

**STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA  
(PLTS) DENGAN SISTEM ON-GRID PADA GEDUNG WORKSHOP  
POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM SEMARANG**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh Gelar S1 pada  
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Sultan Agung Semarang



**DISUSUN OLEH :**

**ANANG SUKMA WARDANA**

**NIM. 30602200112**

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

**2025**

**FINAL PROJECT**

**STUDY ON THE PLANNING OF AN ON-GRID SOLAR POWER PLANT  
(SPP) SYSTEM AT THE WORKSHOP BUILDING OF POLITEKNIK  
PEKERJAAN UMUM SEMARANG**

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1) at  
Departement of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology,  
Universitas Islam Sultan Agung Semarang*



**ARRANGED BY:**

**ANANG SUKMA WARDANA**

**NIM. 30602200112**

**MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING  
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG**

**2025**

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DENGAN SISTEM ON-GRID PADA GEDUNG WORKSHOP POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM SEMARANG” ini disusun oleh:

Nama : Anang Sukma Wardana

NIM : 30602200112

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Selasa

Tanggal : 03 Juni 2025

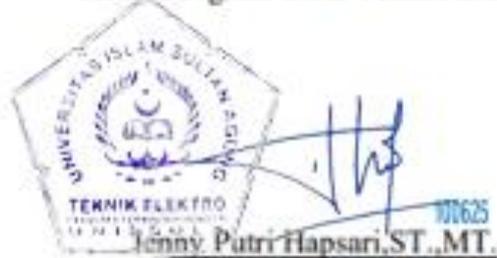
Pembimbing I

  
Dedi Nugroho, S.T., M.T.

NIDN. 0617126602

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro

  
Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.

\* 0607018501

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DENGAN SISTEM ON-GRID PADA GEDUNG WORKSHOP POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM SEMARANG” ini telah dipertahankan didepan dosen penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Selasa

Tanggal : 03 Juni 2025



**Dr. Gunawan, S.T., M.T.**  
NIDN. 0607117101

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini adalah :

Nama : Anang Sukma Wardana

NIM : 30602200112

Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Program Studi : S1 Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro di Fakultas Teknologi Industri UNISSULA Semarang dengan judul **“Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Dengan Sistem On-Grid Pada Gedung Workshop Politeknik Pekerjaan Umum Semarang”**, adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

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

Semarang, 10 Juni 2025

Yang menyatakan,



Anang Sukma Wardana

## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Anang Sukma Wardana

NIM : 30602200112

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul : **“Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Dengan Sistem On-Grid Pada Gedung Workshop Politeknik Pekerjaan Umum Semarang”** Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung Semarang serta memberikan Hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dalam pangkalan data, dan dipublikasikan di internet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang akan timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Semarang, 10 Juni 2025

Yang menyatakan,



Anang Sukma Wardana

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Pertama,

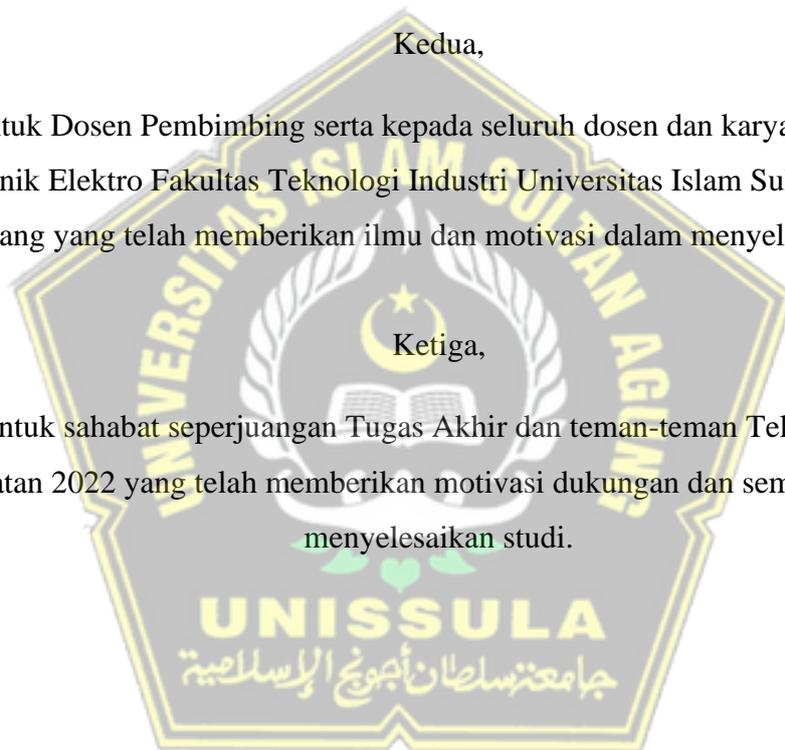
Teruntuk keluarga saya terutama kedua orang tua saya (Bapak Muh Khozin & Ibu Winariningsih) saya ucapkan terimakasih atas do'a serta dukungan secara verba maupun non verba yang tiada henti.

Kedua,

Teruntuk Dosen Pembimbing serta kepada seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan ilmu dan motivasi dalam menyelesaikan studi.

Ketiga,

Teruntuk sahabat seperjuangan Tugas Akhir dan teman-teman Teknik Elektro angkatan 2022 yang telah memberikan motivasi dukungan dan semangat dalam menyelesaikan studi.



## HALAMAN MOTTO

“Hari ini harus lebih baik dari hari kemarin dan hari esok harus lebih baik dari hari ini”

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

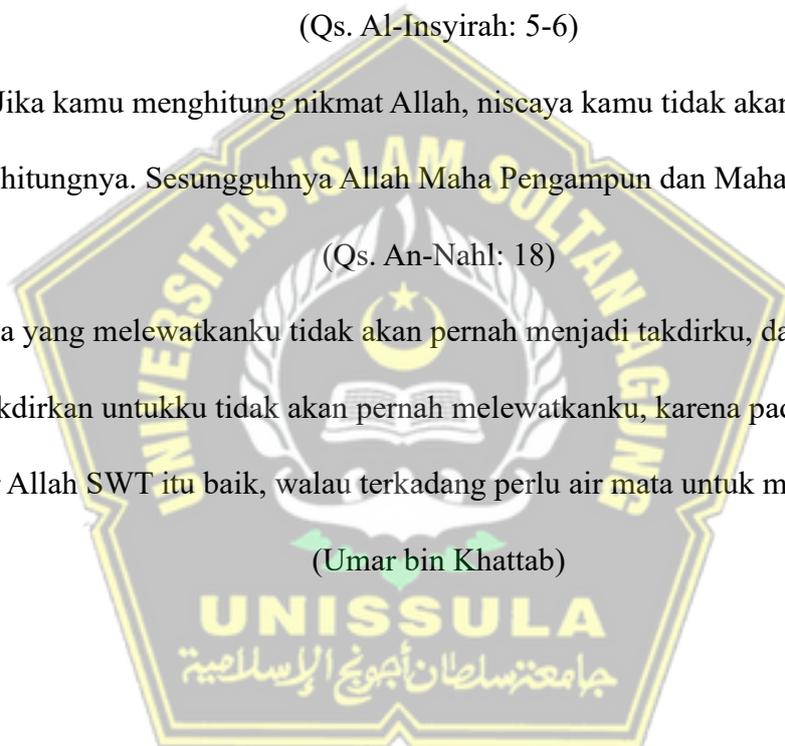
(Qs. Al-Insyirah: 5-6)

“Jika kamu menghitung nikmat Allah, niscaya kamu tidak akan mampu menghitungnya. Sesungguhnya Allah Maha Pengampun dan Maha penyayang”

(Qs. An-Nahl: 18)

“Apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan pernah melewatkanmu, karena pada akhirnya takdir Allah SWT itu baik, walau terkadang perlu air mata untuk menerimanya”

(Umar bin Khattab)



## KATA PENGANTAR

### *Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis diberikan kesehatan, kekuatan, serta kesempatan untuk menyelesaikan penelitian sekaligus penyusunan laporan Tugas Akhir ini dengan judul **“Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Sistem On-Grid pada Gedung Workshop Politeknik Pekerjaan Umum Semarang”**.

Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, suri teladan umat manusia, semoga kita semua mendapatkan syafaat beliau kelak di yaumul akhir. Aamiin Ya Rabbal ‘Alamin.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam proses penyusunannya, penulis menyadari bahwa capaian ini tidak lepas dari dukungan, bimbingan, serta kontribusi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, S.H., M.H., selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Dr. Ir. Hj. Novi Marlyana, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Bapak Gunawan, S.T., M.T., selaku dosen wali kelas mitra Teknik Elektro 2022 atas bimbingannya selama masa studi.
5. Bapak Dedi Nugroho, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, waktu, dan kesabaran beliau dalam membimbing penulis.

6. Seluruh dosen, staf pengajar, dan tenaga kependidikan di lingkungan Program Studi Teknik Elektro atas segala ilmu, arahan, serta motivasi yang diberikan.
7. Kedua orang tua dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa, dukungan moral dan material, serta motivasi tanpa henti kepada penulis.
8. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Elektro kelas mitra 2022, baik dari jalur lintas Diploma III Polines maupun reguler, atas kebersamaan dan semangat yang dibagikan selama perkuliahan.
9. Saudara-saudara saya, Agung, Atho, Daffa, Hafidz, Rehan, dan Zidan, atas dorongan dan dukungan yang turut membantu proses ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan ini masih memiliki banyak kekurangan, baik dari segi isi maupun penyajiannya. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang.

Akhir kata, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi siapa pun yang membacanya, khususnya bagi penulis sebagai bekal pengetahuan dan pengalaman.

*Wassalamu'alaikum Warrahmatullah Wabarakatuh*

Semarang, 27 Mei 2025



Anang Sukma Wardana

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PENGUJIAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Pembatasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Mafaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....</b>	<b>7</b>
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Landasan Teori .....	9
2.2.1 Sumber Energi Pembangkit Listrik .....	9

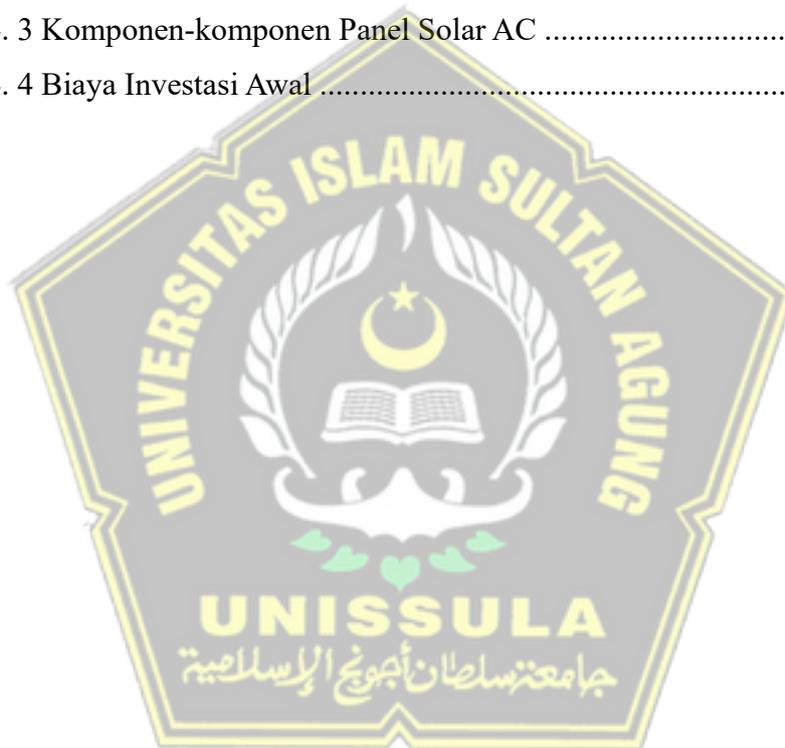
2.3	Panel Surya.....	15
2.4	Kabel Penghantar .....	24
2.5	<i>Inverter</i> .....	29
2.6	Panel <i>Solar AC</i> .....	33
2.1	Analisa Efisiensi dan Ekonomi Sistem .....	39
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>40</b>
3.1	Metode Penelitian.....	40
3.2	Objek Penelitian .....	40
3.3	Alat dan Peralatan Penelitian .....	41
3.4	Metode Pengumpulan Data .....	41
3.5	Metode Analisis.....	42
3.6	Design PLTS Sistem PLTS <i>On-Grid</i> .....	44
3.7	Komponen Penyusun PLTS Sistem <i>On-Grid</i> .....	44
3.8	Diagram Alur Penelitian.....	48
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>49</b>
4.1	Analisis Kebutuhan Energi.....	49
4.2	Data BMKG Radiasi dan Temperatur Udara.....	50
4.3	Analisa Teknis .....	51
4.3.1	Luas Atap .....	52
4.3.2	Daya Pembangkitan Panel Surya .....	53
4.3.3	Luasan <i>Array</i> .....	54
4.3.4	Jumlah Panel Surya.....	55
4.3.5	Konfigurasi Panel Surya .....	55
4.3.6	Penyusunan Panel Surya .....	56
4.3.7	Kapasitas <i>Inverter</i> .....	57

4.3.8	Panel Solar AC .....	57
4.3.9	Kabel Penghantar .....	60
4.4	Analisis Efisiensi dan Ekonomi .....	62
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>		<b>66</b>
5.1	Kesimpulan.....	66
5.2	Saran.....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>68</b>



