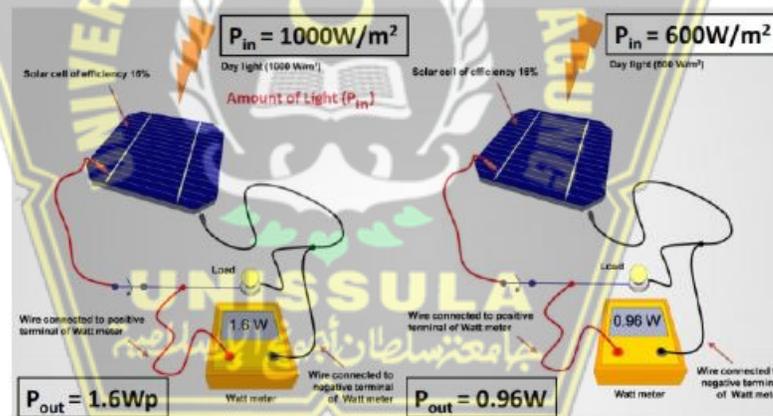
Pada konteks pembangkitan energi surya, tingkat insolation yang tinggi pada suatu daerah dapat meningkatkan efisiensi dan kapasitas pembangkit listrik tenaga surya. Oleh karena itu, pengukuran insulation sangat penting dalam perencanaan, desain, dan pengoperasian sistem pembangkit listrik tenaga surya.

Insolasi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti lokasi geografis, kondisi cuaca, dan waktu dalam sehari, tempat yang letaknya di daerah tropis seperti indonesia memiliki tingkat insulation yang relatif tinggi karena menerima matahari sepanjang tahun, beda halnya dengan daerah yang terletak di kutub yang memiliki tingkat insulation yang rendah karena sinar matahari hanya

mencapai permukaan bumi dengan sudut yang sangat kecil. Radiasi matahari yang diterima oleh permukaan bumi persatuan luas dalam satuan waktu tertentu, pengukuran energi kumulatif yang diukur di beberapa area untuk jangka waktu tertentu (misalnya, tahunan, bulanan, harian, dll), satuan insolasi adalah  $\text{Kwh/m}^2$ .

c. Iradiasi Surya

Iradiasi (*Irradiance*) adalah ukuran intensitas sinar matahari yang mengenai suatu bidang permukaan panel surya persatuan luas, kinerja panel surya juga dipengaruhi oleh perubahan intensitas radiasi surya, semakin tinggi iradiasi suryanya semakin naik arus outputnya, namun tegangan yang dihasilkan tetap sama.



Gambar 2.6 Pengukuran Radiasi Panel Surya

Standar pengukuran radiasi matahari menggunakan watt per meter persegi ( $\text{W/m}^2$ ). Pengukuran radiasi matahari terbatas dengan kemampuannya untuk mengukur nilai radiasi rendah. Pengukuran cahaya matahari mengukur nilai fluks cahaya per satuan luas (luminasi) menggunakan satuan lumen per meter atau lux. Faktor konversi yang efektif antara  $\text{W/m}^2$  dan lux akan memungkinkan penggunaan pengukur cahaya untuk mengevaluasi kinerja photovoltaik dalam kondisi iradiasi matahari yang rendah. Literatur yang

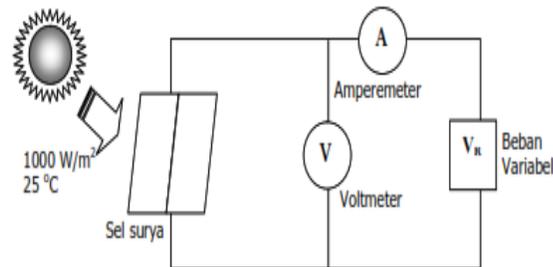
ditinjau sama dengan berisi nilai setara luminous efficacy yang berkisar antara 21 hingga 131 lux per  $W/m^2$ , 21000 lux sama dengan  $1000 W/m^2$ , jadi 1 lux dalam pengukuran intensitas cahaya sama dengan  $0,00083 W/m^2$ . Faktor konversi meliputi data standar dan kekuatan kalibrasi peralatan.[10]

d. Efek Temperatur panel surya

Kinerja panel surya akan menurun saat temperatur pada panel surya meningkat, sehingga akan mengakibatkan drop tegangan. Pada sinar terik matahari tinggi keluaran tegangan dapat mencapai 5% untuk setiap kenaikan temperatur 25% sel surya. Untuk mengatasi hal tersebut direkomendasikan untuk menambah jumlah panel surya untuk daerah yang memiliki panas lebih tinggi dibandingkan daerah yang lebih dingin, hal ini digunakan untuk mengatasi rugi-rugi akibat temperatur sel surya yang terlalu panas.[11]

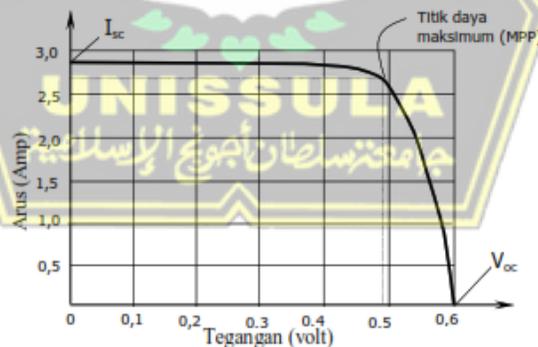
#### 2.2.2.5 Karakteristik sel surya

Sel surya dengan keadaan tanpa penyinaran mempunyai karakteristik yang sama dengan diode. Ketika sel surya mendapat sinar, akan mengalir arus konstan yang arahnya berlawanan dengan arus diode. Untuk memperoleh karakteristik tegangan arus sel surya maka sel surya yang akan dites harus dihubungkan dengan beban listrik yang dapat divariasikan. Selain itu alat-alat ukur tegangan harus dipasang sebagaimana mestinya. Pengetesan sel surya harus dipasang sebagaimana mestinya, pengetesan sel surya ini harus dalam suatu keadaan standar yaitu kuat penyinaran cahaya  $1000 W/m^2$  pada suhu  $25^\circ C$



**Gambar 2. 7** Rangkaian pengtesan sel surya

Saat beban sama dengan nol atau dengan kata lain beban dilepas maka dalam keadaan ini akan diperoleh tegangan nol  $V_{ac}$  (*Open Circuit Voltage*) yang merupakan tegangan maksimum sel surya kena  $I = 0$ . Saat beban diperbesar terus sampai mencapai keadaan hubung singkat maka akan memperoleh tegangan sel surya sama dengan nol dan arus akan maksimum  $I_{sc}$  (*Short Circuit Current*). Kemudian apabila beban divariasi pula. Kombinasi arus dan tegangan tersebut dapat digambar sebagai sebuah grafik seperti pada gambar berikut yang dikenal grafik karakteristik I-V.



**Gambar 2. 8** Grafik Karakteristik I-V Sel Surya

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa sel surya menghasilkan daya yang maksimum pada sebuah titik dari grafik tersebut, dalam keadaan beban nol dan hubung singkat, daya yang dihasilkan sebuah sel surya sama dengan nol, pada gambar tersebut terlihat titik daya maksimum (*Maximum point power/MPP*) dihasilkan dari tegangan  $V_{max}$  dan arus  $I_{max}$  yang sesuai.

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max} \dots\dots\dots (2.1)$$

Pada praktiknya selalu harus diusahakan agar pemakaiannya beban berpatokan dari titik MPP ini. Rasio antara hasil kali arus  $I_{max}$  dengan  $V_{max}$  pada titik daya maksimum (MPP) dengan hasil kali arus hubung singkat  $I_{sc}$  dengan tegangan hubung buka  $V_{ac}$  disebut dengan *fill factor*

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{ac} \cdot I_{sc}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Pada level radiasi matahari yang lebih rendah maka luasan daerah di bawah grafik tersebut akan berkurang dan MPP akan bergeser ke kiri, namun bentuk I-V secara umum masih tetap sama. Saat sel surya menghasilkan daya listrik pada keadaan sebenarnya, intensitas radiasi matahari bervariasi tiap waktu, sehingga untuk menghasilkan daya maksimum diperlukan sebuah peralatan elektronik yang disebut Maximum Power Tracking. Peralatan elektronik tersebut berfungsi secara otomatis memvariasikan beban beban jika dilihat dari sel surya sehingga diperoleh transfer energi yang maksimal karena sel surya bekerja pada daerah Maximum Power Point/MPP. Sel surya mempunyai hubungan buka  $V_{ac}$  sekitar 0,5-0,6 Volt dan arus hubung singkat  $I_{sc}$  3 Amp untuk luas permukaan 100 cm<sup>2</sup>. [12]

### 2.2.3 Komponen-komponen Panel Surya

#### 2.2.3.1 Modul Panel Surya

Panel surya adalah kumpulan sel surya yang disusun untuk menyerap sinar matahari secara efisien, sel surya itu sendiri yang berfungsi untuk menyerap sinar matahari, sel surya terdiri dari berbagai komponen *photovoltaic*, atau komponen yang dapat mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik, secara umum sel surya terdiri dari lapisan silikon semikonduktor, metal, non reflektif dan strip konduktor metal.

Jumlah sel surya yang tersusun dalam panel surya sebanding dengan energi yang akan dihasilkan, semakin banyak sel surya yang digunakan, semakin banyak pula energi yang dihasilkan.

Prinsip kerja sel surya di mulai dari partikel yang disebut “*foton*” yaitu partikel sinar matahari yang sangat kecil, ketika *foton* ini menabrak atom semikonduktor di dalam sel surya maka dapat menghasilkan energi yang beras untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya. Elektron yang terpisah dan bermuatan negatif akan bergerak bebas pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor, sehingga atom yang kehilangan elektron memiliki struktur kosong dan disebut “*hole*” bermuatan positif.

Untuk menghitung kebutuhan panel surya yang akan digunakan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Kebutuhan Pv} = \frac{\text{Daya jam (watt Hours)}}{\text{Wp Panel Jam}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk menentukan nilai daya, yang perlu diketahui terlebih dahulu adalah daya yang diterima oleh panel surya. Hal ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang diberikan.

$$P_{in} = E \times A \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

$P_{in}$  = Daya input akibat irradianse matahari (Watt)

$E$  = intensitas radiasi matahari (Watt/m<sup>2</sup>)

$A$  = Luas permukaan Pv (m<sup>2</sup>)

untuk mendapatkan nilai daya panel surya ( $P_{out}$ ) didapatkan dengan persamaan sebagai berikut

$$P_{out} = V_{0c} \times I_{sc} \times FF \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

$P_{out}$  = Daya maksimum pada Pv

$V_{0c}$  = Tegangan rangkaian terbuka pada Pv

$I_{sc}$  = Arus hubung singkat pada Pv

$FF$  = Fil faktor

Disamping itu untuk menghitung Efisiensi panel surya dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.6)$$

Efisiensi ini diukur dalam prosentase dan mencerminkan efisiensi saat pengambilan data yang dilakukan

$$\eta = \frac{P_{output}}{I_{rx} A} \times 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

### 2.2.3.2 Lampu Dc

Lampu DC adalah lampu pijar yang menghasilkan cahaya dengan cara memanaskan kawat logam filamen sampai ke suhu tinggi sehingga menghasilkan sinar. Filamen panas dilindungi dari udara oleh bola kaca yang di isi dengan gas lembam atau divakumkan.

Lampu pijar dibuat dalam berbagai macam bentuk dan tersedia dalam tegangan (voltase) kerja yang bervariasi dari mulai 1,25 volt hingga 300 volt.energi listrik yang diperlukan lampu pijar untuk menghasilkan cahaya buatan lainnya seperti lampu pendar dan dioda cahaya, maka secara bertahap pada beberapa negara peredaran lampu pijar mulai dibatasi.

Disamping memanfaatkan cahaya yang dihasilkan,beberapa pengguna lampu pijar lebih memanfaatkan panas yang dihasilkan,contohnya adalah pemanas kandang ayam, dan pemanas inframerah dalam proses pemanasan di bidang industri

Selubung gelas yang menutup rapat filamen suatu lampu pijar disebut dengan bola lampu. Macam-macam bentuk bola antara lain adalah bentuk bola, bentuk jamur,bentuk lilin dan bentuk *lustre*. Warna bola lampu antara lain yaitu bening, warna susu atau buram, dan warna merah,hijau,biru, atau kuning.

Performa lampu pijar, atau dengan kata lain disebut *efikasi luminous* adalah nilai yang menunjukkan efisiensi perpindahan listrik ke cahaya dan ditunjukkan dalam lumen per watt. Sekitar 90% energi yang digunakan oleh lampu dilepaskan sebagai radiasi panas, dan hanya 10% yang dipancarkan radiasi cahaya kasat mata.

Pada tegangan 120 volt, nilai keluaran cahaya lampu pijar 100W biasanya adalah 1.750 lumen, maka efisiensinya adalah 17,5 lumen per Watt. Sementara itu



pada tegangan 230 volt seperti yang digunakan di Indonesia, nilai keluaran bohlam 100W adalah 1.380 lumen atau setara dengan 13,8 lumen per Watt. Nilai ini sangatlah rendah bila dibandingkan dengan nilai keluaran sumber cahaya putih yang sesuai yaitu 242,5 lumen per Watt, atau 683 lumen per Watt untuk cahaya pada panjang gelombang hijau-kuning di mana mata manusia sangatlah peka. Efisiensi yang sangat rendah ini disebabkan karena pada temperatur kerja, *Filamen wolfram* meradiasikan sejumlah besar *radiasi inframerah*.

Gambar 2. 9 Lampu DC

### 2.2.3.3 Baterai

Baterai merupakan alat untuk menyimpan daya yang dihasilkan oleh panel surya. Daya yang tersimpan dapat digunakan saat periode radiasi biasa digunakan dalam aplikasi surya adalah baterai yang bebas pemeliharaan bertimbal asam (*maintenance-free lead acid batteries*), yang juga dinamakan baterai *recombinant* atau VRLA (klep pengatur asam timbal atau *valve regulated lead acid*). Baterai memenuhi dua tujuan penting dalam sistem *fotovoltaic*, yaitu untuk memberikan daya listrik kepada sistem ketika tidak disediakan oleh array panel-panel surya dan untuk menyimpan kelebihan daya. Baterai mengalami proses siklus menyimpan dan mengeluarkan tergantung pada sinar matahari ada atau tidaknya, selama adanya matahari panel menghasilkan daya listrik, daya yang tidak digunakan, akan masuk pada baterai sebagai cadangan.

Berbagai jenis baterai tersedia untuk sistem PLTS *off-grid*, termasuk *lead-acid*, *lithium ion*, *zinc air*, dan *nikel cadmium*, tetapi sebagian besar hanya digunakan di lokasi yang terpencil karena kematangan teknologi, kinerja, dan keamanannya. Karena masa pakainya yang lebih lama, opsi penyimpanan baterai yang lebih baru, seperti *lithium ion* dan *zinc air*, mulai dipertimbangkan.

Baterai Deep Cycle Jenis *VRLA AGM* dan *VRLA Gel* merupakan jenis baterai yang paling cocok dan paling banyak digunakan dalam pemasangan panel surya, alasan mengapa baterai jenis ini banyak digunakan karena memiliki ketahanan siklus pengisian, ketahanan penggunaan, anti tumpah atau bocor, dan bebas perawatan

Sistem BMS dapat secara otomatis mengatur status pengisian, dan pengosongan, menyeimbangkan arus, dan tegangan setiap sel. memilih baterai yang memiliki kapasitas sedikit lebih besar dari yang diperlukan, karena baterai yang terlalu kecil mungkin tidak mampu menyimpan cukup energi untuk memasok beban selama periode waktu yang diinginkan. Jadi, untuk kasus ini, baterai dengan kapasitas sekitar 80-100 Ah (ampere jam) mungkin diperlukan tergantung pada jenis baterai yang digunakan.

Baterai yang digunakan sesuai dengan kebutuhan beban, kebutuhan *baterai* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Kebutuhan Baterai} = \frac{\text{Daya jam (Watt Hours)}}{V_{\text{Batteray}} \times \text{Ah}_{\text{Batteray}}} = \frac{\text{Daya jam (watt Hours)}}{\text{Daya Betteray}} \dots\dots\dots (2.8)$$



**Gambar 2. 10** Baterai 12V

Pada penelitian ini menggunakan *Baterai LifePo4, Battery LifePo4* ini hanya boleh digunakan pada discharge hingga 100% dari kapasitasnya, namun disarankan untuk digunakan 80% dari kapasitasnya.[13]

DoD baterai LifePo4 berkisar antara 80% hingga 100%, DoD adalah batas kedalaman pengosongan baterai, hal ini menjadi parameter penting dalam pemeliharaan baterai karena dapat mempengaruhi masa pakai baterai.

#### **2.2.3.4 Maximum Power Point Tracking (MPPT)**

Maximum Power Point Tracking (MPPT) merupakan suatu sistem elektronik yang mengontrol sistem panel surya sehingga dapat beroperasi pada daya maximum. MPPT ini bukan merupakan sistem pelacakan mekanis, namun merupakan kontrol elektronik yang terkonsentrasi pada titik karakteristik tegangan dan arus pada panel surya.

Banyak sekali faktor yang mempengaruhi panel surya misalnya temperatur yang mempengaruhi nilai tegangan, intensitas cahaya yang mempengaruhi titik kerja arus yang dihasilkan dan lainnya. Maka dari itu sistem MPPT memungkinkan kondisi yang variabel itu dapat dilacak daya maximumnya pada waktu dan saat tertentu.

Sistem panel surya dapat bekerja sebagai sistem yang berdiri sendiri (otonom) atau terhubung ke grid (berinteraksi dengan jaringan listrik lokal). Oleh karena itu, pelacakan titik daya maksimum (MPPT) sangat penting untuk melacak titik maksimum daya (MPP) dalam semua lingkungan dan kemudian memaksa sistem panel surya beroperasi pada titik maksimum daya. MPPT adalah komponen penting dari sistem panel surya. Ada sejumlah metode MPPT yang berbeda yang telah diterapkan dan dibahas dalam literatur.

Teknologi MPPT digunakan dalam pengontrol pengisian baterai surya atau inverter untuk memastikan panel surya beroperasi pada tingkat MPP, sehingga memaksimalkan produksi energi. Pengontrol MPPT terus memantau dan menyesuaikan parameter operasi panel surya untuk mempertahankan kinerja terbaik, Banyak sekali faktor yang mempengaruhi panel surya misalnya temperatur yang

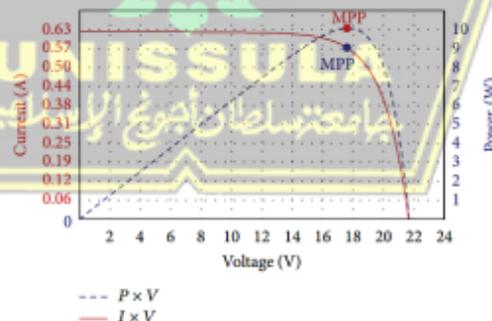
mempengaruhi nilai tegangan, intensitas cahaya yang mempengaruhi titik kerja arus yang dihasilkan dan lainnya. Maka dari itu sistem MPPT memungkinkan kondisi yang variabel itu dapat dilacak daya maximumnya pada waktu dan saat tertentu.

Efisiensi MPPT dapat diketahui dengan :

$$\text{Efisiensi MPPT} = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

Sistem MPPT bekerja dengan cara memaksa panel surya untuk bekerja pada titik daya minimumnya, sehingga daya yang mengalir pada beban adalah daya maksimalnya, pada dasarnya digunakan DC-DC converter dalam sebuah sistem MPPT untuk menggeser daya operasi dari panel surya menjadi titik daya maksimalnya.[14]

Nilai daya yang dihasilkan oleh panel surya merupakan fungsi dari suhu lingkungan dan intensitas radiasi matahari. Kurva arus I terhadap tegangan V dan daya P terhadap tegangan V pada suatu nilai radiasi dan suhu ditentukan ditunjukkan pada gambar 10, nilai arus I pada saat tegangan 0 volt disebut hubung singkat dan nilai tegangan pada arus 0 ampere disebut tegangan open circuit.



**Gambar 2. 11** Kurva I-V dan P-V (kurva karakteristik) suatu panel surya

Dalam datasheet panel surya, nilai parameter tambahan adalah daya maksimum dalam satuan *Watt peak*. Daya Maksimum ini, seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.2, adalah titik Daya Maksimum (MPP). adalah daya maksimum elektrik yang diperoleh dengan perkalian nilai arus maksimum  $I_m$  dan tegangan maksimum  $V_m$ .

Nilai-nilai ini hanyalah nilai yang diperoleh dari kurva I-V pada titik titik titik titik, yang menunjukkan nilai daya panel surya yang paling ideal. Namun, ketika peralatan digunakan, tegangan kerja dan arus tidak selalu sama dengan nilai  $V_m$  dan  $I_m$ . Untuk menjamin bahwa peralatan selalu bekerja dengan nilai daya panel surya yang paling ideal. [15]



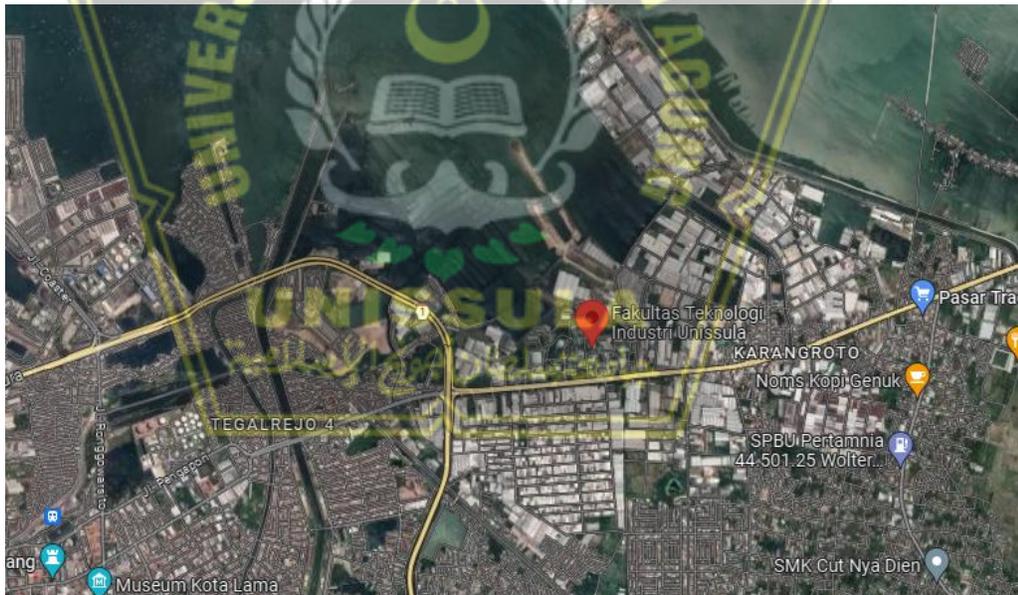
## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Dalam penelitian ini, dimulai dengan perancangan PLTS yang dihubung secara seri maupun paralel yang nantinya digunakan sebagai pembanding hasil keluarannya, untuk digunakan sebagai penerangan ruangan, Sedangkan untuk mempermudah dalam menganalisa hal tersebut maka diperlukan gambaran suatu penelitian yang digunakan sebagai acuan dasar.

#### **3.1 Tempat dan waktu penelitian**

Penelitian dilaksanakan di Halaman belakang Fakultas Teknologi Industri, dengan menggunakan peralatan yang ada pada Laboratorium Tenaga, penelitian dilaksanakan pada tanggal 12 Juli - 5 Agustus 2023.



**Gambar 3. 1** Tempat penelitian.

Penyusunan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Sistem Tenaga Fakultas Teknologi Industri, tepatnya lahan kosong di samping laboratorium Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



**Gambar 3. 2** Titik Lokasi Penelitian

### **3.2 Pengaruh energi matahari pada Panel surya**

Energi matahari memiliki pengaruh yang signifikan terhadap panel surya, karena panel surya merubah energi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik. Berikut adalah pengaruh utama energi matahari yang peneliti bahas pada penelitian kali ini.

#### **a. Penyerapan cahaya (penyerapan radiasi matahari)**

Panel surya menyerap energi matahari termasuk cahaya tampak, infra merah dan ultraviolet, energi diserap oleh material semikonduktor dalam sel fotovoltaik, menyebabkan pelepasan elektron dan pembentukan arus

Penelitian kali ini panel surya mendapatkan penyinaran selama 8 jam lamanya, dimana dilakukan dari jam 08.00-16.00 Wib. Pada proses panel surya menerima radiasi matahari pengukuran dilakukan pada setiap 30 menit sekali, pengukuran pada arus, tegangan, daya, suhu, dan radiasi matahari, supaya dapat diperhitungkan efisiensinya.

Panel surya mengubah energi matahari menjadi energi listrik, tapi tidak semua energi matahari yang jatuh pada permukaan panel akan diubah menjadi energi listrik, karena efisiensi konversi panel surya bermacam-macam tergantung

pada jenis panel surya yang digunakan, kondisi cuaca, suhu, dan kualitas panel itu sendiri, beberapa hal ini dapat mengakibatkan sebagian energi matahari hilang dalam bentuk panas atau tidak terkonversi menjadi listrik.

b. Daya yang dihasilkan

Jumlah radiasi matahari yang diterima oleh panel surya akan sangat mempengaruhi jumlah daya listrik yang akan dihasilkan, semakin tinggi radiasi matahari maka akan semakin besar pula daya yang dihasilkan oleh panel surya, radiasi matahari akan diukur selama 30 menit sekali untuk mengetahui total energi yang diterima oleh panel surya selama periode satu hari akan mempengaruhi energi yang dihasilkan.

c. Efisiensi

Efisiensi panel surya dihitung untuk mengetahui seberapa efektif panel surya merubah energi matahari menjadi energi listrik, hal ini juga dipengaruhi oleh intensitas matahari, cahaya matahari secara langsung seperti pada siang hari yang umumnya akan lebih efisien menghasilkan energi matahari dibandingkan pada cahaya yang redup seperti saat sore hari menjelang matahari terbenam.

d. Kondisi cuaca

Faktor cuaca juga sangat mempengaruhi jumlah energi matahari yang diterima oleh panel surya, faktor-faktor seperti awan, kabut, mendung, dan hujan. Ketika kondisi cuaca seperti demikian maka radiasi matahari akan semakin berkurang, yang akan menyebabkan mengurangi produksi energi listrik.

Maka dari itu perlu sekali dilakukan pengukuran suhu pada kondisi panel surya saat disinari matahari, untuk mengetahui kondisi cuaca pada hari tersebut, pada pengukuran suhu juga dilakukan selama 30 menit sekali, untuk mendapatkan rata-rata suhu pada hari dilakukan penelitian.

Pemahaman tentang pengaruh energi matahari ini sangat penting untuk mengoptimalkan dan mengoperasikan sistem PLTS secara efisien, pada penjelasan diatas adalah beberapa faktor yang mempengaruhi pada saat dilakukan penelitian.

### 3.3 Komponen Penelitian

Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan untuk mendukung penyusunan penelitian Tugas Akhir ini.

#### 1. Modul panel surya *Monocrystalline*

Panel monocrystalline dibuat dengan Kristal silikon tunggal yang menghasilkan efisiensi yang tinggi, dengan demikian panel surya *monocrystalline* dapat menghasilkan daya yang lebih besar walaupun dengan ukuran yang lebih kecil. Berikut adalah spesifikasi panel surya yang digunakan dalam penelitian ini.

Penelitian ini menggunakan 4 panel surya, yang akan disusun masing-masing masing sesuai rangkaian yang telah ditentukan



Gambar 3. 3 Panel surya monocristalin

Tabel 3. 1 Tabel Spesifikasi Panel surya

Karakteristik panel surya	
P max	50 W
Voc	21,41V
Isc	3,56 A
Vmp	17,6 V

Imp	2,85 A
Max System Voltage	1000 V
Dimension	835mm x 540mm x 28mm
Irradiance	1000W/m <sup>2</sup>

## 2. MPPT



**Gambar 3. 4** MPPT Solar Controller For Models

Spesifikasi MPPT

Merek : MakeSkyBlue

Arus Maksimal: 40A

Aplikasi :- Pengendalia pengisian daya

- Pengendalian Sistem Tenaga Surya

- Pengendalian Tenaga

- Pemrosesan data tenaga surya

Tegangan Baterai : 12 V

Tegangan input : 12V-48V

Suhu Penyimpanan : -40°C sampai +75°C

### 3. Baterai

Baterai Lifepo4 12V 100Ah plus BMS (Battery Management System) memiliki fungsi perlindungan termasuk *over-discharge*, *over-charge*, *over-current*, dan suhu tinggi atau rendah.



Gambar 3. 5 Baterai Lifepo4 12V 100Ah

#### Spesifikasi Baterai

Tegangan Normal	: 13,2-14,4V
Kapasitas Normal	: 100AH
Arus Debit Maks	: 100A
Arus pengisian Max	: 20A (20%)
Dod	: 80%

### 4. Lampu dc

Lampu yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 6 buah dengan daya masing-masing 5 Watt, menggunakan lampu jenis DC menyesuaikan dengan hasil dari output panel surya.



Gambar 3. 6 Lampu DC

### Spesifikasi Lampu DC Lampu DC

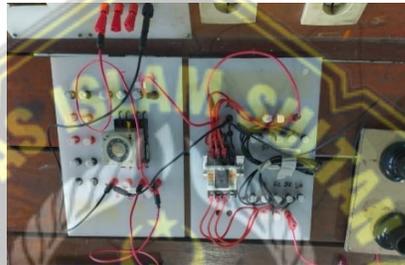
Tegangan = 12V

Daya = 5W

Lumen = 425 Lm

### 5. Relay Control

Relay control ini terdiri dari Timer Relay dan Kontaktor, relay yang berfungsi untuk mengatur berapa lama pengoprasian panel surya untuk menghidupi beban.



**Gambar 3. 7** Relay control timer

### 6. Infrared Thermometer

Termometer ini dapat digunakan untuk pengukuran suhu panel surya, monitoring suhu panel surya sangat penting, karena suhu yang terlalu tinggi pada panel surya dapat mempengaruhi kinerja dan efisiensi panel surya.