## DAFTAR TABEL

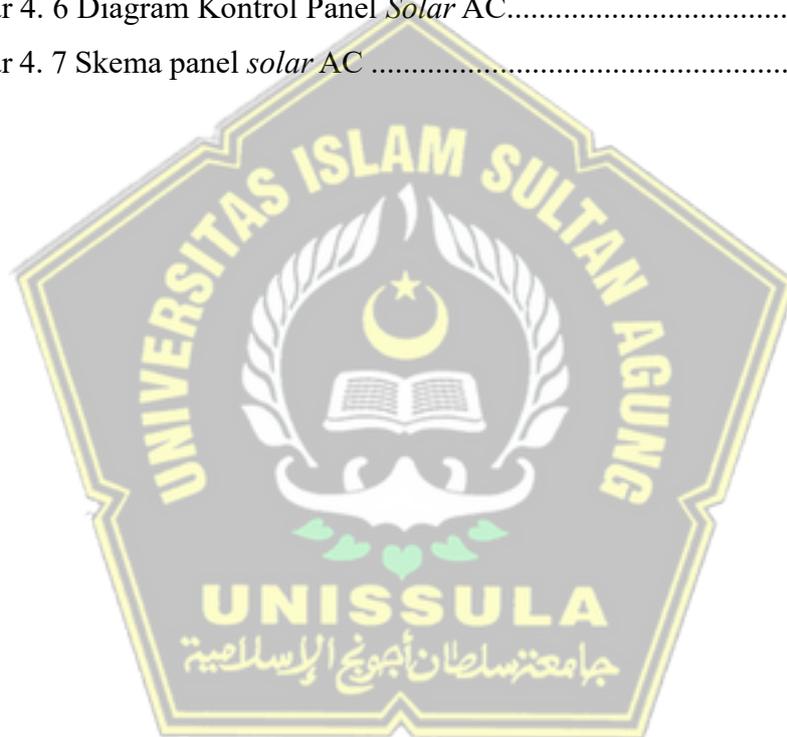
Tabel 2. 1 KHA PV1-F (Data PUIL 2011) .....	26
Tabel 2. 2 KHA NYAF (Data PUIL 2011) .....	27
Tabel 2. 3 KHA NYY (Data PUIL 2011) .....	28
Tabel 3. 1 Spesifikasi Solar Module SERAPHIM 550 BMA HV.....	45
Tabel 3. 2 Inverter On-Grid Sungrow SG110CX .....	46
Tabel 4. 1 Pemakaian Energi Listrik Gedung Workshop .....	48
Tabel 4. 2 Data BMKG Provinsi Jawa Tengah .....	49
Tabel 4. 3 Komponen-komponen Panel Solar AC .....	56
Tabel 4. 4 Biaya Investasi Awal .....	60



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema PLTS Sistem <i>On-Grid</i> .....	11
Gambar 2. 2 Skema PLTS Sistem <i>On-Grid</i> .....	13
Gambar 2. 3 Skema PLTS sistem <i>Off-Grid</i> .....	14
Gambar 2. 4 Skema PLTS Sistem <i>Hybrid</i> .....	15
Gambar 2. 5 Prinsip Kerja Panel Surya (PV) .....	16
Gambar 2. 6 Sel Surya <i>Monocrystalline</i> .....	17
Gambar 2. 7 Sel Surya <i>Polycrystalline</i> .....	17
Gambar 2. 8 Sel Surya <i>Thin Film</i> .....	18
Gambar 2. 9 Sistem <i>String Inverter</i> .....	19
Gambar 2. 10 Rangkaian Seri Panel Surya .....	22
Gambar 2. 11 Rangkaian Paralel Panel Surya .....	22
Gambar 2. 12 Kabel DC (PV1-1) .....	25
Gambar 2. 13 Kabel NYAF .....	27
Gambar 2. 14 Kabel NYY .....	28
Gambar 2. 15 <i>Inverter</i> .....	29
Gambar 2. 16 Panel <i>Solar AC</i> .....	33
Gambar 2. 17 <i>Moulded Case Circuit Breaker</i> (MCCB) .....	33
Gambar 2. 18 <i>Miniature Circuit Breaker</i> (MCB).....	35
Gambar 2. 19 <i>Surge Protection Device</i> .....	35
Gambar 2. 20 <i>Current Transformer</i> (CT) .....	36
Gambar 2. 21 <i>Fuse</i> .....	36
Gambar 2. 22 <i>Relay</i> .....	37
Gambar 2. 23 <i>Timer</i> .....	37
Gambar 2. 24 <i>Power Meter</i> .....	38
Gambar 2. 25 <i>Selector switch</i> .....	38
Gambar 2. 26 <i>Push Botttom</i> (PB) .....	39
Gambar 2. 27 <i>Lampu Indikator</i> (Pilot Lamp) .....	39
Gambar 3. 1 Denah Objeki Penelitian Gedung <i>Workshop</i> Politeknik Pekerjaan Umum Semarnag .....	41
Gambar 3. 2 Design PLTS Sistem <i>On-Grid</i> .....	44

Gambar 3. 3 Solar Module SERAPHIM 550 BMA HV .....	45
Gambar 3. 4 <i>Inverter On-Grid</i> Sungrow SG110CX .....	46
Gambar 3. 5 <i>FlowChart</i> Penelitian .....	47
Gambar 4. 1 Atap Gedung <i>Workshop</i> Tampak Depan .....	50
Gambar 4. 2 Atap Gedung <i>Workshop</i> Tampak Atas .....	51
Gambar 4. 3 Sambungan Seri Konfigurasi Panel Surya .....	54
Gambar 4. 4 Susunan Panel Surya pada Atap Gedung <i>Workshop</i> .....	55
Gambar 4. 5 Skema Wiring Diagram Panel <i>Solar AC</i> .....	57
Gambar 4. 6 Diagram Kontrol Panel <i>Solar AC</i> .....	57
Gambar 4. 7 Skema panel <i>solar AC</i> .....	58



## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan sistem *On-Grid* pada Gedung *Workshop* Politeknik Pekerjaan Umum Semarang. Latar belakang penelitian ini adalah potensi energi surya yang melimpah dan kebutuhan untuk mengurangi ketergantungan pada pasokan listrik konvensional serta meminimalkan jejak karbon. Metode penelitian meliputi analisis data historis konsumsi listrik gedung, evaluasi potensi radiasi matahari dan temperature udara menggunakan data BMKG, perhitungan kapasitas PLTS yang optimal, serta perancangan tata letak dan pemilihan komponen utama seperti panel surya, *inverter*, dan sistem proteksi. Selain itu, dilakukan analisis kelayakan ekonomi dengan perhitungan *Return on Investment (ROI)* dan *Payback Period*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Gedung *Workshop* memiliki potensi signifikan untuk instalasi PLTS *On-Grid* berkapasitas 138,6 kWp. Desain sistem yang diusulkan mampu menghasilkan energi 50.590,3 kWh/tahun. Analisis ekonomi memperlihatkan ROI sekitar 6,68% dengan *payback period* sekitar 14,97 tahun, menunjukkan investasi ini layak secara finansial dalam jangka panjang. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa implementasi PLTS *On-Grid* pada Gedung *Workshop* Politeknik Pekerjaan Umum Semarang sangat memungkinkan dan memberikan manfaat ekonomi serta lingkungan yang substansial.

**Kata kunci :** *Perencanaan PLTS, Panel Surya, Inverter, On-Grid*

## ABSTRACT

This study aims to conduct a planning study for an On-Grid Solar Power Plant (SPP) system at the Workshop Building of Politeknik Pekerjaan Umum Semarang. The background of this research is the abundant potential of solar energy and the need to reduce dependence on conventional electricity supply, as well as minimize the carbon footprint. The research methodology includes analyzing historical building electricity consumption data, evaluating solar radiation and air temperature potential using BMKG data, calculating the optimal SPP capacity, and designing the layout and selecting key components such as solar panels, inverters, and protection systems. In addition, an economic feasibility analysis was performed by calculating the Return on Investment (ROI) and Payback Period. The results show that the Workshop Building has significant potential for installing a 138.6 kWp On-Grid SPP. The proposed system design is capable of generating 50,590.3 kWh/year. Economic analysis reveals an ROI of approximately 6.68% with a payback period of around 14.97 years, indicating that this investment is financially viable in the long term. The conclusion of this study is that the implementation of an On-Grid SPP at the Workshop Building of Politeknik Pekerjaan Umum Semarang is highly feasible and provides substantial economic and environmental benefits.

**Keywords:** *SPP Planning, Solar Panel, Inverter, On-Grid.*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Saat ini, energi listrik merupakan salah satu hal yang paling penting bagi masyarakat Indonesia. Selama beberapa dekade terakhir, Indonesia telah menggunakan pembangkit yang terbuat dari bahan bakar fosil untuk menghasilkan listrik. Namun, berkurangnya potensi sumber energi tersebut dan memiliki efek seperti emisi gas rumah kaca dan menjadikan suhu permukaan bumi meningkat yang menyebabkan pemanasan global[1]. Oleh karena itu, sistem kelistrikan yang saat ini digunakan di Indonesia yang menggunakan bahan bakar fosil perlu dimodifikasi dan dikonversi ke EBT (Energi Baru Terbarukan) yang memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah serta untuk menjaga keseimbangan pada sumber energi yang masih ada. Dengan memanfaatkan EBT (Energi Baru Terbarukan) yakni, penggunaan energi surya yang diperoleh dari pemanfaatan cahaya matahari pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)[2].

Pembangunan pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tidak selalu menggunakan tanah lapang yang luas, PLTS juga dapat dipasang di atap sebuah bangunan, baik itu sebuah pabrik, gedung sekolah, gedung kantor, maupun rumah tinggal, yang terpenting pada sistem pembangkit ini adalah intensitas cahaya matahari. Politeknik Pekerjaan Umum Semarang, terletak di kota Semarang, Jawa Tengah merupakan sebuah kota di Indonesia yang memiliki intensitas cahaya matahari yang cukup tinggi hal tersebut sangat memungkinkan dan dirasa sesuai dalam perencanaan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)[3].

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dapat diterapkan dengan sistem *Off-Grid* atau *On-Grid*. Sistem *Off-Grid* merupakan sistem dengan prinsip kerja secara mandiri tanpa terhubung ke jaringan listrik dengan memanfaatkan baterai untuk menyimpan energi. Sistem *Off-grid* lebih cocok digunakan di daerah terpencil atau akses jaringan listrik kurang bagus dan digunakan saat malam hari atau keadaan dan cuaca yang tidak baik. Sedangkan sistem *On-Grid* adalah sistem yang beroperasi secara langsung terhubung dengan jaringan listrik PLN dan

memanfaatkan sinar matahari secara langsung tanpa memakai baterai. Sistem *On-Grid* lebih cocok untuk daerah dengan akses listrik yang baik serta biaya pemeliharaan lebih rendah karena tidak memerlukan baterai penyimpanan dengan bekerja hanya pada saat adanya sinar matahari dan tetap dapat menggunakan jaringan listrik PLN[4].

Perlu diketahui bahwa Politeknik Pekerjaan Umum Semarang memiliki empat workshop yakni; Workshop A, B, C dan D. Gedung Workshop tersebut dibedakan menjadi 2 zona yakni; Zona A dan B, dengan pembagian Gedung Workshop C dan D masuk dalam Zona A, untuk Zona B berisikan Workshop A dan B. Sistem kelistrikan yang digunakan berasal dari distribusi PLN dengan tegangan 865kVA yang mencakup semua Gedung Workshop karena pada dasarnya ukuran bangunan dan beban yang digunakan kurang lebihnya hampir sama, namun pada penilitan kali ini berfokus pada Gedung Workshop A dan B yang berada di Zona B dengan konsumsi energi listrik PLN mencapai 346000 kWh dalam satu bulan (waktu pemakain normal). Selain itu, jam operasional dari sebuah gedung instansi antara pukul 07.00-16.00 WIB (waktu normal). Kendati demikian, PLTS dengan sistem *On-Grid* terbilang sangat cocok untuk pemanfaatan pada Politeknik Pekerjaan Umum Semarang karena PLTS sistem *On-Grid* hanya bekerja pada saat adanya sinar matahari. Hal tersebut menjadi alasan bagi penulis untuk membuat penelitian Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Sitem *On-Grid* di Gedung Workshop pada Politeknik Pekerjaan Umum Semarnag. Dengan meninjau aturan terbaru Meneteri ESDM No. 02 Tahun 2024 tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap. Pemerintah menargetkan penambahan 1 GW PLTS Atap yang terhubung ke jaringan PLN dan 0,5 GW dari non-PLN setiap tahun, peraturan ini dibuat untuk mempercepat implementasi PLTS Atap. Dengan adanya aturan tersebut, pembatasan kapasitas pada penerapan PLTS Atap tidak lagi berlaku. Oleh karena itu, pada penulisan studi perencanaan ini akan memberikan presentase energi listrik PLTS dengan sistem *On-Grid* kurang lebihnya 40% dari kebutuhan atau konsumsi listrik PLN..