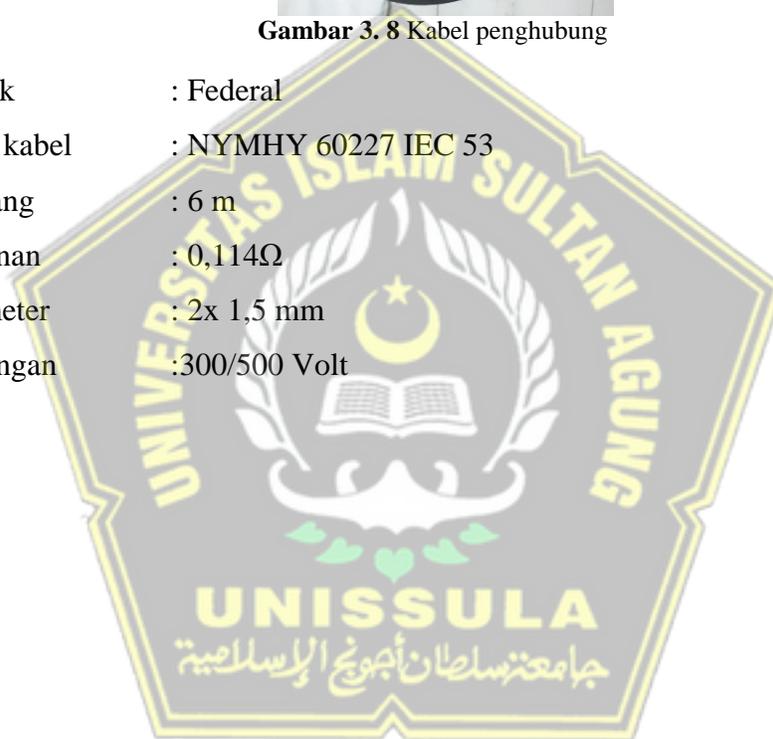
**Gambar 3. 7** Infrared Thermometer

## 7. Kabel Penghubung



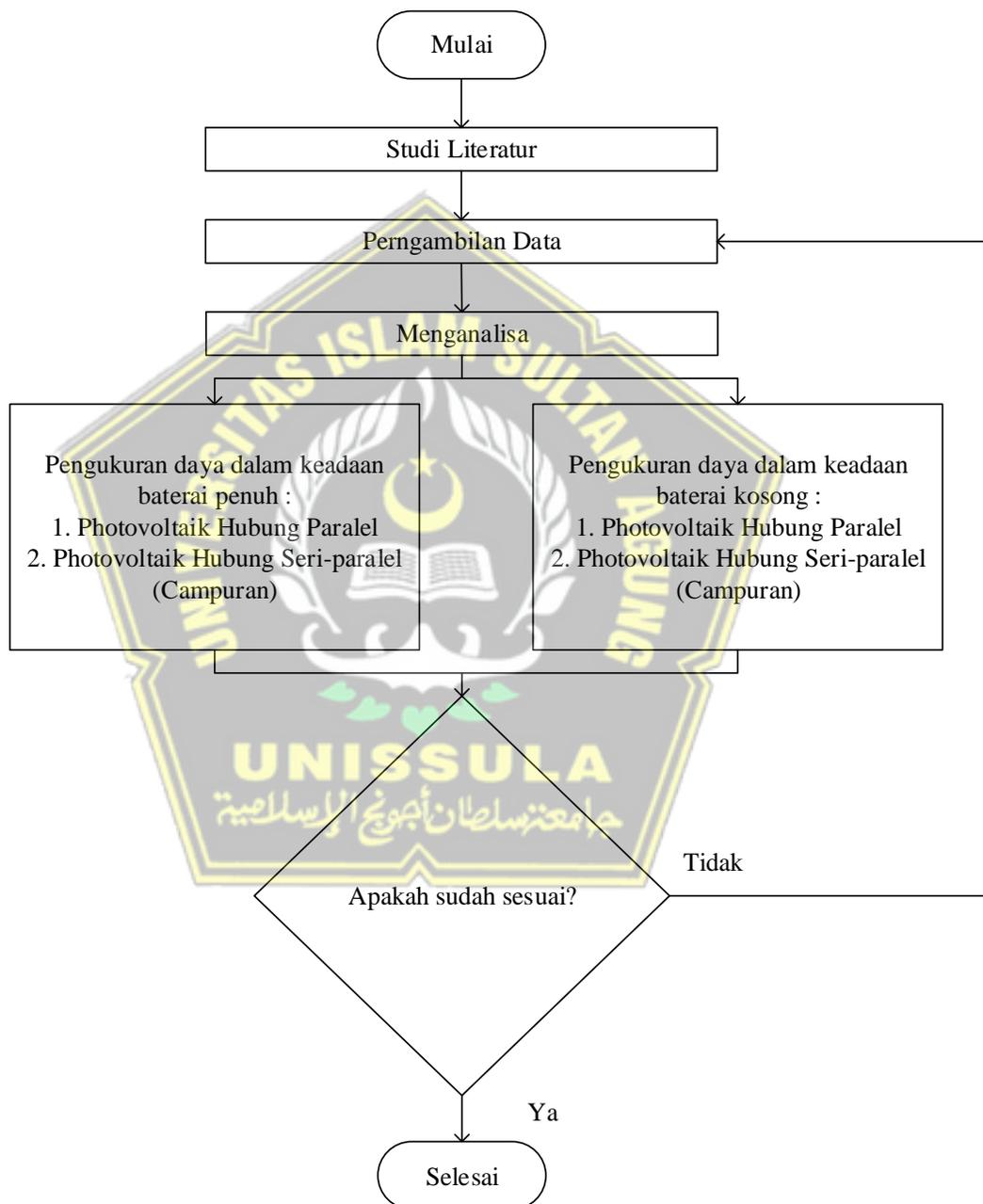
**Gambar 3. 8** Kabel penghubung

Merek : Federal  
Jenis kabel : NYMHY 60227 IEC 53  
Panjang : 6 m  
Tahanan : 0,114 $\Omega$   
Diameter : 2x 1,5 mm  
Tegangan : 300/500 Volt



### 3.4 Diagram Alur Penelitian

Diagram alur penelitian merupakan gambaran alur yang dilakukan untuk memperoleh data penelitian, adapun diagram alur penelitian sebagai berikut.



**Gambar 3.9** Flowchart diagram alur penelitian

### 3.5 Penyusunan panel surya

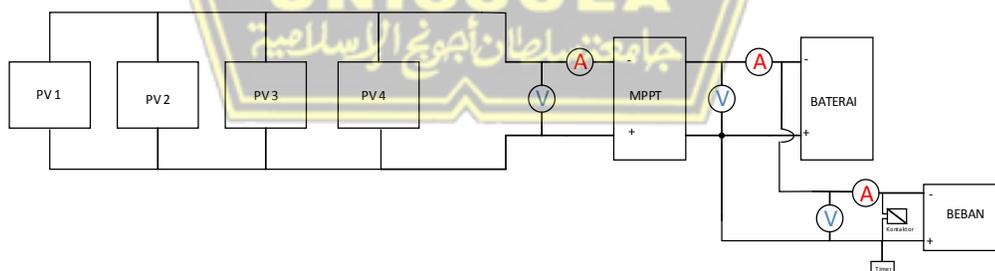
Pada perancangan ini panel surya disusun dengan 2 model penyusunan untuk mengetahui hasil dari masing masing penyusunan,berikut adalah beberapa perancangan panel surya.

#### a. Perancangan panel surya secara paralel

Panel surya yang disusun secara paralel, arus dari setiap panel surya akan ditambahkan, pada perancangan ini menggunakan 4 panel surya dengan arus masing masing 2A disusun secara paralel maka arus yang dihasilkan adalah 8A.



Gambar 3. 10 Panel Surya yang disusun secara paralel



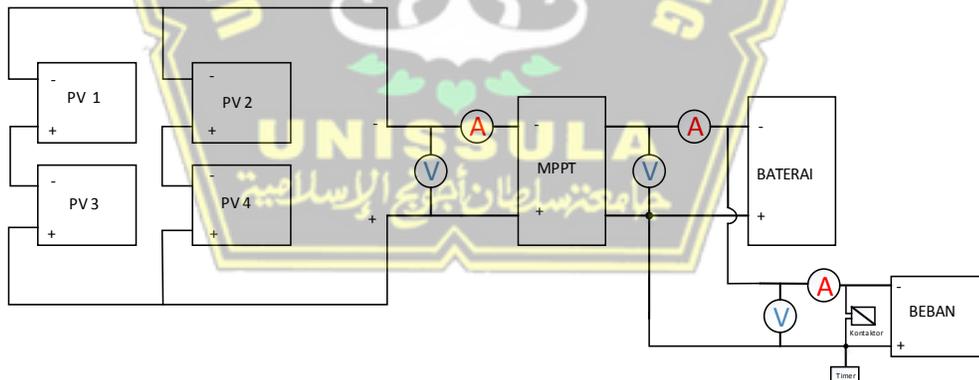
Gambar 3. 11 Gambar rangkaian Panel surya yang dihubung paralel

b. Perancangan simulasi panel surya secara seri-paralel.

Panel surya yang dihubungkan secara kombinasi antara seri dan paralel akan meningkatkan performanya masing-masing, penggabungan panel surya secara paralel akan meningkatkan tegangan sistem, sedangkan penggabungan secara seri akan meningkatkan arus sistem.



**Gambar 3. 12** Panel surya yang disusun secara seri-paralel.

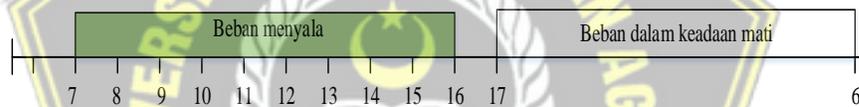


**Gambar 3. 13** Gambar rangkaian Panel surya yang dihubungkan seri-paralel

### 3.6 Teknik Analisa Data

Menganalisa hasil dari perancangan panel surya yang disusun secara paralel dan seri, mengukur Tegangan, Arus, dan Daya yang dihasilkan oleh panel surya, membandingkan daya yang dihasilkan dari masing masing simulasi yang dirancang serta menyimpulkan hasil mana yang lebih baik outputnya, untuk digunakan sebagai penerangan ruangan.

Data yang akan diambil pada saat beban mulai dinyalakan, beban dinyalakan mulai jam 08.00-16.00 Wib. Pada saat beban sudah mulai dinyalakan maka pengambilan data mulai dilakukan, seperti arus,tegangan,daya, pada *photovoltaik*, Baterai, dan beban, serta pengambilan intensitas cahaya matahari dan suhu, pengambilan data itu dilakukan selama 30 menit sekali.



**Gambar 3. 14** Beban saat menyala dan beban saat mati

a. Menganalisa panel surya

Pada penelitian ini sudah diketahui jumlah panel suryanya 4 buah, spesifikasi 50 Wp per panel, pada panel surya ini mengukur Arus, tegangan dan dayanya

b. Menganalisa rangkaian penyusunan PLTS dalam keadaan baterai penuh

Pada penelitian ini menganalisis Arus, tegangan dan daya pada penyusunan PLTS dalam kondisi baterai yang penuh, Pada penelitian ini menggunakan *Baterai LifePo4*.

c. Menganalisa rangkaian penyusunan PLTS dalam keadaan baterai penuh

Pada penelitian ini menganalisis Arus, tegangan dan daya pada penyusunan PLTS dalam kondisi baterai yang penuh, Pada penelitian ini menggunakan *Baterai LifePo4*.

d. Menganalisa rugi-rugi daya

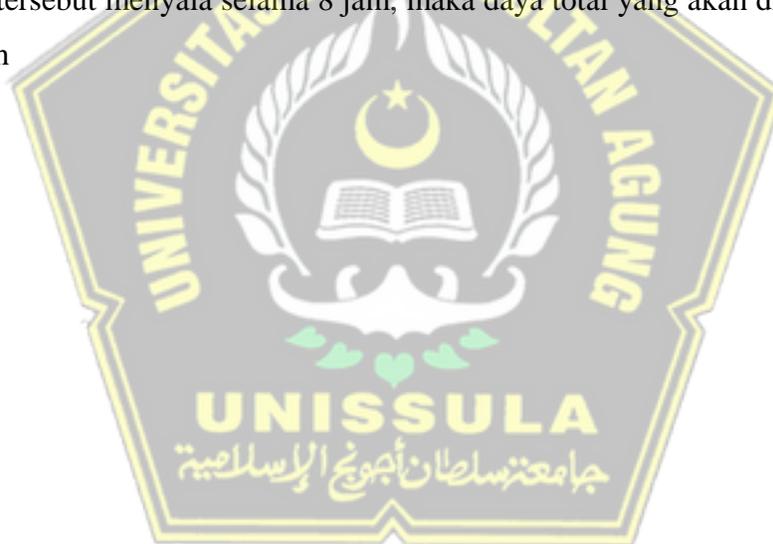
Pada penelitian ini menganalisa rugi-rugi daya yang disebabkan oleh kabel penghubung, rugi-rugi daya dihitung pada masing-masing penyusunan.

e. Menganalisa Beban (lampu)

**Tabel 3. 2** Deskripsi beban yang digunakan

No	Beban	Daya (watt)	Banyak Beban	Nyala
1	Lampu DC	5 Wat	6 Buah	8 Jam
	Total	240 Wh		

Jadi total daya yang dibutuhkan adalah 30 Watt lalu dikalikan dengan lamanya lampu tersebut menyala selama 8 jam, maka daya total yang akan digunakan adalah 240 Wh



## **BAB IV**

### **HASIL DAN ANALISA**

Dari metode penelitian yang sudah dibahas sebelumnya, pada bab ini peneliti akan membahas hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan terkait dengan hasil perbandingan penyusunan masing-masing panel surya.

Pada penelitian ini memerlukan rangkaian kontrol berupa timer relay dan magnetic contactor, timer relay dan magnetic kontaktor digunakan untuk settingan waktu pada saat panel surya bekerja menyerap sinar matahari selama 8 jam, dari settingan relay tersebut di setting akan menyala selama 8 jam, setelah 8 jam maka akan kembali tidak beroperasi.

#### **4.1 Penyusunan Panel Surya kondisi baterai penuh**

Penyusunan panel surya kondisi baterai penuh artinya baterai pada penyimpanan energi panel surya sudah terisi penuh dan siap untuk digunakan. Selama baterai *discharge* arus listrik yang dikeluarkan oleh panel surya secara tidak langsung akan mengurangi baterai secara bertahap seiring penggunaan energi oleh beban, baterai akan memberikan energi tambahan jika yang dihasilkan panel surya tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan beban, dalam mode baterai discharge panel surya membantu memberikan energi langsung ke perangkat atau beban. Hal ini mungkin pemanfaatan langsung energi surya untuk memenuhi kebutuhan listrik tanpa menguras baterai terlalu cepat.

##### **4.1.1. Panel Surya yang disusun secara Paralel kondisi baterai penuh**

Panel surya yang disusun secara paralel dapat meningkatkan arus sistem, pada penelitian ini menggunakan panel surya yang berjumlah 4 buah, penyusunan secara paralel dapat meningkatkan arus sistem namun tegangannya sama, pengukuran ini dilakukan selama 8 jam, sebagai simulasi nyala lampu pada siang hari, dari jam 08.00-16.00 WIB, data yang diambil pada masing-masing pengukuran arus, tegangan, daya, suhu dan intensitas cahayanya dilakukan selama 30 menit sekali, sedangkan untuk pengukuran arus, tegangan, dayanya dilakukan juga

pengukuran yang serupa pada Baterai dan bebannya,berikut adalah tabel dan grafik hasil pengukurannya.

**a. Pengukuran pada *Photovoltaik* pada kondisi tersusun paralel saat baterai penuh**

**Tabel 4. 1** Hasil pengukuran arus, tegangan dan daya pada panel surya terhadap waktu

No	Photovoltaik			
	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	08.00	17,4 V	1,70 A	29,58 W
2	08.30	17,5 V	1,80 A	31,50 W
3	09.00	17,5 V	1,80 A	31,50 W
4	09.30	17,7 V	1,80 A	31,86 W
5	10.00	17,4 V	1,83 A	31,84 W
6	10.30	17,4 V	1,89 A	32,89 W
7	11.00	17,2 V	1,94 A	33,37 W
8	11.30	17,1 V	1,94 A	33,17 W
9	12.00	17,2 V	2,00 A	34,40 W
10	12.30	17 V	2,00 A	34,00 W
11	13.00	17 V	2,00 A	34,00 W
12	13.30	16,9 V	2,00 A	33,80 W
13	14.00	16,9 V	2,02 A	34,14 W
14	14.30	17 V	2,00 A	34,00 W
15	15.00	16,5 V	2,00 A	33,00 W
16	15.30	15,1 V	2,07 A	31,26 W
17	16.00	15,6 V	2,00 A	31,20 W
Jumlah		288,4 V	32,79 A	555,51 W
Rata-Rata		16,96 V	1,93 A	32,68 W

Pada penelitian ini panel surya sudah diketahui, penelitian ini menggunakan panel surya dihubung secara paralel yang berjumlah 4, jika sesuai dengan spesifikasi panel surya daya yang dihasilkan pada hubungan paralel dapat dihitung dengan rumus :

$$P = I \times V$$

Perlu diketahui bahwa arus pada panel surya yang disusun paralel arusnya ditambahkan, sedangkan pada tegangannya tetap sama tidak berubah, maka dari panel surya yang disusun paralel dapat dihitung dayanya sebagai berikut

Diketahui:

$$I_{mp} = 2,85 \text{ A}$$

$$V_{mp} = 17,6 \text{ V}$$

$$\text{Panel surya} = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Lamanya lampu menyala} = 8 \text{ Jam}$$

Maka,

$$P_{mp} = I_{paralel} \times V_{paralel}$$

$$P_{mp} = (2,85 \cdot 4) \times 17,6$$

$$P_{mp} = 11,4 \times 17,6$$

$$P_{mp} = 200,64 \text{ Watt}$$

Jadi daya yang dihasilkan pada perhitungan sesuai spesifikasi panel surya adalah 200,64 Watt. Daya ini bisa tercapai dengan syarat iradiasi pada lokasi

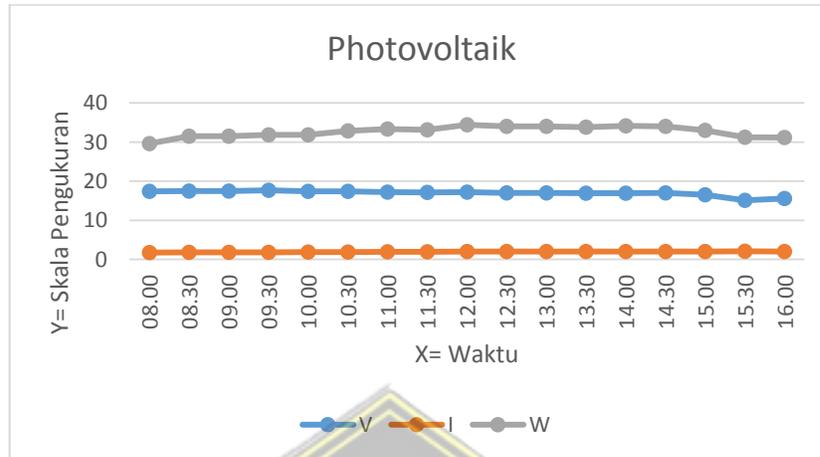
Maka,

$$P_{mp} = I_{paralel} \times V_{paralel}$$

$$P_{mp} = 2 \times 17,2$$

$$P_{mp} = 34,4 \text{ Watt}$$

Daya yang dihasilkan dari penelitian ini dengan rata-rata 32,68 watt, yang seharusnya pada penyusunan panel surya mempunyai daya maksimum 200 W, namun daya yang terserap pada *output* berbeda, selain faktor Iradiasi yang tidak sesuai hal ini dipengaruhi oleh kondisi baterai, daya yang terserap akan menyesuaikan dengan kondisi batterai, ketika baterai dalam kondisi penuh maka daya yang terserap akan beda, dayanya akan jauh lebih kecil. Selain dari penyesuaian antara daya yang masuk pada baterai.



**Gambar 4. 1** Grafik Pengaruh Arus, tegangan dan daya pada Panel Surya terhadap waktu PV tersusun paralel kondisi baterai penuh

Dapat dilihat pada tegangan yang dihasilkan panel masing-masing pengukuran relatif sama, kecuali pada jam 16.00 tegangannya turun dikarenakan penyerapan intensitas matahari sudah berkurang. Naik dan turunnya nilai daya yang dihasilkan juga tidak lepas dari faktor radiasi matahari dan cuaca setempat.

**b. Pengukuran pada Baterai pada kondisi *Photovoltaik* tersusun paralel baterai penuh**

**Tabel 4. 2** Hasil pengukuran arus, tegangan dan daya pada baterai terhadap waktu

No	Baterai			
	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	08.00	13,7 V	2,00 A	27,40 W
2	08.30	13,8 V	2,01 A	27,74 W
3	09.00	14,0 V	1,94 A	27,16 W
4	09.30	14,1 V	1,92 A	27,07 W
5	10.00	14,1 V	1,93 A	27,21 W
6	10.30	14,0 V	2,00 A	28,00 W
7	11.00	14,0 V	2,01 A	28,14 W
8	11.30	14,1 V	2,00 A	28,20 W
9	12.00	14,1 V	2,04 A	28,76 W
10	12.30	14,1 V	2,00 A	28,20 W

11	13.00	14,0 V	2,04 A	28,56 W
12	13.30	14,1 V	2,00 A	28,20 W
13	14.00	14,0 V	2,04 A	28,56 W
14	14.30	14,0 V	2,03 A	28,42 W
15	15.00	14,0 V	2,00 A	28,00 W
16	15.30	13,6 V	1,94 A	26,38 W
17	16.00	13,7V	1,90 A	26,03 W
Jumlah		237,4 V	33,8 A	472,04 W
Rata-Rata		13,96 V	1,99 A	27,77 W

Pada Tabel 4.2 Hasil pengukuran daya yang diserap oleh baterai hasilnya tidak selalu sama dengan daya yang dikeluarkan oleh panel surya, hal ini juga dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti rugi-rugi daya yang disebabkan oleh panjang kabel penghubung. Sistem pengisian baterai ini menggunakan MPPT untuk mengatur aliran energi yang masuk kedalam baterai, hal ini dilakukan untuk melindungi baterai dari pengisian terlalu cepat atau terlalu banyak yang masuk ke baterai, pengendalian ini dapat mengurangi daya yang masuk dari panel surya ke baterai.

Dari daya yang dihasilkan oleh pengukuran diatas, maka dapat mencari efisiensi MPPT atau efisiensi baterai, berikut perhitungan efisiensi baterai

Diketahui

$$P_{Input} : 32,68 \text{ Watt}$$

$$P_{Output} : 27,77 \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\%$$

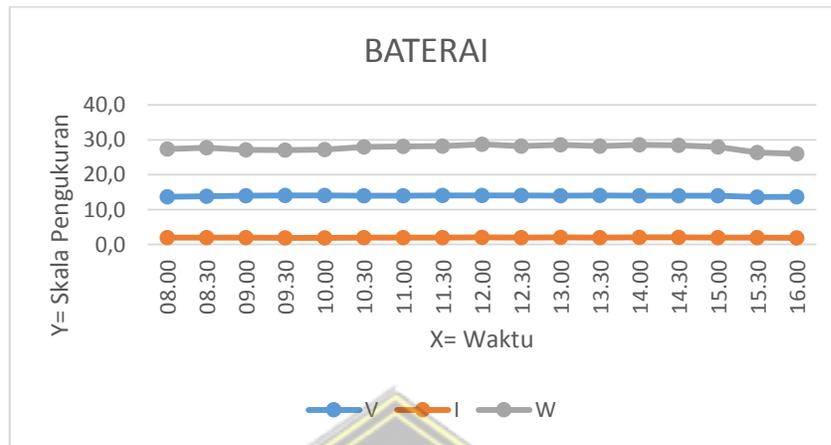
$$\eta = \frac{27,77}{32,68} \times 100\%$$

$$\eta = 0,84 \times 100\%$$

$$\eta = 84\%$$

Penggunaan Baterai LifePo4 hanya boleh digunakan pada discharge hingga 100% dari kapasitasnya, namun disarankan penggunaannya hanya 80% dari kapasitasnya, hal ini dilakukan untuk merawat baterai dan memperpanjang umur pemakaian baterai.

$$\text{Dod baterai LifePo4} = 80\%$$



**Gambar 4. 2** Grafik Pengaruh arus, tegangan dan daya terhadap waktu pada Baterai PV tersusun paralel dalam keadaan baterai penuh.

Panel surya yang dihubung paralel akan menghasilkan tegangan yang sama seperti tegangan satu panel,namun arusnya yang meningkat, dalam hal ini baterai mengisi sangat lambat kerna tegangannya yang kecil, pengukuran ini dengan sistem discharge maka arus yang masuk ke baterai tidak terlalu tinggi karena baterai dalam keadaan penuh, sehingga arus hanya melewati baterai lali didistribusikan ke beban.

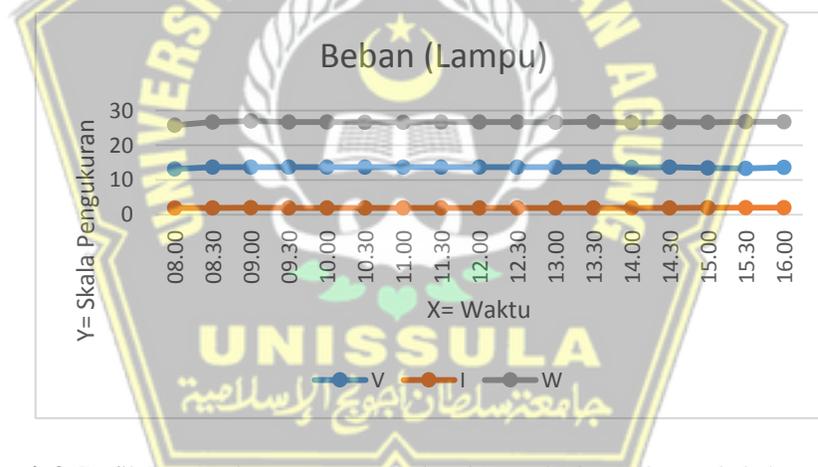
**c. Pengukuran pada Beban pada kondisi *photovoltaik* tersusun paralel baterai penuh.**

**Tabel 4. 3** Pengukuran arus, tegangan dan daya pada beban terhadap waktu

No	Beban			
	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Daya (Watt)
1	08.00	13,2 V	1,95 A	25,74 W
2	08.30	13,7 V	1,95 A	26,72 W
3	09.00	13,7 V	1,97 A	26,99 W
4	09.30	13,7 V	1,95 A	26,72 W
5	10.00	13,7 V	1,95 A	26,72 W
6	10.30	13,7 V	1,94 A	26,58 W
7	11.00	13,7 V	1,94 A	26,58 W
8	11.30	13,7 V	1,95 A	26,72 W
9	12.00	13,7 V	1,95 A	26,72 W

10	12.30	13,7 V	1,95 A	26,72 W
11	13.00	13,7 V	1,94 A	26,58 W
12	13.30	13,8 V	1,94 A	26,77 W
13	14.00	13,6 V	1,95 A	26,52 W
14	14.30	13,7 V	1,95 A	26,72 W
15	15.00	13,5 V	1,97 A	26,60 W
16	15.30	13,3 V	2,01 A	26,73 W
17	16.00	13,6 V	1,97 A	26,79 W
Jumlah		231,7 V	33,23 A	452,88 W
Rata-Rata		13,63	1,95 A	26,64 W

Jadi total daya yang dibutuhkan adalah 30 Watt dikalikan dengan lamanya lampu tersebut menyala selama 8 jam, maka daya total yang akan digunakan adalah 240 Wh.

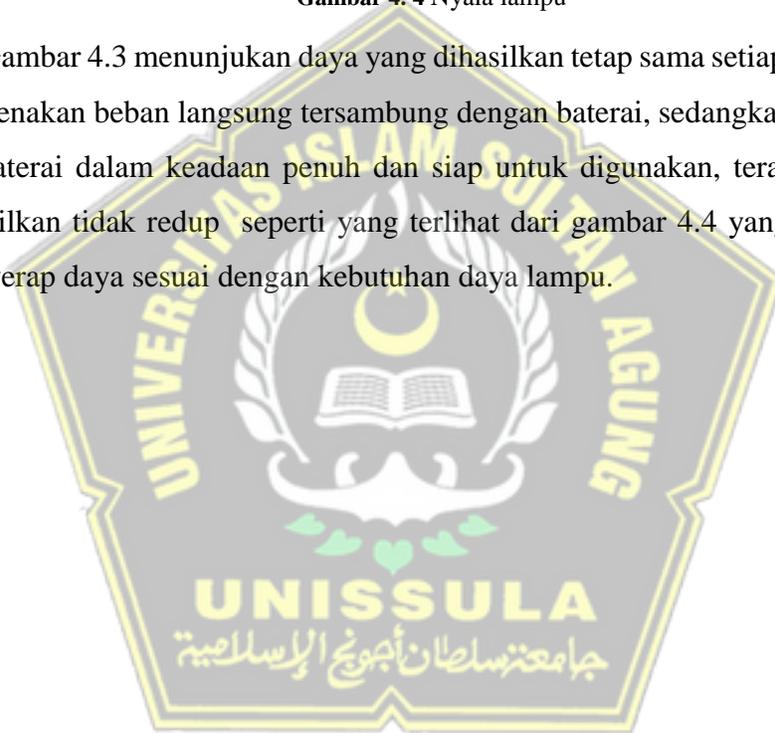


**Gambar 4. 3** Grafik Pengaruh arus, tegangan dan daya terhadap waktu pada beban, PV tersusun paralel dalam keadaan baterai penuh.



**Gambar 4. 4** Nyala lampu

Gambar 4.3 menunjukkan daya yang dihasilkan tetap sama setiap jamnya, hal ini dikarenakan beban langsung tersambung dengan baterai, sedangkan dalam kondisi ini baterai dalam keadaan penuh dan siap untuk digunakan, terang lampu yang dihasilkan tidak redup seperti yang terlihat dari gambar 4.4 yang artinya lampu menyerap daya sesuai dengan kebutuhan daya lampu.

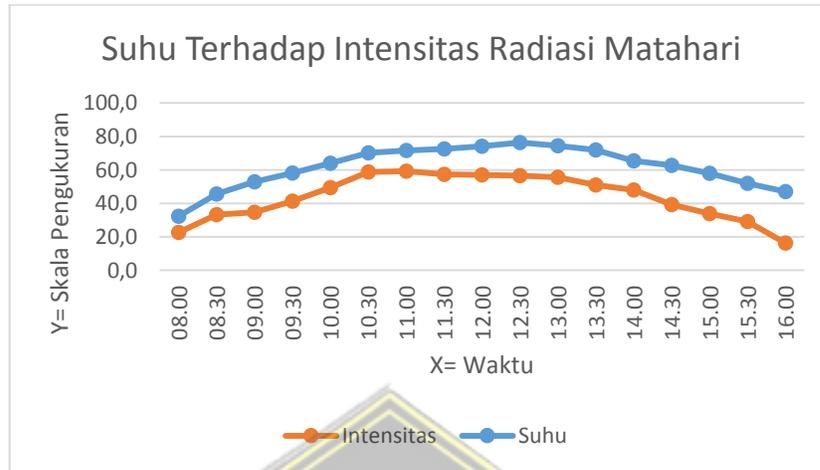


#### d. Pengukuran pengaruh Suhu Terhadap Intensitas Radiasi Matahari

**Tabel 4. 4** Hasil pengukuran Intensitas Cahaya terhadap waktu pengukuran.

No	Intensitas			Suhu (°C)
	Jam	K Lux	Watt/m <sup>2</sup>	
1	08.00	22,6	187,9	32,3
2	08.30	33,2	275,7	45,7
3	09.00	34,7	288,3	53,0
4	09.30	41,4	343,6	58,2
5	10.00	49,5	410,9	64,0
6	10.30	58,8	488,0	70,2
7	11.00	59,2	491,4	71,6
8	11.30	57,3	475,6	72,5
9	12.00	57,0	473,1	74,2
10	12.30	56,5	469,0	76,4
11	13.00	55,6	461,5	74,4
12	13.30	51,0	423,3	72,0
13	14.00	48,0	398,4	65,5
14	14.30	39,3	325,8	62,7
15	15.00	33,9	281,4	58,0
16	15.30	29,2	242,4	52,0
17	16.00	16,4	136,0	47,0
Jumlah		743,64	6172,2	1049,7
Rata-Rata		43,7	363,1	61,7

Panel surya mendapatkan intensitas yang baik ketika direntan jam 10.00-14.00 WIB, jadi ketika matahari mulai turun dan suhu udara mulai turun, maka penyerapan panel surya terhadap intensitas matahari akan semakin turun, sehingga mempengaruhi kinerja dan efisiensi panel surya.