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan diatas, berikut ini adalah rumusan masalah dalam penelitian ini Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dapat dibuat sebagai berikut:

1. Berapa kapasitas daya PLTS sistem *On-Grid* optimal untuk memenuhi kebutuhan energi pada Gedung *Workshop* di Politeknik Pekerjaan Umum Semarang?
2. Bagaimana penentuan kebutuhan jumlah panel surya dan *inverter* dalam perencanaan PLTS sistem *On-Grid* untuk mencapai maksimal?
3. Bagaimana bentuk perencanaan PLTS sistem *On-Grid* sebagai bentuk efisiensi energi dan penghematan biaya konsumsi listrik PLN?
4. Bagaimana dampak yang diperoleh setelah penerapan PLTS sistem *On-Grid* terhadap konsumsi listrik PLN pada Gedung *Workshop* di Politeknik Pekerjaan Umum Semarang?

## 1.3 Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini dapat dilakukan dengan lebih fokus dan mendalam, maka penulis memandang permasalahan-permasalahan penelitian yang diangkat perlu dibatasi variabelnya sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan hanya untuk memperkirakan sebuah perencanaan PLTS Sistem *On-Grid* pada Gedung *Workshop* di Politeknik Pekerjaan Umum Semarang.
2. Penelitian ini hanya untuk membantu mengetahui efisiensi dari pengurangan biaya pada konsumsi listrik PLN.
3. Penelitian ini, dilakukan dengan meninjau penelitian terdahulu serta studi kasus terkait PLTS sistem *On-Grid* dan mengobservasi kondisi dan keadaan lokasi sebagai acuan dari perhitungan dan penentuan komponen penyusun yang dibutuhkan.
4. Penelitian ini tidak membahas rangkaian pada *inverter* dan panel distribusi PLN yang sebelumnya sudah ada.
5. Penelitian ini tidak mencantumkan proses kontruksi, tata cara operasional dan perawatan.

6. Pada studi perencanaan ini mengabaikan data atau informasi terbaru setelah proses pengambilan data atau diluar pada saat penelitian ini berlangsung.
7. Penelitian dilakukan dengan pedoman dasar peraturan resmi yang ada di Indonesia, seperti Persyaratan Umum Instalasi Listrik tahun 2011(PUIL 2011) dan peraturan terbaru mengenai energi baru terbarukan dari energi surya (Peraturan Menteri ESDM No. 02 tahun 2024).

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian tugas akhir Berdasarkan pada rumusan masalah diatas, mengacu pada tujuan yang ingin dicapai penelitian ini antara lain:

- 1) Mengidentifikasi dan menentukan kapasitas daya PLTS sistem *On-Grid* yang optimal dan sesuai untuk Gedung *Workshop* di Politeknik Pekerjaan Umum Semarang.
- 2) Menentukan jumlah panel surya dan *inverter* yang dibutuhkan dalam sebuah perencanaan PLTS dengan sistem *On-Grid* pada Gedung *Workshop* di Politeknik Pekerjaan Umum Semarang.
- 3) Memperhitungkan dan mendesain bentuk sistem kelistrikan PLTS dengan sistem *On-Grid* sebagai bentuk efisiensi energi dan penghematan biaya konsumsi listrik PLN.
- 4) Menganalisis untuk mengetahui dampak konsumsi listrik PLN dari penerapan PLTS sistem *On-Grid* pada Gedung *Workshop* di Politeknik Pekerjaan Umum Semarang.

#### **1.5 Mafaat Penelitian**

Pada penulisan penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mengetahui kapasitas daya PLTS sistem *On-Grid* yang optimal dan sesuai pada Gedung *Workshop* di Politeknik Pekerjaan Umum Semarang.
2. Mengetahui jumlah panel surya dan *inverter* yang diperlukan dalam penelitian untuk mencapai maksimal.

3. Mengetahui dan memahami desain perencanaan PLTS sistem *On-Grid* dari studi perencanaan PLTS dengan sistem *On-Grid* sebagai bentuk efisiensi energi dan penghematan biaya konsumsi listrik PLN.
4. Mengetahui seberapa dampak konsumsi listrik PLN terhadap efisiensi dari penerapan PLTS dengan sistem *On-Grid* pada Gedung *Workshop* Politeknik Pekerjaan Umum.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Pada penelitian ini terdapat sistematika penulisan penelitian agar lebih sistematis, jelas dan mudah untuk dipahami. Adapun sistematika penulisan penelitian sebagai berikut:

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

Bab ini berisi tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan penelitian.

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

Bab ini berisi tentang tinjauan pustaka dan landasan teori yang berisi tentang penelitian yang berkaitan dengan perencanaan PLTS sistem *On-Grid* yang mana hasil penelitiannya dijadikan sebagai referensi penulis dalam melakukan penelitian.

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

Bab ini berisi tentang metodologi penelitian yang digunakan meliputi waktu dan tempat pelaksanaan penelitian, serta peralatan yang digunakan sebagai media pendukung dalam penyusunan penelitian untuk mendapatkan data/hasil yang dibutuhkan dalam penelitian tersebut.

#### **BAB IV : HASIL DAN ANALISIS**

Bab ini berisi tentang pembahasan dan analisa data pengukuran dengan perhitungan data yang diperoleh untuk menentukan bentuk desain dan komponen yang diperlukan, serta penentuan kelayakan dan dampak terhadap

biaya konsumsi listrik PLN setelah penerapan PLTS sistem *On-Grid* pada saat penelitian ini diberlakukan.

## **BAB V : PENUTUP**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan mengenai penelitian yang telah dilakukan agar dapat menjadi bahan pembelajaran untuk lebih lanjut dan lebih baik lagi.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam penulisan penelitian ini terdapat tinjauan pustaka dari beberapa uraian peneliti terdahulu, yang berkaitan dengan perencanaan PLTS sistem *On-Grid*, yang mana penelitian tersebut akan dikaji sebagai bahan acuan penulisan penelitian ini.

- a. Penelitian tentang, “Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya”. Penelitian ini membahas dasar-dasar dari perencanaan pembangkit listrik tenaga surya. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah bagaimana cara merancang dan bentuk mendesain pembangkit listrik tenaga surya, serta apa saja yang perlu diperhatikan sebelum membuat rancangan pembangkit listrik tenaga surya. Hal yang perlu diperhatikan adalah kondisi lokasi serta bagaimana potensi cahaya matahari. Kemudian bagaimana pemilihan komponen yang sesuai dengan melihat dan menganalisis data pemakaian daya listrik rata-rata. Setelah itu penelitian ini menjelaskan mengenai sistem yang bisa diterapkan pada pembangkit listrik tenaga surya ini. Dalam perencanaan PLTS ada beberapa sistem yang dapat diterapkan yakni, *On-Grid*, *Off-Grid* dan *Hybrid*[1].
- b. Penelitian tentang, “Studi Teknis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem *Off-Grid* Dan *On-Grid*”. Hasil dari penelitian ini menerangkan bagaimana sistem PLTS *On-Grid* dan *Off-Grid*. Mendefinisikan sistem PLTS *On-Grid* dan *Off-Grid* dengan bagaimana prinsip kerja dan kelebihan serta kekurangan dari masing-masing sistem tersebut. Tidak lupa penelitian ini juga memaparkan apa saja faktor yang mempengaruhi dan komponen apa saja yang harus digunakan. Penelitian ini juga memberikan cara perhitungan analisa beban listrik untuk dilakukan perhitungan luas *array*, daya output modul surya serta kapasitas *inverter*. Hal tersebut diperlukan untuk menentukan komponen yang dibutuhkan dengan sesuai[4].
- c. Penelitian tentang, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On-Grid*”. Hasil dari penelitian ini adalah pemodelan dari perencanaan pembangkit

listrik tenaga surya *On-Grid* pada rumah tangga dengan daya 900VA. Penelitian ini membuat rancang bangun PLTS *On-Grid* 200Wp sebagai bentuk alternatif hemat energi listrik. Penggunaan PLTS sistem *On-Grid* merupakan salah satu cara untuk memenuhi kebutuhan listrik dengan cara menghubungkan langsung dengan jaringan listrik PLN. Tujuan dari penelitian ini, untuk menganalisis terkait faktor keekonomian sistem PLTS *On-Grid* pada beban rumah tangga 900VA dengan efisiensi 20%. Dengan menganalisis data pemakaian rata-rata dalam 24jam atau sehari untuk menentukan perhitungan daya PLTS dan mengetahui efisiensi pemakaian dari penghematan tersebut. Perhitungan daya PLTS ( $P_{\text{max}} \text{ panel surya per hari} = W_p \text{ panel surya} \times \text{Equivalent Sun Hour (ESH)}$ ). Kemudian perhitungan penghematan dalam pemakaian daya (efisiensi =  $P_{\text{max}} \text{ panel surya} / P_{\text{max}} \text{ harian}$ ), setelah itu dapat diketahui seberapa persen efisiensi yang dihasilkan[2].

- d. Penelitian tentang, “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap *On-Grid* Skala Rumah Tinggal Daya 1300 VA Menggunakan *Software Homer*”. Studi perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap yang bertujuan untuk menentukan konfigurasi PLTS Atap dengan sistem *On-Grid* secara teknis dan ekonomis bagi rumah dengan daya 1300 VA di Komplek Trisandi Indah, Kota Padang, Sumatera Barat dengan menggunakan perangkat lunak HOMER untuk simulasi atau untuk membandingkan penggunaan listrik PLN dengan PLTS Atap dengan Modul PV TopHiku 2X610 Wp dan *Inverter Deye Smart* 1300 W. Metode pengumpulan data yang dilakukan seperti data beban listrik rumah tangga selama 24 jam (22 – 28 Juli 2024) dan pengukuran iradiasi matahari dan suhu lingkungan, serta data harga komponen dari *marketplace* dan produsen. Hasil dari pembahasan yang didapat yakni Aspek Kinerja Teknis seperti, energi yang dihasilkan PLTS sebesar 1.809,58 kWh/tahun dan energi yang diekspor ke jaringan sebesar 526.10 kWh/tahun dengan kontribusi energi terbarukan sebesar 37.77%. Aspek Kinerja Ekonomi seperti *Net Present Cost (NPC)* sebesar Rp 89.277.250, *Cost of Energy (COE)* sebesar RP 1.125,32/kWh dan biaya

operasional tahunan mencapai Rp 3.898.634 dengan *Return on Investment* (ROI) sebesar 5% maka periode pengembalian modal selama 13,83 tahun[5].

- e. Penelitian tentang, “*Planning of Solar Power Plant with On-Grid System at The Fourth Building University of PGRI Semarang*”. Sebuah perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan sistem *On-Grid* di gedung keempat Universitas PGRI Semarang. Sistem ini membantu mengurangi beban listrik dari PLN dan memanfaatkan energi surya sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan sistem *On-Grid Photovoltaic* (PV) di gedung keempat Universitas PGRI Semarang. Dengan menggunakan metode penelitian Pengumpulan Data (mengidentifikasi beban listrik harian dan spesifikasi *inverter* serta panel surya yang akan digunakan). Selain itu, melakukan perhitungan kapasitas daya (menentukan jumlah daya yang akan dihasilkan dan menghitung jumlah panel surya yang diperlukan) dan penentuan susunan panel (merancang tata letak panel surya berdasarkan spesifikasi *inverter* dan luas area yang tersedia). Hasil dari pembahasan dengan melakukan perhitungan setelah mengidentifikasi beban listrik yang digunakan dan luas area panel surya, penelitian tersebut mendapat hasil dari penentuan jumlah panel surya dan spesifikasi panel surya serta *inverter* yang digunakan. Dengan menggunakan 166 unit panel surya monokristalin dengan kapasitas 200 Wp dan *inverter On-Grid* dengan tegangan input DC antara 685V hingga 800V[3].

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Sumber Energi Pembangkit Listrik

Sistem pembangkit listrik merupakan infrastruktur yang memfasilitasi suatu sistem yang mengubah energi dari berbagai sumber menjadi energi listrik. Berbagai sumber energi tersebut dibedakan menjadi dua kelompok yaitu, energi konvensional dan energi terbarukan[7]:

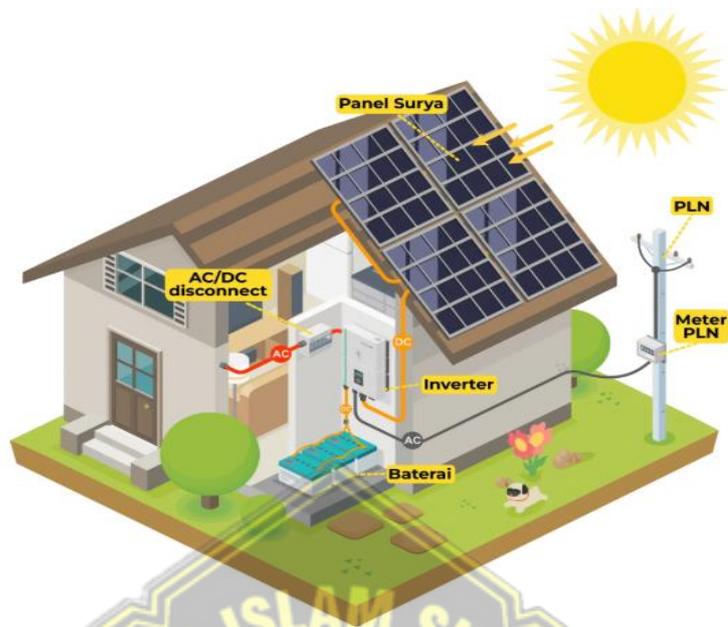
1. Energi Konvensional adalah energi yang mengacu pada sumber energi yang telah lama digunakan secara umum. Pada umumnya energi ini diperoleh dari

bahan bakar fosil atau sumber daya yang terbatas. Sumber energi ini memiliki dampak buruk bagi lingkungan yang dapat menyebabkan polusi dan efek rumah kaca, serta sumber energi ini tidak dapat diperbarui dalam waktu singkat karena proses pembentukannya memerlukan jutaan tahun lamanya. Contoh dari sumber energi ini seperti; Batu bara, Minyak bumi, Gas alam, Uranium.