**Gambar 4. 5** Grafik Pengaruh waktu terhadap intensitas cahaya, PV tersusun paralel dalam keadaan baterai penuh.

Pada grafik intensitas cahaya matahari, semakin jam menunjukan sore hari maka nilai intensitasnya akan semakin turun hal ini terjadi karena sudut penyinaran matahari terhadap bumi berubah seiring pergerakan bumi.

Nilai suhu tertinggi pada sekitar jam 12 siang, ketika matahari berada hampir vertikal pada permukaan bumi, semakin matahari naik maka suhu yang mengenai permukaan panel surya akan ikut turun, efisiensi konversi energi matahari menjadi energi listrik pada panel surya akan menurun jika suhunya semakin tinggi, hal ini terjadi karena suhu dapat menyebabkan tegangan akan semakin turun, hal ini dapat mempengaruhi keluaran daya total

#### 4.1.2. Panel Surya yang disusun secara Seri-paralel Baterai penuh

##### a. Pengukuran *Photovoltaik* pada kondisi tersusun seri-paralel Baterai penuh

**Tabel 4. 5** Hasil pengukuran arus, tegangan dan daya pada panel surya terhadap waktu.

No	Photovoltaik			
	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	08.00	37,0 V	0,85 A	31,45 W
2	08.30	37,3 V	0,89 A	33,20 W
3	09.00	36,7 V	0,91 A	33,40 W
4	09.30	36,7 V	0,91 A	33,40 W
5	10.00	36,5 V	0,92 A	33,58 W
6	10.30	36,0 V	0,93 A	33,48 W
7	11.00	35,7 V	0,92 A	32,84 W
8	11.30	36,3 V	0,93 A	33,76 W
9	12.00	36,2 V	0,93 A	33,67 W
10	12.30	36,2 V	0,93 A	33,67 W
11	13.00	36,1 V	0,94 A	33,93 W
12	13.30	36,2 V	0,93 A	33,67 W
13	14.00	36,1 V	0,93 A	33,57 W
14	14.30	35,7 V	0,91 A	32,49 W
15	15.00	35,7 V	0,91 A	32,49 W
16	15.30	35,8V	0,90 A	32,22 W
17	16.00	33,7 V	0,93 A	31,34 W
Jumlah		613,9 V	15,57 A	562,14 W
Rata- Rata		36,11 V	0,91 A	33,06 W

Pada penelitian ini panel surya sudah diketahui, penelitian ini menggunakan panel surya dihubung secara paralel yang berjumlah 4, jika sesuai dengan spesifikasi panel surya daya yang dihasilkan pada hubungan paralel dapat dihitung dengan rumus:

$$P = I \times V$$

Perlu diketahui bahwa arus pada panel surya yang disusun paralel arusnya ditambahkan, sedangkan pada tegangannya tetap sama tidak berubah, maka dari panel surya yang disusun paralel dapat dihitung dayanya sebagai berikut:

Diketahui:

$$I_{mp} = 2,85 \text{ A}$$

$$V_{mp} = 17,6 \text{ V}$$

$$\text{Panel surya} = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Lamanya lampu menyala} = 8 \text{ Jam}$$

Maka,

$$P_{mp} = I_{paralel} \times V_{seri}$$

$$P_{mp} = (2,85 \cdot 2) \times (17,6 \cdot 2)$$

$$P_{mp} = 5,68 \times 35,2$$

$$P_{mp} = 200 \text{ watt}$$

Jadi daya yang dihasilkan pada perhitungan sesuai spesifikasi panel surya adalah 200,64 VA. Daya ini bisa tercapai dengan syarat iradiasi pada lokasi dipasangnya panel surya mencapai 1000 Watt/m<sup>2</sup>

Sedangkan pada kenyataannya arus dan tegangan yang diukur tidak seperti spesifikasi panel surya, dapat dilihat dari tabel 4.1, pada jam 12.00 panel surya mendapatkan arus dan tegangan paling tinggi, maka daya yang dihasilkan adalah 34,4 Watt

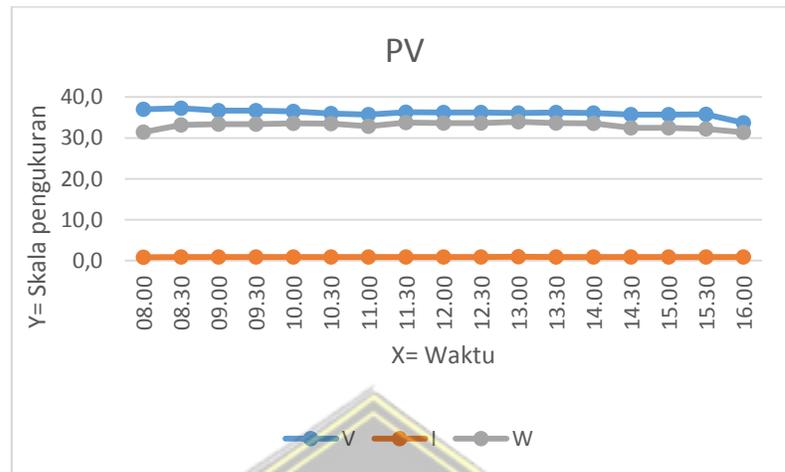
Maka,

$$P_{mp} = I_{paralel} \times V_{seri}$$

$$P_{mp} = 0,93 \times 36,1$$

$$P_{mp} = 33,573 \text{ Watt}$$

Dalam tabel hasil pengukuran yang dilakukan selama 8 jam, panel surya menghasilkan daya rata-ratanya adalah 32,80 Wh.



**Gambar 4. 6** Grafik Pengaruh arus, tegangan dan daya terhadap waktu pada PV tersusun seri-paralel dalam keadaan baterai penuh

Dapat dilihat pada tegangan yang dihasilkan PV masing-masing pengukuran relatif sama, kecuali pada jam 16.00 tegangannya turun dikarenakan penyerapan intensitas matahari sudah berkurang. Naik dan turunnya nilai daya yang dihasilkan juga tidak lepas dari faktor radiasi matahari dan cuaca setempat.

#### b. Pengukuran Baterai pada kondisi *photovoltaik* tersusun seri-paralel Baterai penuh

**Tabel 4. 6** Hasil pengukuran arus, tegangan dan daya pada baterai terhadap waktu

No	Baterai			
	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Daya (Watt)
1	08.00	14,1 V	2,04 A	28,76 W
2	08.30	14,1 V	1,98 A	27,92 W
3	09.00	14,1 V	2,07 A	29,19 W
4	09.30	14,1 V	2,03 A	28,62 W
5	10.00	14,1 V	2,00 A	28,20 W
6	10.30	14,1 V	2,00 A	28,20 W
7	11.00	14,1 V	2,00 A	28,20 W
8	11.30	14,1 V	2,00 A	28,20 W
9	12.00	14,1 V	2,03 A	28,62 W

10	12.30	14,1 V	2,05 A	28,91 W
11	13.00	14,1 V	2,03 A	28,62 W
12	13.30	14,0 V	2,06 A	28,84 W
13	14.00	14,1 V	2,01 A	28,34 W
14	14.30	14,1 V	2,03 A	28,62 W
15	15.00	14,1 V	1,92 A	27,07 W
16	15.30	14,1 V	1,91 A	26,93 W
17	16.00	14,1 V	1,86 A	26,23 W
Jumlah		239,6 V	34,02 A	479,48 W
Rata- Rata		14,09 V	2,00 A	28,20 W

Pada Tabel 4.7 Hasil pengukuran daya yang diserap oleh baterai hasilnya tidak selalu sama dengan daya yang dikeluarkan oleh panel surya, hal ini juga dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti rugi-rugi daya yang disebabkan oleh panjang kabel penghubung. Sistem pengisian baterai ini menggunakan MPPT untuk mengatur aliran energi yang masuk ke dalam baterai, hal ini dilakukan untuk melindungi baterai dari pengisian terlalu cepat atau terlalu banyak yang masuk ke baterai, pengendalian ini dapat mengurangi daya yang masuk dari panel surya ke baterai.

Dari daya yang dihasilkan oleh pengukuran diatas, maka dapat mencari efisiensi MPPT atau efisiensi baterai, berikut perhitungan efisiensi baterai

Diketahui

$$P_{input} : 32,68 \text{ Watt}$$

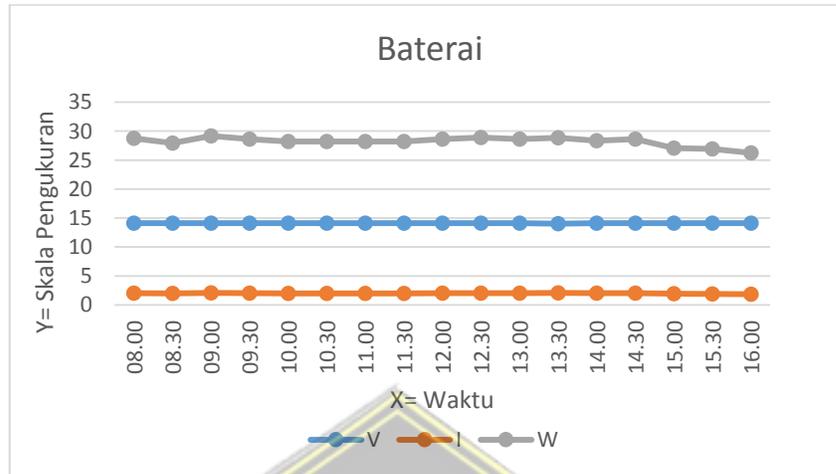
$$P_{output} : 27,77 \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{28,91}{33,67} \times 100\%$$

$$\eta = 0,85 \times 100\%$$

$$\eta = 85\%$$



**Gambar 4. 7** Grafik pengaruh arus, tegangan dan daya terhadap waktu pada baterai, PV seri paralel dalam keadaan baterai penuh.

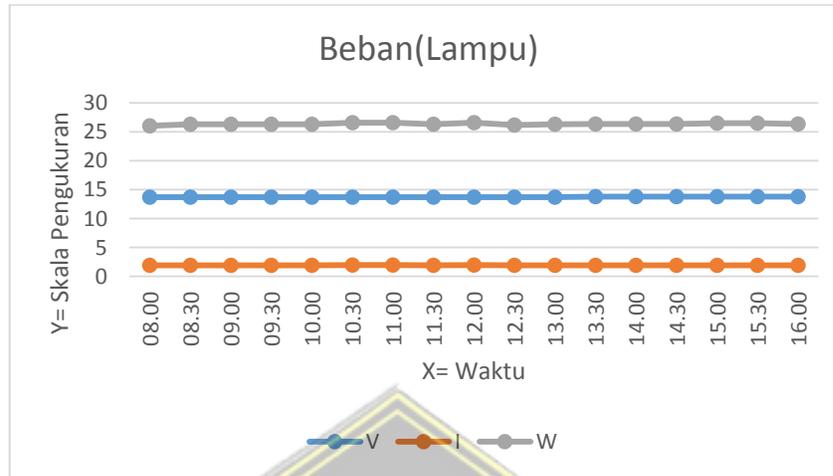
Tegangan yang masuk pada baterai akan lebih stabil, karena pada MPPT tegangan yang masuk dari panel surya akan di stabilkan dan mengontrol pengisian baterai, dan menjaga daya panel surya dalam titik daya maksimum.

**c. Pengukuran Beban pada kondisi *photovoltaik* tersusun seri-paralel  
Baterai penuh**

**Tabel 4.7** Hasil Pengukuran arus, tegangan dan daya pada beban terhadap waktu

No	Beban			
	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Daya (Watt)
1	08.00	13,7 V	1,90 A	26,03 W
2	08.30	13,7 V	1,92 A	26,30 W
3	09.00	13,7 V	1,92 A	26,30 W
4	09.30	13,7 V	1,92 A	26,30 W
5	10.00	13,7 V	1,92 A	26,30 W
6	10.30	13,7 V	1,94 A	26,58 W
7	11.00	13,7 V	1,94 A	26,58 W
8	11.30	13,7 V	1,92 A	26,30 W
9	12.00	13,7 V	1,94 A	26,58 W
10	12.30	13,7 V	1,91 A	26,17 W
11	13.00	13,7 V	1,92 A	26,30 W
12	13.30	13,8 V	1,91 A	26,36 W
13	14.00	13,8 V	1,91 A	26,36 W
14	14.30	13,8 V	1,91 A	26,36 W
15	15.00	13,8 V	1,92 A	26,50 W
16	15.30	13,8 V	1,92 A	26,50 W
17	16.00	13,8 V	1,91 A	26,36 W
Jumlah		233,5 V	32,63 A	448,18 W
Rata- Rata		13,73 V	1,92 A	26,36 W

Jadi total daya yang dibutuhkan adalah 30 Watt dikalikan dengan lamanya lampu tersebut menyala selama 8 jam, maka daya total yang akan digunakan adalah 240 Wh.



**Gambar 4. 8** Grafik Pengaruh arus, tegangan dan daya terhadap waktu pada beban, PV tersusun paralel dalam keadaan baterai penuh

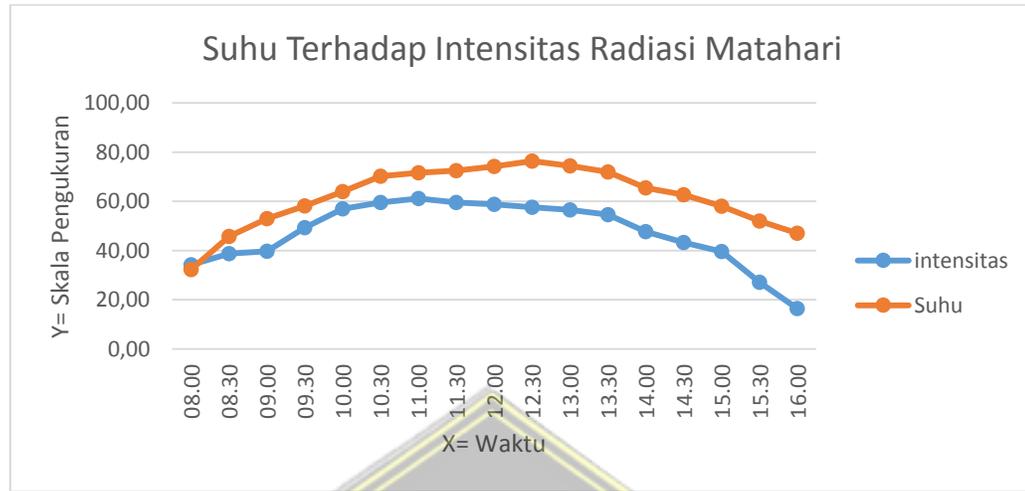
Gambar 4.9 menunjukkan daya yang dihasilkan tetap sama setiap jamnya, hal ini dikarenakan beban langsung tersambung dengan baterai, sedangkan dalam kondisi ini baterai dalam keadaan penuh dan siap untuk digunakan, terang lampu yang dihasilkan tidak redup seperti yang terlihat dari gambar 4.9 yang artinya lampu menyerap daya sesuai dengan kebutuhan daya lampu.