2. Energi Terbarukan merupakan energi yang berasal dari sumber daya alam yang tidak akan habis atau dapat diperbarui secara alami dalam waktu singkat. Sumber energi ini termasuk ramah lingkungan karena menghasilkan emisi karbon yang rendah atau nol. Contoh dari sumber energi ini seperti; Angin, Air, Biomasa, Panas bumi, Matahari.

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

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem pembangkit energi listrik yang memanfaatkan radiasi matahari sebagai sumber energinya. Radiasi matahari dikonversikan menjadi energi listrik menggunakan teknologi fotovoltaik (PV). Teknologi fotovoltaik (PV) ini memanfaatkan efek fotovoltaik saat terkena cahaya matahari dengan menjadikan reaksi semikonduktor yang menghasilkan arus listrik. PLTS menjadi solusi utama dalam upaya meningkatkan pemakaian energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, dengan tujuan menghasilkan energi listrik yang mengurangi ketergantungan terhadap konsumsi pada sumber energi fosil yang memiliki dampak buruk bagi lingkungan dan bersifat terbatas.



Gambar 2. 1 Skema PLTS Sistem *On-Grid*

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

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) memiliki beberapa jenis yang dikategorikan berdasarkan konfigurasi dari sistemnya antara lain:

#### 1. Sistem *On-Grid*

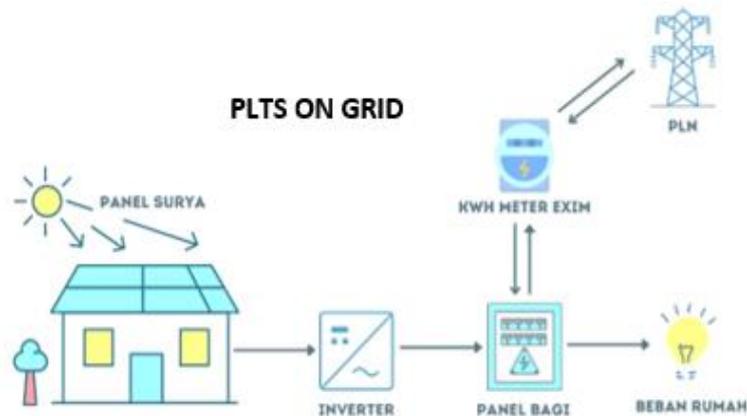
PLTS Sistem *On-Grid* adalah sistem yang terkoneksi ke jaringan listrik PLN. Sistem ini menggunakan komponen panel surya untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik searah (DC) kemudian melalui *grid inverter* mengubah arus listrik semula searah (DC) menjadi arus listrik bolak-balik (AC). Setelah itu, output arus listrik dari *inverter* tersebut langsung dihubungkan paralel dengan jaringan listrik PLN karena sudah melalui proses penyesuaian anantara arus, tegangan, dan frekuensi terhadap jaringan listrik PLN. Sesuai peraturan terbaru Menteri ESDM No. 02 Tahun 2024 tentang PLTS atap yang terhubung dengan jaringan listrik PLN yang merupakan revisi dari aturan sebelumnya No. 26 Tahun 2021. Peraturan tersebut menyebutkan beberapa poin antara lain:

- a. Penghapusan Batasan Kapasitas, dengan tidak ada lagi batasan kapasitas pemasangan PLTS atap. Sebelumnya, terdapat batasan kapasitas berdasarkan jenis pelanggan (rumah tangga, industri, dan pelayanan publik). Penghapusan

terhadap batasan kapasitas ini, memberikan fleksibilitas bagi pelanggan untuk memasang PLTS atap sesuai dengan kebutuhannya.

- b. Penyesuaian Kebijakan Ekspor-Import Energi Listrik, tidak ada lagi istilah ekspor-import yang terbilang rumit dan membingungkan pelanggan dalam perhitungannya, maka akan lebih disederhanakan dengan prioritas pemanfaatan energi yang dihasilkan untuk konsumsi sendiri, kemudian untuk kelebihan energi baru dapat disalurkan ke jaringan yang akan dikonversi menjadi bentuk pengurangan tagihan listrik di periode berikutnya. Sistem yang diterapkan lebih mirip net metering dan mekanisme perhitungannya akan diatur lebih lanjut dalam peraturan turunan.
- c. Penghapusan Biaya Kapasitas, pelanggan PLTS atap tidak lagi dikenakan biaya kapasitas untuk pemasangan sistem yang bertujuan untuk mengurangi biaya awal investasi dan mendorong PLTS atap lebih luas.
- d. Persyaratan Teknis, pemasangan PLTS atap harus memenuhi persyaratan teknis yang berlaku, termasuk standar keselamatan dan mutu.

Dengan Sistem *On-Grid* ini dapat mengurangi Parsial (misalnya 50-80%) atau keseluruhan (100%) pada pemakaian energi listrik PLN dan jika pada kondisi energi yang dihasilkan berlebih maka akan disalurkan ke jaringan PLN dan terhitung sebagai bentuk pengurangan tagihan di periode berikutnya. Sistem *On-Grid* tidak membutuhkan baterai dalam pengoperasiannya, sehingga lebih ekonomis dan perawatan yang lebih mudah serta sangat cocok untuk lokasi infrastruktur jaringan listrik yang baik. Akan tetapi, Sistem *On-Grid* hanya dapat berfungsi disaat siang hari dan tidak bisa dimanfaatkan saat malam hari karena tidak memakai baterai serta sistem ini tidak mampu berdiri sendiri terutama pada kondisi pemadaman listrik karena sistem ini bergantung pada jaringan listrik PLN. PLTS *On-Grid* memiliki skema kerja sebagai berikut:

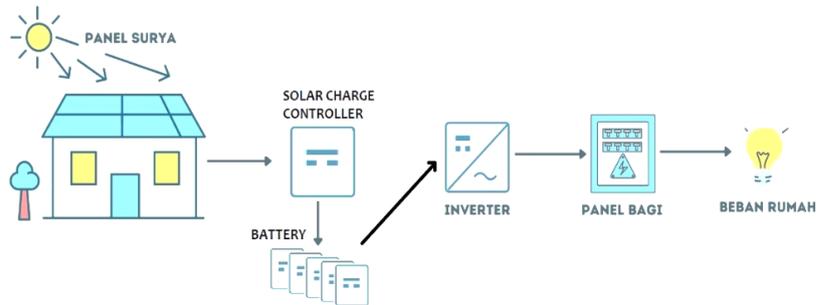


Gambar 2. 2 Skema PLTS Sistem *On-Grid*

## 2. Sistem *Off-Grid*

PLTS dengan sistem *Off-Grid* memiliki komponen yang menjadi pembeda dari sistem *On-Grid* yaitu dengan memakai baterai sebagai penyimpanannya. Energi matahari yang dikonversi menjadi energi listrik (DC) melalui panel surya menuju ke *Solar Charge Controller* (SCC) untuk melalui pengaturan dari aliran listrik yang akan menuju ke baterai agar tetap stabil dalam proses pengisiannya. Setelah energi listrik (DC) tersimpan di baterai outputnya akan diteruskan ke *inverter* untuk mengubah aliran arus listrik DC menjadi AC dan telah disesuaikan tegangan dan frekuensi sesuai kebutuhan dari pada beban yang akan digunakan. Sistem *Off-Grid* merupakan sistem PLTS yang dapat berdiri sendiri dan tidak bergantung pada jaringan listrik PLN serta ideal untuk daerah terpencil dengan akses listrik yang kurang memadai. Namun, perlu diketahui sistem ini memerlukan baterai dalam pengoperasiannya yang menjadi pertimbangan biaya awal dan pemeliharaan lebih mahal. Sistem *Off-Grid* memiliki skema kerja sebagai berikut:

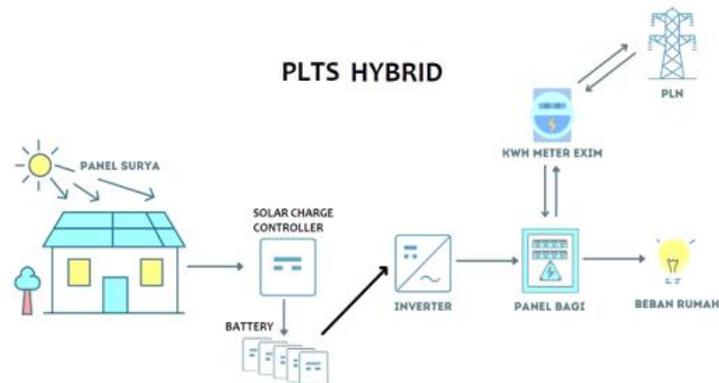
## PLTS OFF GRID



Gambar 2. 3 Skema PLTS sistem *Off-Grid*

### 3. Sistem *Hybrid*

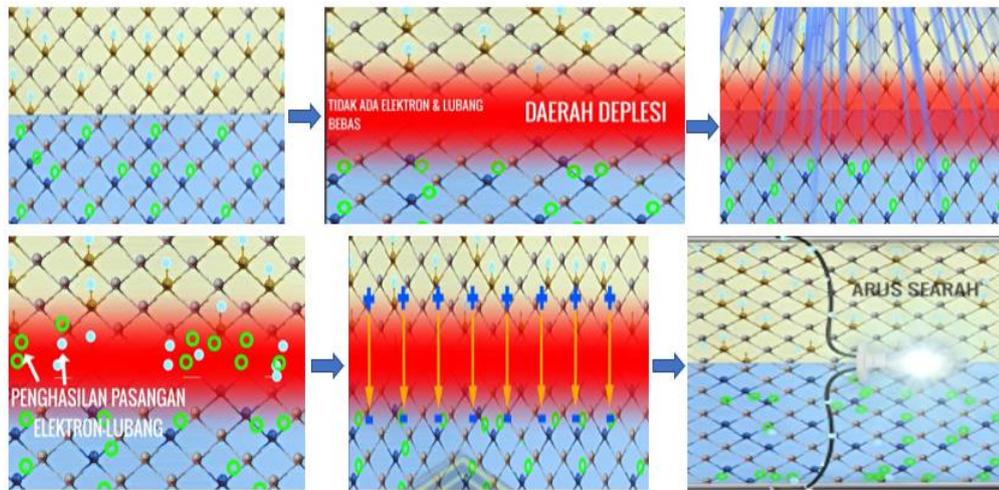
Sistem *Hybrid* adalah sistem yang menggabungkan sistem *Off-Grid* dan *On-Grid* pada energi matahari dari panel surya dengan sumber energi lain, umumnya PLTS sistem hybrid dikombinasikan dengan jaringan listrik PLN atau Generator Set. Sistem ini dirancang sebagai bentuk untuk memaksimalkan penggunaan energi terbarukan dari PLTS dan menyediakan cadangan listrik saat akan dibutuhkan. Dengan kontribusi secara maksimal untuk menyuplai beban pada siang hari, serta dilengkapi dengan baterai sebagai *buffer* atau *stabilizer* agar tidak mengganggu sistem kelistrikan yang sudah ada. Dengan adanya baterai, sistem ini dapat memberikan energi ke beban selama periode siang atau malam tanpa resiko eksisting sistem terganggu. Sistem *hybrid* ditujukan untuk menambah jam operasional sistem yang ada dan terbilang sistem yang kompleks, maka sistem ini relatif mahal. Contoh gambar skema kerja dari PLTS sistem *hybrid* sebagai berikut:



Gambar 2. 4 Skema PLTS Sistem *Hybrid*

### 2.3 Panel Surya

Panel surya atau modul surya adalah gabungan dari beberapa sel surya yang tersusun secara seri yang dilapisi dengan kaca pelindung dan bingkai. Kemudian, sel surya yaitu komponen penyusun terkecil dari panel surya yang bersifat semikonduktor dan bertugas mengonversikan energi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik. Cahaya matahari yang terdiri dari foton (partikel-partikel energi), foton membawa energi yang bergantung pada panjang gelombang cahaya. Sedangkan silikon pada semikonduktor sel surya memiliki pita energi (pita valensi dan pita konduksi) yang mencegah elektron bergerak bebas tanpa energi tambahan. Maka hal tersebut, ketika foton dari cahaya matahari mengenai permukaan sel surya yang bersifat semikonduktor. Jika energi foton cukup besar (lebih tinggi dari pita energi milik semikonduktor sel surya), foton akan memberikan energinya kepada elektron dimana hal ini menyebabkan elektron elonjak dari pita valensi (terikat) ke pita konduksi (bergerak bebas) yang menciptakan pasangan elektron (partikel bermuatan negatif pada pita konduksi)-lubang (posisi kosong yang ditinggalkan electron pada pita valensi yang bermuatan positif) proses tersebut disebut fotovoltaiik.



Gambar 2. 5 Prinsip Kerja Panel Surya (PV)

Sel surya dirancang dengan sambungan p-n junction, yaitu sambungan antara dua jenis material semikonduktor dimana type-p bagian lubang dan type-n bagian elektron. Di antara sambungan type-p dan type-n merupakan daerah deplesi yang terdapat medan listrik internal yang memisahkan kedua type dan menarik elektron ke sisi type-n menjadi bermuatan positif dan lubang ditarik ke sisi type-p menjadi bermuatan negatif. Pada saat cahaya matahari yang mengandung foton mengenai p-n junction melalui sisi type-n menembus daerah deplesi menjadikan konsentrasi pasangan elektron-lubang menjadi tinggi sehingga perbedaan potensial akan terbentuk, sehingga Ketika ada koneksi eksternal (kebel dan beban) elektron akan mengalir melalui sirkuit luar dari sisi n ke sisi p. Pergerakan tersebut membentuk aliran listrik searah (DC). Komponen sel surya memiliki macam-macam jenis yang umum digunakan antara lain sebagai berikut:

#### 1. Sel Surya *Monocrystalline*

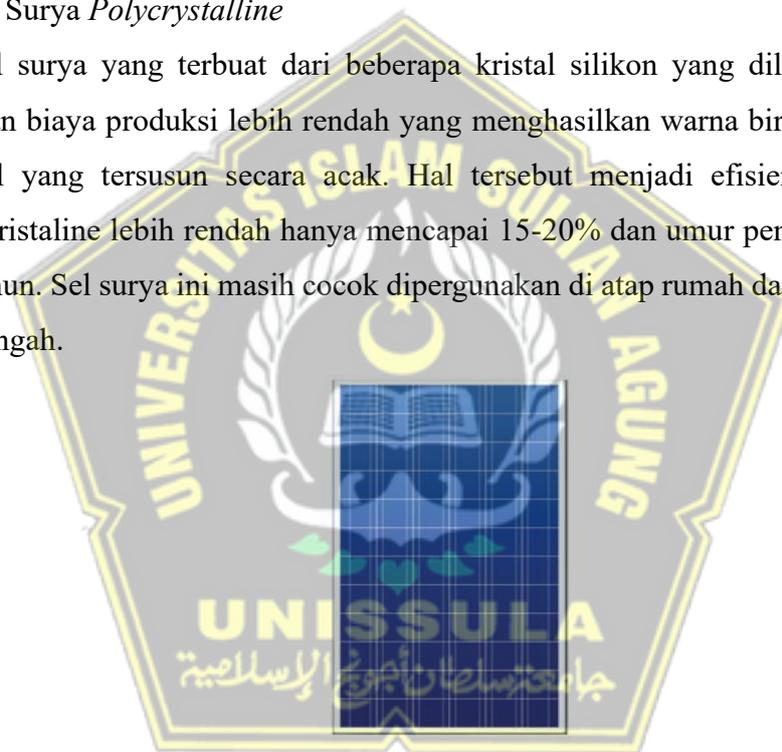
Sel surya ini terbuat dari silikon dengan struktural kristal tunggal dengan warna hitam gelap dengan bentuk sel segi empat berujung bulat. Sel surya ini merupakan paling efisien di antara jenis silicon lain dengan efisiensi mencapai 20-24% dan umur lebih dari 25 tahun pemakaian, namun perlu diingat bahwa proses produksi yang mahal dan limbah material lebih banyak. Jadi sel surya jenis ini cocok diaplikasikan pada lingkup yang cukup besar, yakni di atap bangunan besar seperti gedung perkantoran atau pemabngkit listrik besar.



Gambar 2. 6 Sel Surya *Monocrystalline*

## 2. Sel Surya *Polycrystalline*

Sel surya yang terbuat dari beberapa kristal silikon yang dilebur bersama, dengan biaya produksi lebih rendah yang menghasilkan warna biru dengan pola kristal yang tersusun secara acak. Hal tersebut menjadi efisiensi Sel Surya Polycrystalline lebih rendah hanya mencapai 15-20% dan umur pemakain sampai 20 tahun. Sel surya ini masih cocok dipergunakan di atap rumah dan proyek skala menengah.



Gambar 2. 7 Sel Surya *Polycrystalline*

## 3. Sel Surya *Thin Film*

Sel Surya dengan tingkat efisiensi yang sangat rendah berkisar antara 4-12%, terbuat dari lapisan tipis semikonduktor yang diaplikasikan pada substrat kaca, plastik atau logam. Meskipun sel surya jenis ini sangat fleksible dan ringan serta biaya produksinya yang relatif rendah, namun memerlukan ruang yang lebih luas untuk menghasilkan daya yang sama seperti jenis lain. Hal ini menjadikan sel surya jenis ini hanya sesuai untuk dipergunakan pada peralatan dan benda portable.



Gambar 2. 8 Sel Surya *Thin Film*

Kemudian susunan dari sel surya yang dirangkai seri tersebut membentuk satu kesatuan panel surya atau modul surya yang dilengkapi dengan beberapa komponen lain pada konstruksinya. Berikut adalah komponen penyusun dari modul surya dan fungsinya:

- a. Bingkai atau *Frame*, terbuat dari aluminium *anodized* yang berfungsi untuk memudahkan pemasangan karengan ringan dan menambah kekuatan dari modul agar lebih kokoh serta terhindar dari korosi, selain itu bingkai dipasang agar modul lebih terlindungi dari kondisi lingkungan yang tidak tentu.
- b. *Glass* atau lapisan kaca pelindung, berfungsi untuk melindungi modul dari debu, kotoran, tetesan curah hujan yang tinggi serta benturan atau goresan terhadap benda lain. Terbuat dari lapisan kaca pelindung yang transparan untuk memungkinkan cahaya matahari menembus ke sel surya dengan minim hambatan.
- c. Lapisan Anti-Reflektif, berfungsi mengurangi refleksi cahaya pada permukaan modul yang memungkinkan lebih banyak energi matahari yang diserap oleh sel surya.
- d. Lamina (*Encapsulate EVA*), lapisan yang transparan ini melapisi dan menyegel sel surya untuk melindungi dari kelembaban, udara dan kotoran serta menjaga kondisi struktur sel surya terhadap komponen penyusun lain.
- e. Sel Surya (*Solar Cell*), merupakan komponen utama dari modul surya yang berperan mengonversi energi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik. Sel surya ini terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon,

yang tersusun secara seri atau paralel menyesuaikan konfigurasi terhadap kebutuhan kapasitas yang telah ditentukan.

- f. Lembar Insulasi (*Backsheet*), lapisan belakang yang terbuat dari bahan polimer yang berfungsi untuk melindungi bagian belakang dari kelembaban dan kerusakan mekanis. Selain itu, *Backsheet* juga sebagai isolasi arus listrik pada modul surya.
- g. Kotak Penghubung (*Junction box*), sebagai tempat atau terminal penghubung antar serangkaian modul surya ke beban atau ke modul surya lainnya. Terdiri dari kawat busbar dari rangkaian modul surya, kabel penghantar, dan *bypass diode*.



Gambar 2. 9 Sistem *String Inverter*

Dalam penyusunan beberapa panel surya atau disebut dengan *solar array* agar sesuai dengan kapasitas energi listrik yang dibutuhkan dan dapat bekerja secara optimal, maka perlu memperhatikan beberapa perhitungan atau persamaan dengan rumus-rumus yang perlu diketahui antara lain:

### 1. Perhitungan Daya

$$P_{max\ t'} = P_{max-P\ saat\ \Delta t'} \dots \dots \dots \text{(persamaan 1)}$$

Keterangan:

$P_{max\ t'}$  : Daya Maks. pada saat temperatur tertentu (W)

$P_{max}$  : Daya Maks. panel surya (W)

$P\ saat\ \Delta t'$  : Daya pada saat temperatur tertentu (W)

$\Delta t'$  : Perubahan temperatur intensitas matahari ( $^{\circ}C$ )

## 2. Perhitungan Faktor Koreksi Temperatur

$$FKT = P_{max} t' / P_{max} \dots \dots \dots (\text{persamaan 2})$$

Keterangan:

FKT : Faktor koreksi temperatur (%)

$P_{max} t'$  : Daya Maks. pada saat suhu tertentu (W)

$P_{max}$  : Daya Maks. panel surya (W)

## 3. Perhitungan Luas Solar Array

$$\text{Luas Solar Array} = EL / (Gav \times \eta_{PV} \times \eta_{Out} \times FKT) \dots \dots \dots (\text{persamaan 3})$$

Keterangan:

Luas Solar Array : Luas solar array ( $m^2$ )

EL : Energi yang dihasilkan per hari (kWh/hari)

Gav : Intensitas Matahari

$\eta_{PV}$  : Efisiensi panel surya (%)

$\eta_{Out}$  : Efisiensi keluaran sistem

FK : Faktor koreksi temperatur (%)

Dari beberapa persamaan di atas, dapat untuk menentukan seberapa besar daya yang dapat dihasilkan oleh panel surya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{wattpeak} = \text{Luas array} \times PSI \times \eta_{PV} \dots \dots \dots (\text{persamaan 4})$$

Keterangan:

$P_{wattpeak}$  : Daya yang dapat dihasilkan (W)

Luas Solar Array : Luas solar array ( $m^2$ )

PSI : Peak Solar Insulation ( $1000 \text{ W}/m^2$ )

$\eta_{PV}$  : Efisiensi panel surya (%)

Dari daya yang dapat dihasilkan oleh panel surya, maka dapat menentukan jumlah panel surya yang akan digunakan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Jumlah Panel Surya} = (P_{wattpeak}) / (P_{max}) \dots \dots \dots (\text{persamaan 5})$$

Keterangan:

$P_{wattpeak}$  : Daya yang dapat dihasilkan (W)

$P_{max}$  : Daya Maks. panel surya (W)

Setelah itu, dapat menentukan seberapa besar presentase efisiensi yang dapat disuplai dari sistem PLTS terhadap konsumsi daya harian dengan berdasarkan energi yang dapat dihasilkan dan pengaruh intensitas matahari dengan persamaan berikut:

$$\eta(\text{Efisiensi PLTS}) = E_{\text{Out}} / (\text{Pemakaian puncak E. Lis harian}) \dots\dots\dots (\text{persamaan 6})$$

Keterangan:

$E_{\text{Out}}$  : Energi keluaran yang dipengaruhi intensitas matahari (W)

$E_{\text{in}}$  : Energi masuk (W)

$E_{\text{in}}$  : Jumlah panel x P saat  $\Delta t'$  (W)

$G_{\text{av}}$  : Intensitas radiasi matahari ( $\text{kWh/m}^2/\text{hari}$ )

$\eta$  : Nilai efisiensi yang dapat dihasilkan PLTS (%)

Setelah melakukan perhitungan luas *solar array* dengan beberapa persamaan di atas, perlu diperhatikan dalam penyusunan panel surya dapat menggunakan beberapa konfigurasi dalam menghubungkan antar panel surya agar mendapatkan arus, tegangan dan juga daya yang akan dihasilkan. Berikut adalah beberapa cara menghubungkan panel surya antara lain:

#### 1. Rangkaian Seri

Rangkaian penghubung seri dalam modul surya didapat apabila bagian depan kutub positif (+) dari modul surya pertama dihubungkan dengan bagian belakang kutub negatif (-) dari modul surya ke dua dan seterusnya. Dengan menggunakan rangkaian seri akan memberikan pengaruh pada tegangan yang dihasilkan, yakni akan bertambah sesuai dengan total jumlah tegangan pada seluruh modul surya yang terhubung.

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_n \dots\dots\dots (\text{persamaan 7})$$

Kemudian untuk arus yang dihasilkan pada rangkaian seri akan tetap dan tidak terpengaruh anantara modul surya satu dengan yang lainnya akan tetap sama.

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I_n \dots\dots\dots (\text{persamaan 8})$$



Gambar 2. 10 Rangkaian Seri Panel Surya

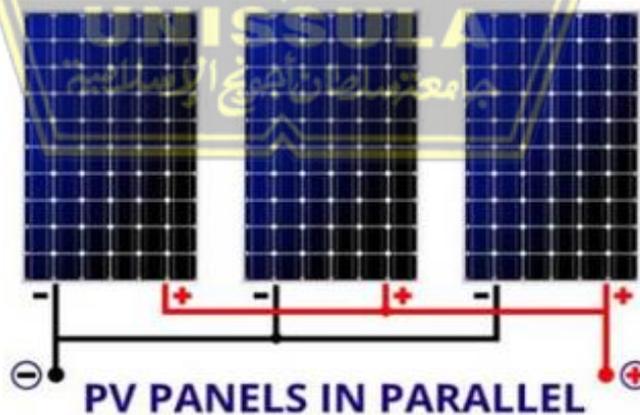
## 2. Rangkaian Paralel

Rangkaian penghubung paralel diperoleh apabila kutub positif (+) dan kutub negatif dari modul surya dihubungkan satu sama lain. Dalam cara hubungan paralel ini berkebalikan dengan hubungan seri, yaitu akan mempengaruhi arus listrik yang dihasilkan. Sehingga arus yang ada akan bertambah sesuai pada jumlah total dari seluruh modul surya yang terhubung dengan rangkain ini.