**e. Pengukuran pengaruh Suhu Terhadap Intensitas Radiasi Matahari**

**Tabel 4. 8** Hasil pengukuran Intensitas cahaya matahari terhadap waktu.

No	Intensitas			Suhu (°C)
	Jam	K Lux	Watt/m2	
1	08.00	34,21	283,94	32,3
2	08.30	38,71	321,29	45,7
3	09.00	39,70	329,51	53,0
4	09.30	49,30	409,19	58,2
5	10.00	57,00	473,10	64,0
6	10.30	59,60	494,68	70,2
7	11.00	61,20	507,96	71,6
8	11.30	59,60	494,68	72,5
9	12.00	58,80	488,04	74,2
10	12.30	57,60	478,08	76,4
11	13.00	56,50	468,95	74,4
12	13.30	54,54	452,68	72,0
13	14.00	47,70	395,91	65,5
14	14.30	43,30	359,39	62,7
15	15.00	39,60	328,68	58,0
16	15.30	27,10	224,93	52,0
17	16.00	16,39	136,04	47,0
Jumlah		800,85	6647,06	1049,7
Rata- Rata		47,11	391,00	116,6

Panel surya mendapatkan intensitas yang baik ketika direntan jam 10.00-14.00 WIB, jadi ketika matahari mulai turun dan suhu udara mulai turun, maka penyerapan panel surya terhadap intensitas matahari akan semakin turun, sehingga mempengaruhi kinerja dan efisiensi panel surya.



**Gambar 4. 9** Grafik Pengaruh Waktu terhadap intensitas cahaya matahari

Pada grafik intensitas cahaya matahari, semakin jam menunjukkan sore hari maka nilai intensitasnya akan semakin turun hal ini terjadi karena sudut penyinaran matahari terhadap bumi berubah seiring pergerakan bumi.

Nilai suhu tertinggi pada sekitar jam 12 siang, ketika matahari berada hampir vertikal pada permukaan bumi, semakin matahari naik maka suhu akan semakin naik dan iradiasi akan turun, efisiensi konversi energi matahari menjadi energi listrik pada panel surya akan menurun jika suhunya semakin tinggi, hal ini terjadi karena suhu dapat menyebabkan tegangan akan semakin turun, hal ini dapat mempengaruhi keluaran daya total.

#### 4.2 Pengukuran Panel Surya saat kondisi Baterai kosong

Sebelum baterai di charge, baterai dikosongkan terlebih dahulu dengan disambungkan pada beban, beban berupa lampu 5 Watt dengan jumlah 6 buah, dan menyala selama 15 jam, dapat diketahui baterai tersebut kosong atau sudah lemah.

Jika sesuai dengan SoC (*State of Charge*) mengacu pada prosentase kapasitas baterai, memberikan informasi seberapa penuh kondisi baterai yang sudah digunakan, hal tersebut dapat ditunjukkan pada tabel berikut:

**Tabel 4. 9** Tabel State of Charge

No	State of Charge 12V LifePo	LifePo(LFP)
1	100%	14.4 V
2	100%	13.6 V
3	99%	13.4 V
4	90%	13.3 V
5	70%	13.2 V
6	40%	13.1 V
7	30%	13.0 V
8	20%	12.9 V
9	17%	12.8 V
10	14%	12.5 V
11	9%	12.0 V
12	0%	10.0 V

Pada saat pengukuran, hasil tegangan yang didapatkan adalah 12.9 V, jika mengacu pada tabel 4. baterai dalam keadaan lemah, kapasitas baterai hanya tersisa 20%, oleh sebab itu pengukuran ini dilakukan dalam keadaan baterai kosong



**Gambar 4. 10** Hasil pengukuran tegangan saat kondisi baterai lemah

Saat kondisi pengisian baterai arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya dialirkan melalui MPPT yang bertugas untuk mengatur aliran arus ke baterai, regulator pengisian memastikan bahwa baterai diisi dengan aman dan mencegah *overcharging* yang dapat merusak baterai.

Selama pengisian, panel surya juga membantu menjaga baterai terisi dan siap untuk digunakan. Hal ini penting terutama pada saat sistem *off grid*, dimana baterai harus selalu siap saat dibutuhkan.

Panel surya dan MPPT bekerja sama dalam mengoptimalkan proses pengisian baterai, dan menyesuaikan dengan kondisi cuaca, iradiasi, dan kebutuhan baterai untuk mendapatkan pengisian yang efisien dan aman.

### 4.3.1 Panel surya yang disusun secara paralel pada kondisi baterai kosong

#### a. Pengukuran *Photovoltaik*

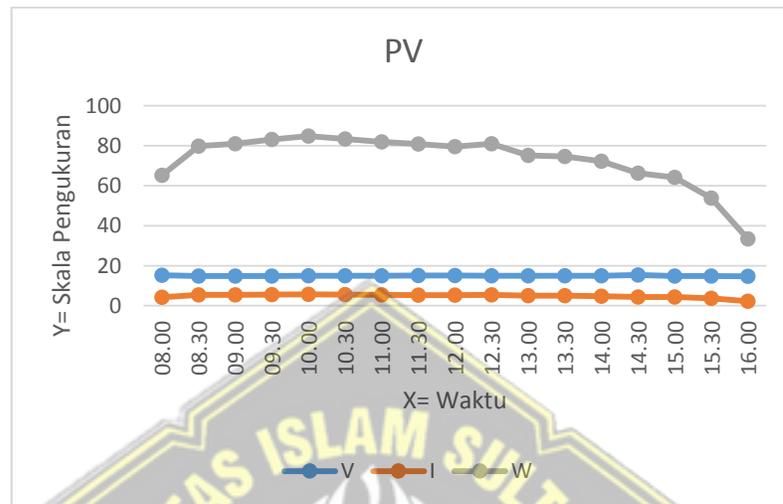
**Tabel 4. 10** Hasil Pengukuran Arus, Tegangan dan daya pada baterai terhadap waktu

No	Photovoltaic			
	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Daya (Watt)
1	08.00	15,3 V	4,26 A	65,18 W
2	08.30	14,8 V	5,39 A	79,77 W
3	09.00	14,8 V	5,47 A	80,96 W
4	09.30	14,9 V	5,58 A	83,14 W
5	10.00	15,0 V	5,66 A	84,90 W
6	10.30	15,0 V	5,56 A	83,40 W
7	11.00	15,0 V	5,46 A	81,90 W
8	11.30	15,1 V	5,36 A	80,94 W
9	12.00	15,1 V	5,27 A	79,58 W
10	12.30	15,0 V	5,90 A	88,50 W
11	13.00	15,0 V	5,01 A	75,15 W
12	13.30	15,0 V	4,98 A	74,70 W
13	14.00	15,0 V	4,82 A	72,30 W
14	14.30	15,4 V	4,32 A	66,31 W
15	15.00	14,9 V	4,31 A	64,22 W
16	15.30	14,8 V	3,64 A	53,87 W
17	16.00	14,7 V	2,27 A	33,37 W
Jumlah		254,75 V	83,26 A	1248,18 W
Rata-Rata		14,98V	4,89A	73,42 W

Pengukuran ini dengan rangkaian panel surya yang disusun secara paralel, yang secara sistem menaikkan arus, dan memiliki tegangan yang tetap.

Pada saat pengisian baterai, arus meningkat beda saat kondisi baterai full, arus meningkat dan dihasilkan rata-rata sekitar 4 ampere, hal ini disebabkan karena banyak elektron bergerak lebih cepat karena terdapat ruang banyak yang harus

terisi, hal ini yang menyebabkan elektron bergerak bebas dan menghasilkan arus yang meningkat.



**Gambar 4. 11** Grafik Pengaruh Arus, tegangan dan daya pada Panel Surya terhadap waktu PV tersusun paralel kondisi baterai kosong

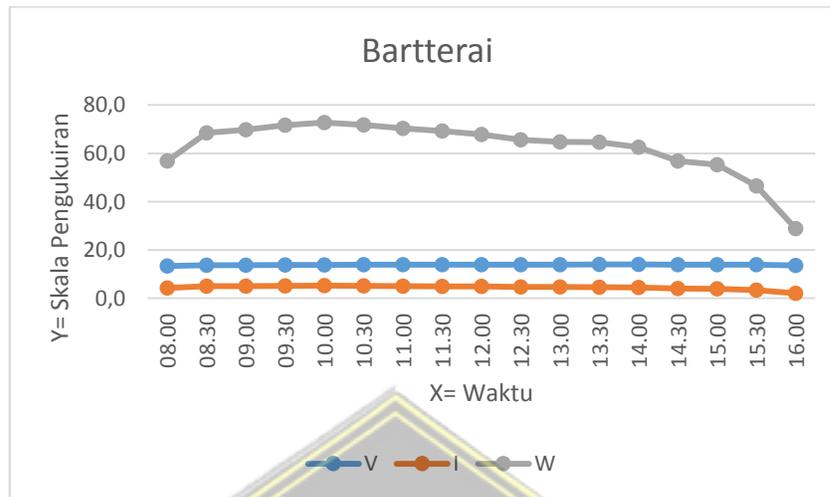
Pada grafik 4.13 menunjukkan bahwa tegangan dan arus stabil, namun memiliki nilai yang besar karena dalam kondisi baterai lemah.

## b. Pengukuran Baterai

**Tabel 4. 11** Hasil pengukuran tegangan, arus dan daya pada baterai

No	Baterai			
	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Daya (Watt)
1	08.00	13,4 V	4,24 A	56,82 W
2	08.30	13,7 V	5,00 A	68,50 W
3	09.00	13,7 V	5,09 A	69,73 W
4	09.30	13,8 V	5,19 A	71,62 W
5	10.00	13,8 V	5,27 A	72,73 W
6	10.30	13,9 V	5,16 A	71,72 W
7	11.00	13,9 V	5,06 A	70,33 W
8	11.30	13,9 V	4,98 A	69,22 W
9	12.00	13,9 V	4,88 A	67,83 W
10	12.30	13,9 V	4,72 A	65,61 W
11	13.00	13,9 V	4,66 A	64,77 W
12	13.30	14,0 V	4,62 A	64,68 W
13	14.00	14,0 V	4,47 A	62,58 W
14	14.30	13,9 V	4,09 A	56,85 W
15	15.00	13,9 V	3,98 A	55,32 W
16	15.30	13,9 V	3,35 A	46,57 W
17	16.00	13,6 V	2,12 A	28,83 W
Jumlah		235,1 V	76,88 A	1063,72 W
Rata-Rata		13,8 V	4,52 A	62,57 W

Pada saat pengisian baterai juga hampir sama nilai arusnya yaitu mendapatkan rata-rata 4,52 dan tegangan yang stabil sekitar 13,80, hal ini terjadi karena tegangan yang masuk dari panel surya melalui MPPT, MPPT mengatur tegangan dan arus maksimal yang baterai butuhkan, maka dari itu hasil dari pengukuran pada panel surya akan berbeda dengan pengukuran yang ada di baterai.



**Gambar 4. 12** Grafik Pengaruh Arus, tegangan dan daya pada baterai terhadap waktu,PV tersusun paralel kondisi baterai kosong

Pada grafik 4.14, tegangan dan arusnya cukup stabil, namun mengalami penurunan ketika menjelang sore hari, hal ini disebabkan ketika sore hari intensitas cahaya mulai menurun atau berkurang.

### c. Pengukuran Beban

**Tabel 4. 12** Hasil pengukuran tegangan, arus, dan daya pada beban

No	Beban			
	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Daya (Watt)
1	08.00	12,9 V	2,06 A	26,57 W
2	08.30	13,1 V	2,04 A	26,72 W
3	09.00	13,1 V	2,03 A	26,59 W
4	09.30	13,1 V	2,01 A	26,33 W
5	10.00	13,2 V	2,01 A	26,53 W
6	10.30	13,2 V	2,03 A	26,80 W
7	11.00	13,2 V	2,01 A	26,53 W
8	11.30	13,3 V	2,01 A	26,73 W
9	12.00	13,3 V	2,01 A	26,73 W
10	12.30	13,3 V	2,01 A	26,73 W
11	13.00	13,3 V	2,01 A	26,73 W
12	13.30	13,2 V	2,01 A	26,53 W

13	14.00	13,2 V	2,01 A	26,53 W
14	14.30	13,2 V	2,01 A	26,53 W
15	15.00	13,2 V	2,01 A	26,53 W
16	15.30	13,2 V	2,01 A	26,53 W
17	16.00	13,1 V	2,04 A	26,72 W
Jumlah		224,1 V	34,32 A	452,40 W
Rata-Rata		13,18 V	2,01 A	26,61 W

Pada saat pengukuran arus dan tegangan pada beban daya rata-rata yang dihasilkan adalah 26,61 Watt.



**Gambar 4. 13** Grafik Pengaruh Arus, tegangan dan daya pada beban terhadap waktu, PV tersusun paralel kondisi baterai kosong

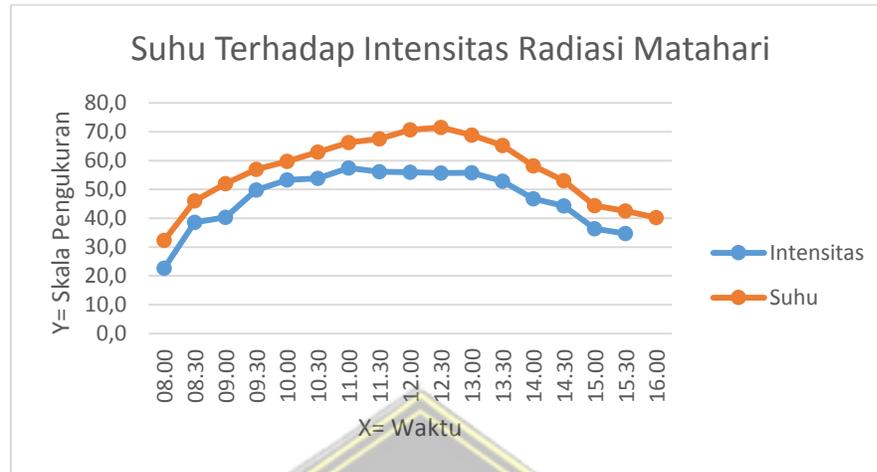
Pada Gambar 4.15 tegangan dan arus yang dihasilkan dari pengukuran beban terlihat stabil karena daya yang ada pada lampu menyerap dari baterai, sehingga pada kondisi sore hari yang intensitas cahayanya turun lampu tetap dalam kondisi nyala terang walaupun penyerapan panel surya tidak mendapatkan daya yang maksimal.

#### d. Pengukuran pengaruh suhu terhadap intensitas radiasi matahari

**Tabel 4. 13** Hasil pengukuran intensitas cahaya matahari terhadap suhu

No	Intensitas			Suhu (°C)
	Jam	K Lux	Watt/m2	
1	08.00	22,6	178,8	32,3
2	08.30	38,5	304,5	46,0
3	09.00	40,3	318,4	52,0
4	09.30	49,8	393,4	57,0
5	10.00	53,3	421,1	59,7
6	10.30	53,9	425,8	63,0
7	11.00	57,4	453,5	65,3
8	11.30	56,2	444,0	67,6
9	12.00	56,0	442,4	70,7
10	12.30	55,7	440,0	71,5
11	13.00	55,8	440,8	68,9
12	13.30	52,8	417,1	65,3
13	14.00	46,8	369,7	58,2
14	14.30	44,3	350,0	53,0
15	15.00	36,4	287,6	44,4
16	15.30	34,7	274,0	42,5
17	16.00	14,5	114,7	40,2
Jumlah		769,1	6075,7	958
Rata-Rata		45,2	357,4	56

. Panel surya mendapatkan intensitas yang baik ketika direntan jam 10.00-14.00 Wib, jadi ketika matahari mulai turun dan suhu udara mulai turun, maka penyerapan panel surya terhadap intensitas matahari akan semakin turun, sehingga mempengaruhi kinerja dan efisiensi panel surya.