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_n \dots \dots \dots \text{(persamaan 9)}$$

Kemudian dengan rangkaian penghubung ini tidak mempengaruhi hasil dari tegangan dan akan tetap sama antara modul surya satu dengan yang lainnya.

$$V_t = V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = V_n \dots \dots \dots \text{(persamaan 10)}$$



Gambar 2. 11 Rangkaian Paralel Panel Surya

Setelah terbentuk susunan panel surya dengan kapasitas energi listrik yang sesuai antara arus, tegangan dan daya yang dibutuhkan, maka perlu diingat ada beberap faktor yang dapat mempengaruhi dari kinerja panel surya dalam

menyerap energi matahari. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kinerja dari panel surya diantaranya sebagai berikut[6]:

#### 1. Lokasi Pemasangan Panel Surya

Kinerja dari suatu panel surya akan meningkat atau menurun yang dipengaruhi pada penempatan panel surya itu sendiri. Bahwa panel surya menyerap energi matahari dengan melalui intensitas cahaya matahari, maka penempatan panel surya harus pada tempat yang terbuka tidak terhalangi oleh benda, pohon ataupun bayangan lain yang akan menghalangi cahaya matahari masuk. Selain itu juga kondisi dari lokasi pemasangan apakah bersih atau kotor dan berdebu juga dapat mempengaruhi dari kinerja panel surya.

#### 2. Kondisi Cuaca

Kinerja panel surya sangat bergantung pada kondisi cuaca yang terjadi seperti cerah, berawan atau hujan. Dengan kondisi cuaca yang tidak mendukung dapat mengurangi jumlah energi matahari yang dapat terserap panel surya. Selain itu, disaat kondisi cuaca mendukung, maka akan memberikan intensitas iradiasi matahari yang tinggi yang mempengaruhi kinerja dari panel surya secara signifikan. Semakin tinggi suhu, semakin besar resistansi internal pada panel surya, yang menyebabkan penurunan output daya. Biasanya, efisiensi panel menurun sekitar 0,4% - 0,5% untuk setiap kenaikan suhu di atas 25°C (suhu standar pengujian).

#### 3. Suhu Lingkungan

Meskipun panel surya membutuhkan intensitas matahari, namun suhu yang terlalu tinggi dari sinar matahari sendiri dapat mempengaruhi kinerja dari panel surya.

#### 4. Kualitas Panel Surya

Panel surya terbuat dari berbagai jenis material, seperti silikon monokristalin, polikristalin, atau film tipis. Panel monokristalin cenderung lebih efisien dibandingkan jenis lainnya, tetapi harganya lebih tinggi. Selain itu, kualitas

material dan teknologi manufaktur juga mempengaruhi efisiensi dan daya tahan panel.

#### 5. Efisiensi *Inverter*

Pada sistem PLTS, energi listrik yang dihasilkan dalam bentuk arus searah (DC) harus diubah menjadi arus bolak-balik (AC) menggunakan *inverter*. Efisiensi *inverter* menentukan seberapa banyak energi yang dapat dimanfaatkan setelah konversi

#### 6. Degradasi Material

Seiring berjalannya waktu, panel surya mengalami degradasi material. Hal tersebut yang menyebabkan penurunan kinerja dari panel surya. Pada umumnya efisiensi panel menurun sekitar 0,5% per tahun, meskipun ini tergantung pada kualitas dan perawatan panel.

#### 7. Pemasangan dan Perawatan

Pemasangan yang tidak tepat, seperti sambungan listrik yang buruk atau sistem pemasangan yang tidak stabil, dapat mengurangi efisiensi panel. Perawatan rutin, termasuk pembersihan dan pemeriksaan komponen, penting untuk menjaga kinerja optimal.

### 2.4 Kabel Penghantar

Kabel Penghantar merupakan komponen yang bersifat konduktor berfungsi sebagai media yang menghantarkan arus listrik pada suatu sistem kelistrikan. Kabel penghantar sendiri memiliki beberapa macam tipe yang dikelompokkan menjadi beberapa jenis yang dibedakan dari jenis isolasi, jenis bahan konduktor, dan juga jumlah dari inti kabel serta cara dan lokasi pengaplikasiannya. Dengan demikian dalam perencanaan sistem PLTS perlu memperhitungkan kapasitas (kuat hantar arus) untuk mempertimbangkan dalam pemilihan dan penentuan dari kabel yang akan dipakai. Dalam perencanaan sistem PLTS ini memerlukan beberapa jenis kabel penghantar yang dikelompokkan berdasarkan jenis arus listrik yang dapat dihantarkan antara lain sebagai berikut:

## 1. Kabel Penghantar Arus DC



Gambar 2. 12 Kabel DC (PV1-1)

Kabel ini dirancang untuk media penghantar arus DC pada sistem PLTS di beberapa komponen saja, seperti hubungan antar modul surya serta output panel surya dengan input *inverter*, baterai dan atau MPPT. Kabel penghantar arus DC harus memenuhi syarat standar (seperti IEC, NEC atau SNI) dalam perencanaan sistem PLTS, diantaranya:

- a. Kabel berinti tembaga atau aluminium dengan isolasi khusus yang tahan dengan sinar matahari (sinar UV), guna mencegah kerusakan dari paparan sinar matahari dengan jangka Panjang.
- b. Kabel dengan ketahanan terhadap ozon dan suhu ekstrim dampak dari perubahan siklus cuaca. Biasanya diuji dengan kisaran suhu operasi antara  $-40^{\circ}\text{C}$  sampai  $90^{\circ}\text{C}$  (untuk operasi normal) dan juga bisa sampai  $120^{\circ}\text{C}$  (untuk keadaan darurat sesaat).
- c. Kabel yang harus tahan terhadap goresan tekanan mekanis dan juga fleksibel.
- d. Kabel harus mampu menangani tegangan DC pada sistem PLTS yang bisa mencapai 1.5 kV atau lebih tergantung pada desain sistem.
- e. Kabel juga harus tahan terhadap api atau dengan tidak mudah terbakar (flame-retardant), guna mencegah kabel dari kebakaran jika terjadi korsleting.

Beberapa syarat tersebut menjadi acuan dalam pemilihan dan penentuan kabel sebagai media penghantar arus DC pada sistem PLTS. Ada beberapa jenis kabel yang umum digunakan dalam sistem PLTS seperti; PV1-F, H1Z2Z2-K, dan XLPE kabel DC. Setelah menentukan jenis kabel penghantar DC perlu memperhatikan

ukuran luas penampangnya agar mengetahui Kuat Hantar Arus (KHA) dari kabel jenis tersebut. Dengan melihat tabel spesifikasi pada jenis kabel sebagai berikut:

Tabel 2. 1 KHA PV1-F (Data PUIL 2011)

No.	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	KHA Udara Terbuka (A)
1	1.5	20
2	2.5	26
3	4.0	35
4	6.0	45
5	10	60
6	16	80
7	25	105
8	35	125
9	50	150
10	70	190
11	95	230
12	120	270
13	150	310
14	185	360
15	240	420
16	300	480
17	400	580

## 2. Kabel Penghantar Arus AC

Kabel penghantar yang didesain dapat menghantarkan arus listrik AC pada sistem PLTS dari output *inverter* menuju panel combainer dari jaringan distribusi sampai pada beban yang terpasang. Kabel penghantar AC memiliki banyak jenis, umumnya kabel yang digunakan dalam sistem PLTS diantaranya:

a. Kabel NYAF



Gambar 2. 13 Kabel NYAF

Kabel NYAF merupakan singkatan dari istilah yang menggambarkan karakteristik dan komponen kabel tersebut. Kabel NYAF adalah jenis kabel yang menggunakan konduktor tembaga (Cu) dengan serabut halus sebagai inti kabel untuk penghantar arus listrik. Kabel ini diisolasi dengan material PVC (Polivinil Klorida) untuk mencegah dari kebocoran arus listrik, serta dirancang khusus untuk memiliki tingkat fleksibilitas yang sangat tinggi. Kabel ini sangat ideal untuk instalasi yang memerlukan banyak belokan, jalur sempit, atau koneksi ke perangkat yang sering bergerak. Meskipun kabel ini memberikan ketahanan yang baik terhadap pengaruh lingkungan internal seperti kelembaban ringan, serta memiliki kekuatan ketahanan mekanik yang cukup untuk menahan tekukan dan vibrasi, namun penggunaannya umumnya terbatas pada aplikasi di dalam ruangan atau di dalam konduit pelindung.

Tabel 2. 2 KHA NYAF (Data PUIL 2011)

No.	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	KHA Udara Terbuka (A)
1.	0.5	5
2.	0.75	8
3.	1.0	13
4.	1.5	19
5.	2.5	26
6.	4	34
7.	6	44
8.	10	61
9.	16	82

10.	25	108
11.	35	135
12.	50	167
13.	70	210
14.	95	255
15.	120	297
16.	150	340
17.	185	388
18.	240	465
19.	300	540
20.	400	640

b. Kabel NYY



Gambar 2. 14 Kabel NYY

Kabel NYY merupakan singkatan dari istilah yang menggambarkan karakteristik dan komponen kabel tersebut. Kabel NYY adalah jenis kabel yang menggunakan konduktor tembaga (Cu) sebagai inti kabel untuk penghantar arus listrik. Kabel ini diisolasi dengan material PVC (Polivinil Klorida) untuk mencegah dari kebocoran arus listrik, serta dilindungi oleh selubung PVC eksternal. Kabel ini dirancang untuk instalasi atap, baik dalam maupun luar ruangan, serta juga dapat ditanam didalam tanah dengan perlindungan yang memadai. Meskipun kabel ini memberikan resistansi yang baik terhadap ketahanan dari pengaruh lingkungan seperti kelembaban dan air, serta memiliki kekuatan ketahanan mekanik yang cukup untuk menahan tekanan dan benturan.

Tabel 2. 3 KHA NYU (Data PUIL 2011)

No.	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	KHA Udara Terbuka (A)
1.	1.5	23
2.	2.5	31
3.	4	42
4.	6	54
5.	10	74
6.	16	99
7.	25	130
8.	35	160
9.	50	198
10.	70	245
11.	95	295
12.	120	340
13.	150	390
14.	185	450
15.	240	530
16.	300	610
17.	400	720

## 2.5 Inverter



Gambar 2. 15 Inverter

*Inverter* merupakan komponen penting dalam sistem PLTS, berupa perangkat yang bertugas untuk mengkonversi arus listrik searah (DC) yang dihasilkan dari

panel surya menjadi arus listrik bolak-balik (AC) yang hasilnya telah disesuaikan dengan karakteristik pada jaringan distribusi PLN. *Inverter* memiliki banyak peran penting selain mengubah arus listrik DC menjadi AC dan mensinkronkan dengan jaringan distribusi PLN, *Inverter* juga memiliki peran untuk melacak titik daya maksimum melalui algoritma MPPT secara dinamis untuk mengoptimalkan daya yang disalurkan dari panel surya untuk memaksimalkan produksi energi. Berdasarkan cara kerjanya, *Inverter* dalam sistem PLTS dibedakan menjadi beberapa jenis diantaranya sebagai berikut:

#### 1. *Inverter On-Grid (Grid-Tie Inverter)*

*Inverter On-Grid* bekerja dengan mensinkronkan output AC yang dihasilkan dengan frekuensi dan tegangan jaringan listrik PLN yakni, dengan terkoneksi dan beroperasi selaras dengan jaringan listrik. Ketika panel surya menghasilkan arus listrik, *Inverter* akan mengubahnya menjadi AC dan terhubung serta menyalurkannya ke jaringan listrik PLN tanpa melalui baterai. Jika produksi listrik dari panel surya melebihi kebutuhan konsumsi, kelebihan listrik tersebut dapat disalurkan kembali ke jaringan PLN (ekspor listrik), yang dapat dihitung sebagai pengurangan tagihan listrik konsumen. Sebaliknya, jika produksi listrik dari panel surya kurang dari kebutuhan, kekurangan tersebut akan disuplai oleh jaringan PLN.

Dengan cara kerja tanpa baterai *inverter* ini relatif lebih ekonomis dari segi biaya awal dan lebih efisien karena tidak ada energi yang hilang dalam proses pengisian dan pengosongan baterai. Namun, perlu diingat syarat utama *inverter* ini harus ada koneksi ke jaringan listrik PLN, jika listrik PLN padam maka sistem *Inverter On-Grid* akan otomatis tidak bekerja sebagai bentuk keamanan (menjaga keamanan petugas PLN jika sedang perawatan atau perbaikan jaringan listrik PLN) atau bisa disebut anti-islanding. Selain itu, sistem ini bekerja hanya pada saat ada sinar matahari saja atau pada saat cuaca yang cerah dan tidak dapat beroperasi pada saat malam hari.

#### 2. *Inverter Off-Grid (Stand-Alone Inverter)*

*Inverter Off-Grid* bekerja secara independen dan tidak terhubung dengan jaringan listrik PLN. Listrik yang dihasilkan oleh panel surya akan disimpan ke

baterai dan diubah menjadi AC oleh *Inverter* lalu digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban listrik. Kelebihan energi yang dihasilkan akan disimpan pada baterai untuk dapat digunakan kembali pada saat yang diinginkan atau kondisi tertentu (malam hari atau cuaca mendung). Dengan menggunakan sistem *Off-Grid* pada instalasi PLTS, terbilang relatif lebih mahal dibandingkan dengan sistem *On-Grid*, karena tambahan dari komponen baterai, charger controller dan sistem monitoring baterai. Selain itu, perlu menghitung dengan cermat mengenai kapasitas baterai untuk mencukupi beban listrik yang diperlukan.