**Gambar 4. 14** Grafik Pengaruh Intensitas matahari terhadap suhu, PV tersusun paralel dalam keadaan baterai kosong

Pada grafik intensitas cahaya matahari, semakin jam menunjukkan sore hari maka nilai intensitasnya akan semakin turun hal ini terjadi karena sudut penyinaran matahari terhadap bumi berubah seiring pergerakan bumi.

### 4.3.2 Panel Surya Yang dihubung Seri-paralel dalam kondisi Baterai kosong

#### a. Pengukuran *Photovoltaik*

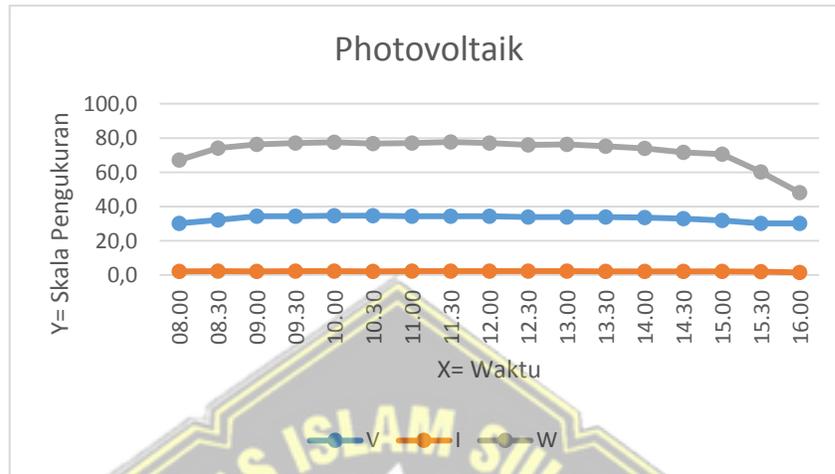
**Tabel 4. 14** Hasil Pengukuran Arus, Tegangan dan daya pada panel surya terhadap waktu

No	Photovoltaik			
	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Daya (Watt)
1	08.00	30,1 V	2,23 A	67,12 W
2	08.30	32,2 V	2,30 A	74,06 W
3	09.00	34,4 V	2,22 A	76,36 W
4	09.30	34,4 V	2,24 A	77,05 W
5	10.00	34,6 V	2,24 A	77,50 W
6	10.30	34,6 V	2,22 A	76,81W
7	11.00	34,4 V	2,24 A	77,05 W
8	11.30	34,4 V	2,26 A	77,74 W
9	12.00	34,4 V	2,24 A	77,05 W
10	12.30	33,9 V	2,24 A	75,93 W
11	13.00	33,9 V	2,25 A	76,27 W
12	13.30	33,9 V	2,22 A	75,25 W
13	14.00	33,5 V	2,21 A	74,03 W
14	14.30	33,0 V	2,17 A	71,61 W
15	15.00	31,8 V	2,22 A	70,59 W
16	15.30	30,1 V	2,00 A	60,2 W
17	16.00	30,1 V	1,60 A	48,16 W
Jumlah		563,7 V	37,10 A	1232,84 W
Rata-Rata		33,2 V	2,18 A	72,52 W

Pengukuran ini dengan rangkaian panel surya yang disusun secara seri-paralel(kombinasi), dengan susunan 2 seri dan 2 paralel, dari penyusunan tersebut arus akan bertambah dan tegangan pun akan bertambah, didapatkan pengukuran dengan rata-rata tegangan 33,2V dan arus 2,18A

Pada saat pengisian baterai, arus meningkat beda saat kondisi baterai full, arus meningkat dan dihasilkan rata-rata sekitar 2 ampere,hal ini disebabkan karena banyak elektron bergerak lebih cepat karena terdapat ruang banyak yang harus

terisi, hal ini yang menyebabkan elektron bergerak bebas dan menghasilkan arus yang meningkat



**Gambar 4. 15** Grafik Pengaruh Arus, tegangan dan daya pada Panel Surya terhadap waktu PV tersusun seri-paralel kondisi baterai kosong

Pada grafik 4.14 menunjukkan bahwa tegangan dan arus stabil, namun memiliki nilai yang besar karena dalam kondisi charging

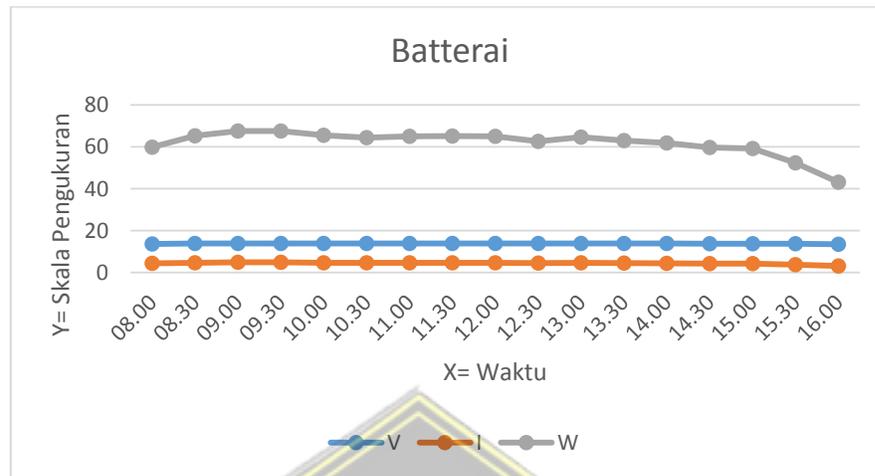


### b. Pengukuran Pada Baterai

**Tabel 4. 15** Hasil Pengukuran Arus, Tegangan dan daya pada baterai terhadap waktu

No	Baterai			
	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Daya (Watt)
1	08.00	13,6 V	4,4 A	59,84 W
2	08.30	13,9 V	4,7 A	65,33 W
3	09.00	13,9 V	4,9 A	67,55 W
4	09.30	13,9 V	4,9 A	67,55 W
5	10.00	13,9 V	4,7 A	65,61 W
6	10.30	13,9 V	4,6 A	64,36 W
7	11.00	13,9 V	4,7 A	65,05 W
8	11.30	13,9 V	4,7 A	65,19 W
9	12.00	13,9 V	4,7 A	65,05 W
10	12.30	13,9 V	4,5 A	62,69 W
11	13.00	13,9 V	4,7 A	64,64 W
12	13.30	13,9 V	4,5 A	62,97 W
13	14.00	13,9 V	4,5 A	61,86 W
14	14.30	13,8 V	4,3 A	59,75 W
15	15.00	13,8 V	4,3 A	59,20 W
16	15.30	13,8 V	3,8 A	52,44 W
17	16.00	13,5 V	3,2 A	43,20 W
Jumlah		235,3 V	76,0 A	1052,28 W
Rata-Rata		13,84V	4,5 A	61,90 W

Pada saat pengisian baterai juga hampir sama nilai arusnya yaitu mendapatkan rata-rata 4,5 dan tegangan yang stabil sekitar 13,84, hal ini terjadi karena tegangan yang masuk dari panel surya melalui MPPT, MPPT mengatur tegangan dan arus maksimal yang baterai butuhkan, maka dari itu hasil dari pengukuran pada panel surya akan berbeda dengan pengukuran yang ada pada baterai



**Gambar 4. 16** Grafik Pengaruh Arus, tegangan dan daya pada baterai terhadap waktu PV tersusun seri-paralel kondisi baterai kosong

Pada grafik 4.19, tegangan dan arusnya cukup stabil, namun mengalami penurunan ketika menjelang sore hari, hal ini disebabkan ketika sore hari intensitas cahaya mulai menurun atau berkurang.

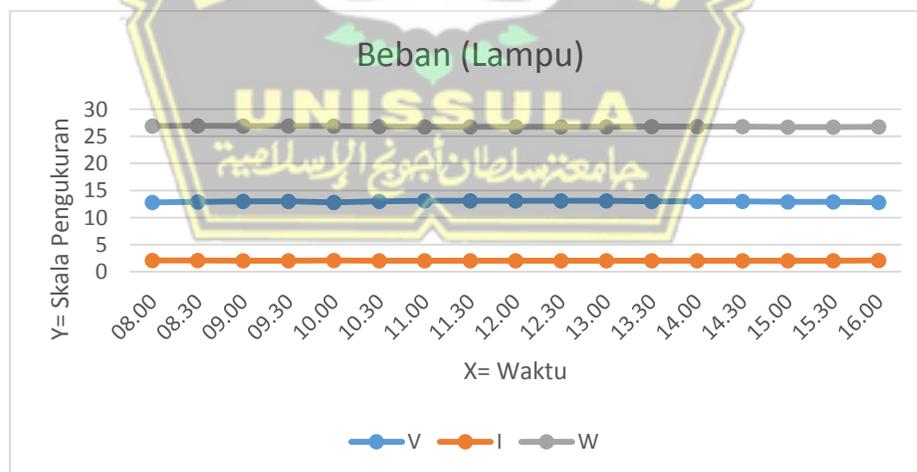
### c. Pengukuran pada Beban

**Tabel 4. 16** Hasil Pengukuran Arus, Tegangan dan daya pada beban terhadap waktu

No	Beban			
	Jam	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Daya (Watt)
1	08.00	12,8 V	2,1 A	26,88 W
2	08.30	12,9 V	2,09 A	26,96 W
3	09.00	13,00 V	2,07 A	26,91 W
4	09.30	13,0 V	2,07 A	26,91 W
5	10.00	12,8 V	2,1 A	26,88 W
6	10.30	13,0 V	2,06 A	26,78 W
7	11.00	13,1 V	2,04 A	26,724 W
8	11.30	13,1 V	2,04 A	26,724 W
9	12.00	13,1 V	2,04 A	26,724 W

10	12.30	13,1 V	2,04 A	26,724 W
11	13.00	13,1 V	2,04 A	26,724 W
12	13.30	13,0 V	2,06 A	26,78 W
13	14.00	13,0 V	2,06 A	26,78 W
14	14.30	13,0 V	2,06 A	26,78 W
15	15.00	12,9 V	2,07 A	26,70 W
16	15.30	12,9 V	2,07 A	26,70 W
17	16.00	12,8 V	2,09 A	26,75 W
Jumlah		220,6 V	35,1 A	455,43W
Rata-Rata		13,0 V	2,06 A	26,79 W

Pada saat pengukuran arus dan tegangan pada beban daya rata-rata yang dihasilkan adalah 26,7 Watt, harusnya jika 6 buah lampu yang digunakan maka daya yang diserap oleh beban adalah sekitar 30 Watt, setelah dianalisa ternyata ada satu lampu yang cahayanya paling redup, kemungkinan hal tersebut yang menjadi faktor mengapa lampu tidak menyerap daya secara penuh.



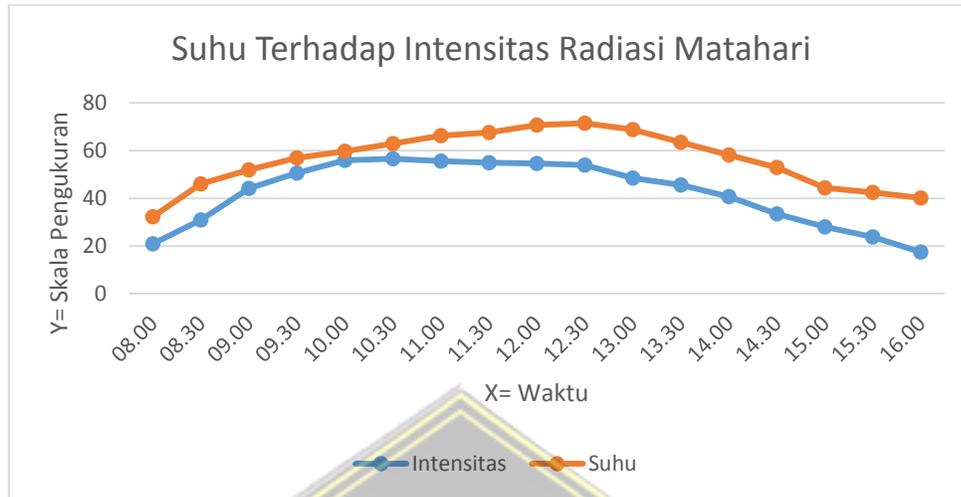
**Gambar 4. 17** Grafik Pengaruh Arus, tegangan dan daya pada beban terhadap waktu, PV tersusun seri-paralel kondisi baterai kosong

#### d. Pengukuran pengaruh suhu terhadap intensitas radiasi matahari

Tabel 4. 17 Hasil Pengukuran intensitas matahari terhadap waktu

No	Intensitas			Suhu (°C)
	Jam	K Lux	Watt/m <sup>2</sup>	
1	08.00	20,86	164,8	32,3
2	08.30	30,96	244,6	46
3	09.00	44,2	349,2	52
4	09.30	50,60	399,7	57
5	10.00	56,00	442,4	59,7
6	10.30	56,60	447,1	63
7	11.00	55,60	439,2	66,3
8	11.30	55,00	434,5	67,6
9	12.00	54,60	431,3	70,7
10	12.30	54,00	426,6	71,5
11	13.00	48,50	383,2	68,9
12	13.30	45,60	360,2	63,5
13	14.00	40,70	321,5	58,2
14	14.30	33,43	264,1	53
15	15.00	28,00	221,2	44,4
16	15.30	23,75	187,6	42,5
17	16.00	17,40	137,5	40,2
Jumlah		715,8	5654,8	956,8
Rata-Rata		42,10	332,6	56,28235

Panel surya mendapatkan intensitas yang baik ketika direntan jam 10.00-14.00 Wib, jadi ketika matahari mulai turun dan suhu udara mulai turun, maka penyerapan panel surya terhadap intensitas matahari akan semakin turun, sehingga mempengaruhi kinerja dan efisiensi panel surya.



**Gambar 4. 18** Grafik Pengaruh Intensitas cahaya matahari terhadap waktu,PV tersusun seri-paralel kondisi baterai kosong

Pada grafik intensitas cahaya matahari, semakin jam menunjukkan sore hari maka nilai intensitasnya akan semakin turun hal ini terjadi karena sudut penyinaran matahari terhadap bumi berubah seiring pergerakan bumi.

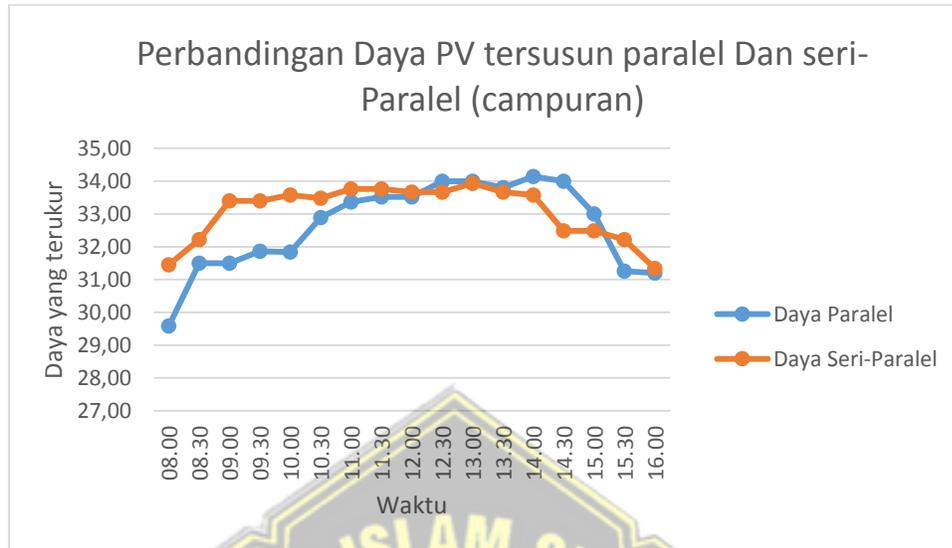
### 4.3 Analisa perbandingan daya yang dihasilkan masing-masing penyusunan

Pada penelitian ini dapat dibandingkan berapa daya yang dihasilkan oleh panel surya, karna pengukuran ini dilakukan selama 8 jam, dan data yang diambil selama 30 menit sekali, maka untuk hasil daya diambil rata-rata selama 8 jam, berikut adalah tabel dari perbandingan masing-masing penyusunan.