### 3. *Inverter Hybrid*

Selain *On-Grid* dan *Off-Grid*, ada juga *Inverter Hybrid*, dengan menggabungkan cara kerja dari kedua jenis *inverter* sebelumnya. *Inverter Hybrid* dapat terhubung ke jaringan listrik PLN sekaligus memiliki kemampuan untuk menyimpan energi dalam baterai. Sistem *hybrid* memberikan fleksibilitas yang lebih besar, yaitu dapat mengurangi tagihan listrik seperti sistem *On-Grid* dan tetap memiliki fungsi dari sistem *Off-Grid* yang dapat menyimpan energi sebagai cadangan listrik saat ingin digunakan dalam kondisi tertentu (malam hari atau jaringan listrik PLN padam). Dengan penggabungan sistem menjadi kelebihan *inverter* ini, namun dengan fitur yang sangat kompleks tersebut menjadikan biaya dari sistem *Inverter* ini menjadi lebih mahal dari sistem sebelumnya.

Kemudian, berdasarkan pada konfigurasi sistem, *Inverter* dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam jenis, diantaranya:

#### 1. *Inverter String*

*Inverter String* adalah tipe *Inverter* yang paling umum digunakan dalam sistem PLTS. *Inverter* ini terhubung dengan beberapa panel surya yang disusun dalam satu String. Dengan prinsip kerja mengonversi arus listrik DC dari panel surya menjadi arus listrik AC melalui *String* yang terhubung antar panel surya dengan *inverter*. Kelebihan dari *Inverter* ini yaitu biasanya yang relatif lebih rendah dan kemudahan dalam perawatannya. Namun, jika salah satu panel mengalami penurunan kinerja akibat kerusakan, maka seluruh *String* akan terpengaruh dan mengurangi dari pada efisiensi sistem.

## 2. *Inverter Micro*

*Inverter Micro* berfungsi dengan cara yang berbeda dibandingkan dengan *Inverter String*. Setiap panel surya dilengkapi dengan *Inverter Micro* sendiri, yang mengonversi daya DC menjadi AC secara individual. Dengan cara ini, jika satu panel surya mengalami masalah tidak akan mempengaruhi panel surya lain dan tetap beroperasi secara optimal. *Inverter* ini lebih cocok untuk kondisi atap yang terbatas atau terpapar bayangan.

## 3. *Inverter Central*

*Inverter Central* adalah tipe *Inverter* yang dirancang untuk sistem PLTS yang berskala besar, seperti proyek komersial atau utilitas. *Inverter* ini mampu menangani daya dalam kapasitas tinggi dan biasanya dipasang di lokasi terpisah dari panel surya. Seperti *Inverter string*, *Inverter central* mengonversi arus listrik DC menjadi AC, tetapi dengan jumlah atau dengan skala yang jauh lebih besar. *Inverter central* membutuhkan biaya yang lebih tinggi, namun dengan menawarkan kapasitas lebih tinggi menjadi kelebihan dari *inverter* ini, serta memberikan efisiensi operasional yang baik pada skala besar.

Setelah menentukan sistem PLTS dan konfigurasi perlu mengetahui beberapa hal untuk memilih *Inverter* yang tepat dan sesuai. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk memilih *Inverter* sebagai berikut:

1. Memperhatikan kapasitas input MPPT (jumlah *string*) *Inverter* seperti; Tegangan input minimum dan maksimum, serta Arus input maksimumnya.
2. Perhitungan kapasitas *Inverter*, dalam perhitungan kapasitas *Inverter* harus memperhatikan seberapa besar daya yang dibangkitkan dari sistem PLTS (output panel surya) dan aturan resmi nasional maupun internasional yang ada seperti; SNI (Standar Nasional Indonesia - PLN) umumnya memperbolehkan output panel surya lebih besar dari kapasitas *Inverter* sebesar 130%, sedangkan dari NEC (*National Electrical Code* – USA) memperbolehkan kapasitas output panel surya melebihi kapasitas *Inverter* berkisar 120-135%.

## 2.6 Panel Solar AC



Gambar 2. 16 Panel Solar AC

Panel Solar AC berfungsi sebagai sistem kontrol, sistem proteksi dan sistem *monitoring* terhadap output AC dari *inverter* dengan jaringan listrik distribusi PLN sebelum menuju ke beban. Selain itu, dengan adanya panel tersebut dapat mempermudah pada saat terjadi perawatan dan pemeliharaan jaringan listrik baik PLN maupun PLTS. Untuk menyusun panel tersebut memerlukan beberapa komponen utama dalam kotak panel solar AC antara lain sebagai berikut:

### 1. Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)



Gambar 2. 17 Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)

MCCB atau Moulded Case Circuit Breaker, adalah perangkat proteksi listrik yang digunakan untuk melindungi sirkuit listrik dari arus lebih (*Overcurrent*), hubung singkat (*Short Circuit*), dan juga gangguan tanah (*Ground Fault*). MCCB dirancang untuk menangani arus dan tegangan yang lebih tinggi dibandingkan MCB (*Miniature Circuit Breaker*). Dengan kemampuan MCCB, umumnya digunakan dalam aplikasi industri, komersil, dan instalasi listrik berdaya besar.

Kemudian untuk prinsip kerja MCCB bekerja berdasarkan dua prinsip utama antara lain sebagai berikut:

a. Proteksi Termal (*Thermal Protection*)

Proteksi ini bekerja dengan prinsip kerja pemuaian logam akibat panas. Ketika arus listrik yang mengalir melebihi batas yang telah ditentukan dalam waktu yang cukup lama (beban berlebih), elemen bimetal di dalam MCCB akan memuai dan membengkok. Hal tersebut memicu mekanisme trip dan memutus sirkuit. Proteksi termal memberikan perlindungan terhadap beban berlebih yang langsung dalam waktu relatif lama.

b. Proteksi Magnetik (*Magnetic Protection*)

Sedangkan proteksi ini bekerja berdasarkan prinsip gaya elektromagnetik. Ketika terjadi hubung singkat, arus yang mengalir melonjak sangat tinggi. Arus yang tinggi ini akan menghasilkan medan magnet yang kuat, kemudian akan menarik atau mendorong sebuah armature dan memicu mekanisme trip instan. Proteksi magnetik memberikan perlindungan terhadap hubungan singkat yang terjadi secara tiba-tiba.

MCCB merupakan perangkat proteksi yang handal dan serbaguna yang sangat penting dalam sistem distribusi listrik berdaya besar. Pemilihan MCCB yang tepat harus disesuaikan dengan kebutuhan spesifik aplikasi, termasuk besaran arus, tegangan, dan karakteristik beban. Memahami prinsip kerja dan fitur-fitur MCCB sangat penting untuk memastikan proteksi yang efektif dan aman bagi instalasi listrik dan peralatan.

2. *Miniature Circuit Breaker (MCB)*



Gambar 2. 18 *Miniature Circuit Breaker (MCB)*

Sama dengan MCCB, MCB merupakan perangkat proteksi listrik otomatis yang dapat melindungi peralatan dalam sirkuit listrik pada dua kondisi yakni, pada

saat arus lebih (*Overcurrent/Overload*) dan saat terjadi hubung singkat (*Short Circuit*). Namun, dengan dua prinsip kerja yang juga sama (*Thermal Protection dan Magnetic Protection*) dengan MCCB, MCB relatif digunakan dalam skala yang lebih kecil[8].

### 3. *Surge Protection Device (SPD)*



Gambar 2. 19 *Surge Protection Device*

*Surge Protection Device (SPD)* adalah sebuah perangkat pengaman pada instalasi listrik yang berfungsi untuk mengalirkan listrik ke tanah (*Ground*) ketika terjadi tegangan transien/lonjakan tegangan. Tegangan transien ini bisa disebabkan karena berbagai macam hal seperti hubung singkat, konsleting dan lain lain akan tetapi umumnya tegangan transien ini disebabkan karena sambaran petir. Oleh karena itu, SPD ini berfungsi untuk membatasi tegangan lebih dan mengalirkan arus listrik ke tanah (*Ground*) ketika terjadi tegangan transien. Dengan menggunakan ini maka, peralatan listrik atau komponen lain yang sensitif pada sirkuit atau instalasi listrik akan lebih aman dan terlindungi dari kerusakan[10].

### 4. *Current Transformer (CT)*



Gambar 2. 20 *Current Transformer (CT)*

CT (*Current Transformer*) merupakan komponen kelistrikan yang berfungsi sebagai pembaca arus listrik yang mengalir pada kabel penghantar dengan cara mengubah besar arus pada sistem menjadi lebih kecil sesuai spesifikasi skala perbandingan pada CT yang nantinya CT akan dihubungkan pada sistem metering seperti kWh meter atau alat ukur lainnya[9].

## 5. Fuse



Gambar 2. 21 Fuse

*Fuse* atau sekering adalah komponen yang fungsinya sebagai pengaman pada sirkuit elektronik atau perangkat listrik. Sekering ini pada dasarnya terdiri dari elemen logam pendek dan halus yang akan meleleh dan putus jika diluap oleh arus listrik berlebih atau hubungan singkat pada sistem kelistrikan. *Fuse* memberikan respon cepat terhadap arus lebih dan hubung singkat yang melalui dengan putusnya kawat pada *Fuse* agar tidak merusak komponen elektronik yang terhubung. Namun, perlu diketahui bahwa setelah putusnya elemen logam pada *Fuse*, maka komponen tersebut tidak dapat dipakai kembali dan harus diganti. Dengan demikian fungsi dari *Fuse* sendiri adalah untuk melindungi komponen listrik dan peralatan elektronik dari kerusakan akibat hubungan singkat atau arus listrik yang berlebih dan biasa disebut sebagai proteksi cadangan dengan ukuran yang relatif kecil dengan biaya paling murah dibanding dengan proteksi lainnya[8].

## 6. Relay



Gambar 2. 22 Relay

*Relay* adalah sebuah komponen yang bekerja seperti sakelar yang dikendalikan secara elektrik atau disebut sakelar elektromagnetik yang dioperasikan oleh sinyal listrik. Arus listrik yang relatif kecil mengalir pada kumparan *Relay* akan menghasilkan medan magnet yang menarik atau melepaskan kontak sakelar, sehingga menghubungkan atau memutuskan sirkuit dengan arus yang lebih besar. Dalam panel *solar AC*, *Relay* dapat digunakan sebagai pengendali dalam sistem PLTS dengan mengalihkan beban ke sumber jaringan listrik PLN. Selain itu, *Relay* juga dapat berfungsi sebagai proteksi tambahan yang digunakan untuk memutus

hubungan *inverter* secara otomatis jika terjadi gangguan pada jaringan listrik atau kondisi yang tidak normal lainnya, seperti lonjakan tegangan atau frekuensi diluar batas toleransi[9].

#### 7. *Timer*



Gambar 2. 23 *Timer*

*Timer* adalah komponen yang berfungsi untuk mengatur waktu dari operasional sistem dengan menentukan kapan *inverter* mulai aktif atau nonaktif dan menjadi alat sinkronasi dengan *Grid* (dalam sistem PLTS *On-Grid*) dengan membantu mengelola kapan daya dari panel surya harus disalurkan ke sistem jaringan. Selain itu, *Timer* merupakan komponen proteksi dari sistem dengan mengamankan seperti pada saat mengontrol waktu kerja *relay* dalam kondisi lonjakan daya atau anomali lain yang dapat merusak perangkat. Hal tersebut menjadi kelebihan dari komponen *Timer* dengan pengaturan waktu yang tepat, *Timer* dapat membantu memastikan sistem beroperasi pada efisiensi waktu yang optimal.

#### 8. *Power Meter*



Gambar 2. 24 *Power Meter*

*Power Meter* adalah sebuah komponen yang berfungsi untuk mengukur energi listrik yang digunakan atau dihasilkan dalam satuan kilo watt-jam (kWh). Selain itu, *Power Meter* pada panel *solar AC* memiliki fungsi sebagai *monitoring* kinerja sistem pada PLTS yang berupa data energi yang dihasilkan digunakan untuk mengevaluasi efisiensi dan kinerja sistem PLTS dan fungsi sebagai *Net Metering* yang berupa data dari *power meter* digunakan untuk perhitungan *net metering*, yaitu selisih antara energi yang diekspor ke jaringan dan energi yang diimpor dari jaringan[9].

## 9. *Selector switch*



Gambar 2. 25 *Selector switch*

*Selector Switch* atau biasa disebut dengan *Rotary Switch* adalah sakelar yang dioperasikan atau difungsikan dengan cara diputar. Sakelar ini digunakan untuk memilih satu dari dua atau lebih posisi. *Selector Switch* pada dasarnya terdiri dari sebuah spindle atau rotor yang memiliki *shaft* yang memproyeksikan dari posisi terminal yang sedang dipilih. Terminal-terminal ini disusun sedemikian rupa dalam lingkaran di sekitar rotor. Dengan pemilihan posisi *switch* ini, maka terminal akan terhubung dengan salah satu terminal yang aktif, dengan demikian aliran listrik akan mengalir menuju atau menggerakkan beban listrik[9].