#### a. Panel surya dalam keadaan Baterai penuh

**Tabel 4. 18** Tabel hasil perbandingan daya yang dihasilkan masing masing pengukuran

No	Panel Surya dalam kondisi baterai penuh						
	Jam	Seri-Paralel			Paralel		
		Volt	Ampere	Watt	Volt	Ampere	Watt
1	08.00	37,0	0,85	31,45	17,4	1,70	29,58
2	08.30	36,2	0,89	32,22	17,5	1,80	31,50
3	09.00	36,7	0,91	33,40	17,5	1,80	31,50
4	09.30	36,7	0,91	33,40	17,7	1,80	31,86
5	10.00	36,5	0,92	33,58	17,4	1,83	31,84
6	10.30	36,0	0,93	33,48	17,4	1,89	32,89
7	11.00	36,7	0,92	33,76	17,2	1,94	33,37
8	11.30	36,3	0,93	33,76	17,1	1,96	33,52
9	12.00	36,2	0,93	33,67	17,1	1,96	33,52
10	12.30	36,2	0,93	33,67	17	2,00	34,00
11	13.00	36,1	0,94	33,93	17	2,00	34,00
12	13.30	36,2	0,93	33,67	16,9	2,00	33,80
13	14.00	36,1	0,93	33,57	16,9	2,02	34,14
14	14.30	35,7	0,91	32,49	17	2,00	34,00
15	15.00	35,7	0,91	32,49	16,5	2,00	33,00
16	15.30	35,8	0,90	32,22	15,1	2,07	31,26
17	16.00	33,7	0,93	31,34	15,6	2,00	31,20
Jumlah		613,8	15,57	562,0	288,3	32,77	554,96
Rata-Rata		36,10	0,9158	33,06	16,96	1,93	32,64



**Gambar 4. 19** Grafik perbandingan daya pada penyusunan photovoltaik secara paralel dan seri-paralel.

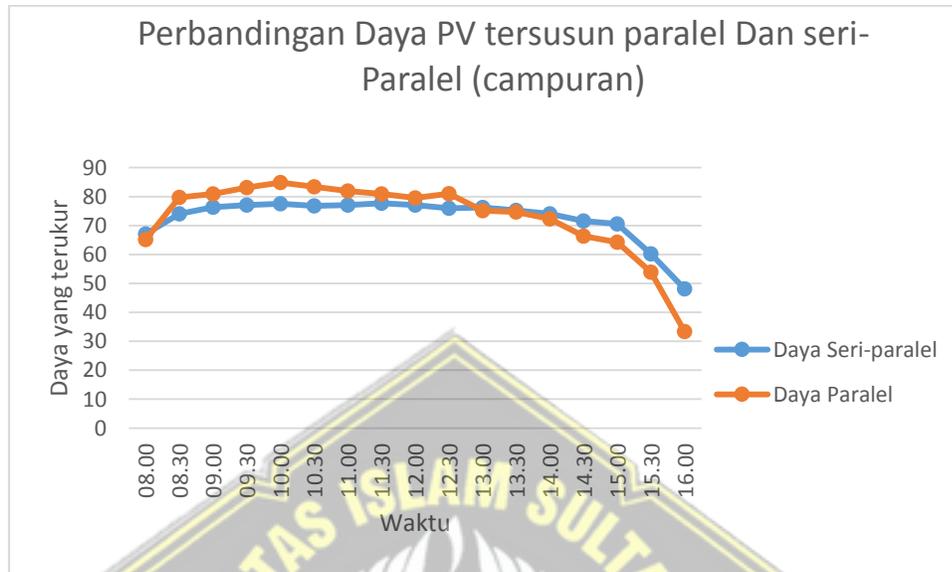
Gambar grafik 4.23 menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan masing masing pengukuran cukup berbeda, dapat dibandingkan antara keduanya, dari hasil rata-rata pengukuran penyusunan secara Seri-paralel (kombinasi) daya yang dihasilkan lebih besar daripada penyusunan secara paralel, jadi perancangan panel surya secara kombinasi dapat mendapatkan daya yang lebih besar, dan juga dapat menyuplai beban lebih banyak.

Hasil dari pengukuran untuk penyusunan secara paralel didapatkan daya rata-rata pengukuran selama 8 jam sebesar 32,6 Watt sedangkan pada saat penyusunan secara seri-paralel (kombinasi) mendapatkan daya sebesar 33,06 watt. Dari penyusunan empat buah panel surya didapatkan daya masing-masing, dimana beban yang terpasang di sesuaikan dengan daya yang dihasilkan oleh panel surya tersebut.

**b. Panel surya dalam kondisi Baterai Kosong**

**Tabel 4. 19** Tabel hasil perbandingan daya yang dihasilkan masing masing pengukuran

No	Panel Surya dalam kondisi Baterai kosong						
	Jam	Seri-Paralel			Paralel		
		Volt	Ampere	Watt	Volt	Ampere	Watt
1	08.00	30,1	2,23	67,123	15,3	4,26	65,18
2	08.30	32,2	2,30	74,06	14,8	5,39	79,77
3	09.00	34,4	2,22	76,368	14,8	5,47	80,96
4	09.30	34,4	2,24	77,056	14,9	5,58	83,14
5	10.00	34,6	2,24	77,504	15,0	5,66	84,90
6	10.30	34,6	2,22	76,812	15,0	5,56	83,40
7	11.00	34,4	2,24	77,056	15,0	5,46	81,90
8	11.30	34,4	2,26	77,744	15,1	5,36	80,94
9	12.00	34,4	2,24	77,056	15,1	5,27	79,58
10	12.30	33,9	2,24	75,936	15,0	5,40	81,00
11	13.00	33,9	2,25	76,275	15,0	5,01	75,15
12	13.30	33,9	2,22	75,258	15,0	4,98	74,70
13	14.00	33,5	2,21	74,035	15,0	4,82	72,30
14	14.30	33,0	2,17	71,61	15,4	4,32	66,31
15	15.00	31,8	2,22	70,596	14,9	4,31	64,22
16	15.30	30,1	2,00	60,2	14,8	3,64	53,87
17	16.00	30,1	1,60	48,16	14,7	2,27	33,37
Jumlah		563,7	37,10	1232,849	254,75	82,76	1240,68
Rata-Rata		33,2	2,18	72,52053	14,98529	4,868235	72,98



**Gambar 4. 20** Grafik perbandingan daya pada penyusunan photovoltaik secara paralel dan seri-paralel.

Saat kondisi pengisian baterai arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya dialirkan melalui MPPT yang bertugas untuk mengatur aliran arus ke baterai, regulator pengisian memastikan bahwa baterai diisi dengan aman dan mencegah *overcharging* yang dapat merusak baterai.

#### 4.4 Analisa perbandingan rugi-rugi daya pada masing-masing penyusunan

Rugi-rugi daya pada sepanjang kawat penghantar adalah hilangnya energi listrik saat listrik mengalir melalui sistem kabel dan peralatan listrik, hal ini terjadi karena bebrapa alasan termasuk resistansi pada kabel pengantar. Ketika arus listrik mengalir melalui kabel , sebagian energi dirubah menjadi panas karena adanya hambatan.

##### a. Rugi-rugi pada penyusunan paralel

Rugi-rugi pada penyusunan Paralel dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{losses} = I^2 \cdot R$$

Dimana:

R = Hambatan Kabel  $0,114 \Omega$

$\rho$  = Tahanan jenis tembaga

I = Arus rata-rata yang mengalir sepanjang kabel penghubung

$$P_{losses} = I^2 \cdot R$$

$$P_{losses} = 1,93^2 A \cdot 0,114 \Omega$$

$$P_{losses} = 3,72 A \cdot 0,114 \Omega$$

$$P_{losses} = 0,42 \text{ Watt}$$

Jadi daya yang terbuang sepanjang kabel penghantar adalah  $0,122 \text{ Watt}$ .

##### b. Rugi-rugi pada penyusunan Seri-paralel

Rugi-rugi pada penyusunan Seri- Paralel dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{losses} = I^2 \cdot R$$

Dimana:

R = Hambatan Kabel  $0,114 \Omega$

$\rho$  = Tahanan jenis tembaga

I = Arus rata-rata yang mengalir sepanjang kabel penghubung

Maka

$$P_{losses} = I^2 \cdot R$$

$$P_{losses} = 0,91^2 A \cdot 0,114 \Omega$$

$$P_{losses} = 0,82 A \cdot 0,114\Omega$$

$$P_{losses} = 0,09 \text{ Watt}$$

Jadi daya yang terbuang sepanjang kabel penghantar adalah 0,027 Watt.

Dari perhitungan diatas dapat diketahui berapa nilai dari rugi-rugi daya masing masing penyusunan, pada penyusunan paralel daya yang terbuang disepanjang kabel penghubung adalah 0,42 Watt, sedangkan pada penyusunan seri-paralel adalah 0,09 Watt.

Prosentase daya yang terbuang sepanjang penghantar sebagai berikut:

a. Paralel

$$\frac{P_{losses}}{P_{total}} \times 100\% = \frac{0,42}{32,64} \times 100\% = 1,2\%$$

b. Seri- Paralel

$$\frac{P_{losses}}{P_{total}} \times 100\% = \frac{0,09}{33,06} \times 100\% = 0,2\%$$

Prosentasi dari panel surya yang disusun paralel daya yang hilang sepanjang saluran adalah 1,2% dari daya total yang dihasilkan, sedangkan pada penyusunan seri paralel daya yang hilang sepanjang kabel penghubung adalah 0,2% dari daya total yang dihasilkan.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, dan dari hasil perbandingan dari masing

1. Pada penelitian ini daya yang dihasilkan dari penyusunan paralel adalah 32,68 Watt, sedangkan pada penyusunan seri-paralel mendapatkan nilai 33,06 Watt, walaupun selisihnya tidak jauh berbeda namun tetap penyusunan seri paralel akan menghasilkan daya yang lebih besar. Didapatkannya pengukuran demikian tergantung kondisi lingkungan setempat, hasil daya akan lebih maksimal jika panel surya mendapatkan iradiasi yang sesuai dengan spesifikasi panel surya.
2. Pada penyusunan panel surya dalam keadaan baterai penuh arus yang mengalir masuk ke beban akan kecil, karena saat kondisi baterai penuh pengisian pada baterai akan melambat. Pemasangan panel surya dalam keadaan baterai penuh ini bertujuan untuk menjaga performa baterai, dan untuk memperpanjang umur pakai baterai.
3. Pada panel surya tersusun dalam keadaan baterai kosong, arus yang masuk ke baterai akan melonjak tinggi, karena untuk mempercepat pengisian, ketika hal itu terus menerus terjadi akan memurunkan performa baterai.
4. Prosentasi dari daya yang hilang sepanjang saluran, untuk penyusunan panel surya paralel adalah 1,2% dari daya total yang dihasilkan, sedangkan pada penyusunan seri paralel daya yang hilang sepanjang kabel penghubung adalah 0,2% dari daya total yang dihasilkan. Kombinasi penyusunan panel surya yang ideal dapat disusun secara seri paralel (kombinasi), karena rugi-rugi dayanya lebih kecil.

## 5.2 Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian dan analisa yang sudah dibahas,beberapa saran yang dapat peneliti berikan, sebagai berikut:

1. Penelitian ini disarankan untuk menggunakan data logger, untuk merekam atau penyimpanan data berbagai sensor dan instrumen pengukuran selama periode waktu tertentu.
2. Menggunakan MPPT yang bisa disetting untuk menyala dan mengatur dalam 24 jam, sehingga tidak perlu menggunakan rangkaian kontrol tambahan untuk men setting waktu nyala dan mati pada beban.
3. Pemasangan panel surya bisa menyesuaikan matahari dengan mengatur sudut dan kemiringannya sesuai dengan arah matahari, supaya mendapatkan iradiasi yang maksimal, sehingga kinerja panel surya lebih optima



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Elektronika, T. Informasi, and M. Idris, “Rancang Panel Surya Untuk Instalasi Penerangan Rumah Sederhana Daya 900 Watt,” vol. 1, pp. 17–22, 2019.
- [2] R. Rahman, “Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Offgrid Untuk Rumah Tinggal Di Kota Banjarbaru,” *J. EEICT (Electric, Electron. Instrumentation, Control. Telecommun.*, vol. 4, no. 1, 2021, doi: 10.31602/eeict.v4i1.4540.
- [3] J. F. Teknik *et al.*, “RANCANG BANGUN PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK,” vol. 3, no. 3, pp. 97–100, 2022.
- [4] A. Mathematics, “PERANCANGAN PLTS UNTUK RUMAH TINGGAL DENGAN KAPASITAS DAYA TERPASANG 450V,” vol. 9, no. 1, pp. 1–23, 2016.
- [5] S. Yana, “Studi Karakteristik Photovoltaic Terhubung Seri dan Paralel Oleh,” 2023.
- [6] S. Tera, “Keuntungan dan Kekurangan Sistem PLTS Off Grid,” 12 juni 2023, 2023. <https://www.sunterra.id/mengenal-lebih-dekat-sistem-plts-off-grid/> (accessed Aug. 06, 2023).
- [7] S. Thermal and S. Pv, “Desain Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rumah Tangga”.
- [8] T. Alamsyah, A. Hiendro, and Z. Abidin, “Analisis Potensi Energi Matahari Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Panel Mono-Crystalline dan Poly-Crystalline Di Kota Pontianak dan Sekitarnya,” *J. Tek. Elektron.*, p. 10, 2019.
- [9] S. S. Mohammad Hafidz ;, “Perancangan Dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 10 Mw on Grid Di Yogyakarta,” *Jur. Tek. Elektro*,

*Sekol. Tinggi Tek. PLN*, vol. 7, no. JURNAL ENERGI & KELISTRIKAN VOL. 7 NO. 1, JANUARI - MEI 2015, p. 49, 2015.

- [10] P. R. Michael, D. E. Johnston, and W. Moreno, "A conversion guide : solar irradiance and lux illuminance A Conversion Guide : Solar Irradiance and Lux Illuminance," no. November 2022, 2020, doi: 10.21595/jme.2020.21667.
- [11] A. G. Wicaksana and B. Winardi, "PADA TEGANGAN , ARUS DAN DAYA KELUARAN PLTS TERHUBUNG GRID 380 V," 2016.
- [12] M. T. Darno, Yahonnes M. Simanjutak, "Studi Perencanaan Modul Praktikum Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts)," *J. Untan*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2019.
- [13] Albert, "cara memilih batrai untuk panel surya," *13 maret*, 2017. [https://www.royalpv.com/tips-memilih-baterai-panel-surya/#:~:text=Baterai Deep Cycle jenis VRLA,\(Pembangkit Listrik Tenaga Surya\).](https://www.royalpv.com/tips-memilih-baterai-panel-surya/#:~:text=Baterai Deep Cycle jenis VRLA,(Pembangkit Listrik Tenaga Surya).) (accessed Jun. 04, 2023).
- [14] F. H. Hasan, "Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember Text Mining pada Media Sosial Twitter," *Skripsi*, pp. 1–99, 2017.
- [15] Q. A. Sias, *Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking (MPPT) Menggunakan Algoritma Free Search Krill Herd (FSKH) pada Sistem Pompa Air Tenaga Matahari*. 2017.