## 10. *Push Button* (PB)



Gambar 2. 26 *Push Botttom* (PB)

*Push button* adalah sebuah komponen yang memungkinkan operator untuk secara manual mengontrol fungsi sistem berupa *start/stop*, *reset* dan *emergency* dengan menekan tombol. *Push button* bekerja berdasarkan prinsip kontak mekanis yang menghubungkan atau memutus sirkuit listrik. *Push button* memiliki beberapa jenis seperti; *Normally Open* (NO) *Normally Closed* (NC) dan *Push button* multi fungsi yang terdiri dari NO dan NC.

## 11. Lampu Indikator (*Pilot Lamp*)



Gambar 2. 27 Lampu Indikator (*Pilot Lamp*)

*Pilot Lamp* atau lampu indikator merupakan sebuah lampu LED yang biasa digunakan sebagai indikator dalam rangkaian sistem listrik atau pada peralatan. *Pilot Lamp* tersebut dapat bekerja sebagai mestinya jika dialiri daya AC sebesar 220 VAC dengan toleransi 110–240 VAC. Warna yang dihasilkan *Pilot Lamp* ini adalah lampu putih, karena fungsinya sebagai lampu indikator, *pilot lamp* ini dibuat warna-warni cahayanya dengan menambahkan penutup kaca yang berwarna sehingga tampak dari luar berwarna sinar yang dihasilkan. Pada umumnya warna *Pilot Lamp* ini ada 3 macam yaitu merah, hijau, kuning[9].

## 2.1 Analisa Efisiensi dan Ekonomi Sistem

Setelah mengidentifikasi beban listrik dan konsumsi energi listrik PLN, maka perencanaan PLTS sistem *On-Grid* dapat dilakukan dengan penentuan kapasitas daya panel surya dan *inverter*, serta pemilihan komponen dan bentuk desain PLTS sistem *On-Grid* yang akan digunakan. Setelah tahapan tersebut selesai, perlu melakukan analisis efisiensi dan ekonomi dari sistem. Dengan mengakumulasi biaya investasi awal (*Initial Cost*) mencakup seluruh komponen PLTS sistem *On-Grid* dan menghitung *Cost of Energy* (CoE) per tahun, dengan membandingkan biaya sebelum dan setelah penerapan PLTS sistem *On-Grid*, untuk mengetahui penghematan biaya listrik tahunan. Setelah itu, dapat dilakukannya perhitungan *Return of Investment* (RoI) untuk mengukur tingkat keuntungan dari investasi yang telah dilakukan.

$$\text{ROI (\%)} = \left( \frac{\text{Total Penghematan Tahunan}}{\text{Total Investasi Awal}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (\text{persamaan 11})$$

Kemudian melakukan perhitungan periode pengembalian modal (*Payback Period*), untuk mengetahui periode pengembalian modal (waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik impas dari investasi awal).

$$\text{Payback Period} = \left( \frac{\text{Total Investasi Awal}}{\text{Total Penghematan Tahunan}} \right) \dots\dots\dots (\text{persamaan 12})$$

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Metode Penelitian**

Metode Penelitian berisikan mengenai metode yang dilakukan dalam penyusunan penelitian. Pada penelitian ini, Tugas Akhir yang berjudul Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Sistem *On-Grid* pada Gedung *Workshop* di Politeknik Pekerjaan Umum Semarang. Meskipun PLTS dengan sistem *On-Grid* memiliki beberapa kekurangan dibandingkan dengan sistem *Off-Grid* dan *Hybrid*, karena tidak bisa menyimpan cadangan energi dan hanya bekerja pada saat adanya sinar matahari. Akan tetapi, sistem *On-Grid* dirasa sangat cocok apabila diterapkan sebagai sistem kelistrikan pada Gedung *Workshop* Politeknik Pekerjaan Umum Semarang karena beberapa hal sebagai berikut:

1. Dirasa cocok, karena instansi akademik hanya beroperasi tidak sampai malam hari (waktu normal), sedangkan PLTS sistem *On-Grid* sendiri juga hanya dapat bekerja pada saat adanya cahaya matahari.
2. Sistem terbilang lebih sederhana dan hemat biaya karena tidak memakai baterai serta mudah dalam proses pemasangannya.
3. Sistem kelistrikan pada Gedung *Workshop* akan tetap dapat berjalan dalam keadaan cuaca apapun (kurang sinar matahari), karena masih ada sistem kelistrikan dari distribusi PLN.
4. Karena lebih sederhana tidak memerlukan tempat yang luas untuk penempatan sistem *control* dan *monitoring*, jadi tidak mengganggu atau pun mengurangi tempat untuk proses kegiatan belajar mengajar pada Gedung *Workshop* Politeknik Pekerjaan Umum Semarang.

#### **3.2 Objek Penelitian**

Objek penelitian ini bertempat pada Gedung *Workshop* di Politeknik Pekerjaan Umum Semarang, tepatnya berada di jalan Jl. Soekarno Hatta No.100, Semarang. Objek penelitian merupakan sebuah Gedung Instansi Akademik yang beroperasi

tidak sampai malam hari (waktu normal), menjadi salah satu faktor bagi peneliti untuk membuat studi perencanaan PLTS dengan sistem *On-Grid* yang juga bekerja pada saat adanya cahaya matahari, berikut adalah gambar objek penelitian.



Gambar 3. 1 Denah Objek Penelitian Gedung *Workshop* Politeknik Pekerjaan Umum Semarang

### 3.3 Alat dan Peralatan Penelitian

Agar mempermudah peneliti dalam melaksanakan penelitian ini, perlu menggunakan beberapa peralatan yang digunakan seperti, Perangkat Keras; Laptop HP 240 G8, Hanphone Xiaomi Mi 11 Lite, AVO meter atau Tang Ampere, dan Meteran Roll. Kemudian ada Perangkat Lunak seperti; Microsoft Office, AutoCAD, BMKG, dan Maps.

### 3.4 Metode Pengumpulan Data

Adapun metode-metode yang digunakan untuk pengumpulan data dalam penulisan penelitian ini antara lain sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur adalah metode dengan proses sistematis untuk mengidentifikasi, menganalisis dan mengevaluasi karya ilmiah yang relevan dengan topik yang dibahas dalam penelitian. Tujuan dari melakukan metode ini yakni, dapat memahami konteks teoritis dan praktek terkait topik penelitian, serta mengidentifikasi kesenjangan penelitian yang ada dan dapat membandingkan penelitian dengan studi kasus yang sudah ada. Dengan mencari di jejaring internet banyak karya ilmiah yang relevan untuk dipilih sebagai referensi seperti jurnal-jurnal yang menjelaskan mengenai perencanaan, perancangan atau analisa dari

sistem PLTS *On-Grid*. Selain itu, perlu memperhatikan dan meninjau peraturan resmi yang ada di Indonesia (Peraturan Menteri ESDM No. 02 tahun 2024), serta dapat juga menggunakan Pedoman Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011) sebagai acuan standarisasi kelistrikan pada penelitian ini.

## 2. Observasi

Melakukan observasi dengan cara survei dan wawancara secara langsung ditempat atau lokasi objek penelitian. Dengan cara terjun langsung ke lapangan untuk mengamati kondisi lingkungan dan juga dengan mengetahui letak geografis dari lokasi objek penelitian agar dapat memperhitungkan seberapa besar potensi intensitas matahari pada objek penelitian ini. Selain itu, juga dapat mengumpulkan data secara *real time*, seperti data pemakaian daya atau konsumsi daya terhadap beban yang digunakan. Sebagai tindak lanjut, perlu juga memperhatikan bagaimana kondisi *Roof Top* yang akan jadi tempat panel surya agar mudah dalam penentuan bentuk desain dan komponen-komponen yang akan digunakan.

Dalam sebuah perencanaan perlu diketahui bahwa sebuah perencanaan tidak selalu tepat dan akurat, kendati demikian dengan adanya perencanaan dengan metode pelaksanaan dan langkah yang digunakan sesuai dapat mengurangi dari hal-hal ketidakpastian, karenanya dapat lebih terarah dan juga dapat meningkatkan kinerja serta efisiensi dan efektivitas dalam mencapai tujuan.

### 3.5 Metode Analisis

Metode analisis berupa perhitungan guna untuk mengevaluasi dan mempermudah peneliti dalam mengambil kesimpulan dari hasil penulisan penelitian, metode analisis yang digunakan antara lain sebagai berikut:

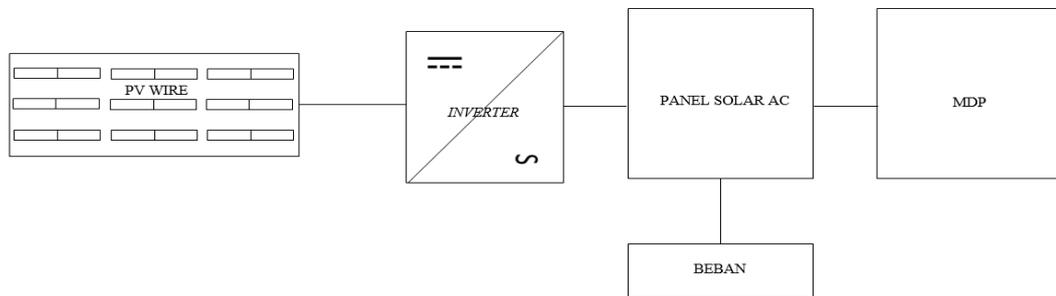
#### 1. Analisis Teknis

Menganalisis secara teknis dengan memperhitungkan data yang didapat setelah observasi seperti data pemakaian daya, sesudah menentukan lokasi dan mengetahui kondisi (bentuk, luas dan kelembapan), serta letak geografis ( $6^{\circ}58'39.6''S$   $110^{\circ}27'01.5''E$ ) dari objek penelitian untuk mendapat data iradiasi matahari dari BMKG. Dengan melakukan beberapa perhitungan sebagai berikut:

- a. Menentukan konsumsi energi listrik rata-rata harian selama satu bulan (Oktober 2024) yang nanti akan menjadi perkiraan dari perencanaan energi yang akan dihasilkan PLTS.
  - b. Menentukan luasan area *array* panel surya yang dibutuhkan supaya mendapatkan susunan panel surya yang tepat dan efisiensi tempat dengan menggunakan perhitungan (Persamaan 3).
  - c. Melakukan perhitungan daya maksimal pembangkitan energi PLTS berdasarkan luasan *array* panel surya yang dapat dituliskan dengan (Persamaan 4).
  - d. Melakukan perhitungan jumlah panel surya yang didasarkan daya maksimal dibagi dengan spesifikasi daya maksimal panel surya yang telah ditentukan atau dituliskan dengan (Persamaan 5).
  - e. Melakukan perhitungan dan penyusunan konfigurasi panel surya sesuai kebutuhan daya maksimal pembangkitan dan spesifikasi *inverter* atau dapat dituliskan dengan perhitungan (persamaan 7,8,9, dan 10).
  - f. Penentuan perhitungan Energi dan hasil efisiensi daya beban yang mampu disuplai PLTS dengan (Persamaan 6).
  - g. Setelah melakukan perhitungan didapatkan hasil untuk menentukan komponen penyusun yang diperlukan.
2. Analisis Efisiensi dan Ekonomi

Setelah melakukan analisis teknis tersebut, didapat hasil perhitungan mengenai jumlah panel surya dan kapasitas *inverter* yang akan digunakan. Kendati demikian, perlu mengevaluasi faktor-faktor (suhu, kondisi, tingkat efisiensi panel surya dan *inverter*) yang dapat mempengaruhi hasil. Dimana hasil akhirnya akan digunakan untuk menganalisis secara efisiensi energi dan ekonomi (penghematan konsumsi listrik PLN) dengan membandingkan konsumsi listrik PLN sebelum dan sesudah penerapan PLTS sistem *On-Grid*, dengan melakukan perhitungan *Return of Investment* (ROI) untuk mengetahui tingkat keuntungan dari investasi yang telah dilakukan (persamaan 11). Kemudian, untuk mengetahui periode pengembalian modal (*Payback Period*) yaitu waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik impas dari investasi awal (persamaan 12).

### 3.6 Design PLTS Sistem PLTS *On-Grid*



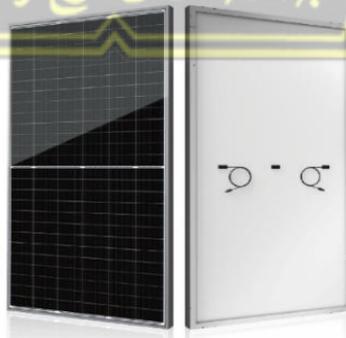
Gambar 3. 2 *Design PLTS Sistem On-Grid*

Dengan menggunakan desain seperti pada gambar 3.2 menunjukkan bahwa perencanaan ini menggunakan satu *inverter* dengan tipe *inverter string*. Dengan menggunakan tipe *inverter string* terbilang lebih sederhana, serta dapat meminimalisir biaya dan memudahkan dalam perawatannya.

### 3.7 Komponen Penyusun PLTS Sistem *On-Grid*

Menentukan komponen utama seperti Panel Surya (*Modul Surya*) dan *Inverter* sebagai perkiraan pada tahap berikutnya dalam perencanaan ini, yang mana komponen tersebut akan digunakan sebagai penyusun dan penentuan untuk konfigurasi dan komponen pelengkap lainnya pada PLTS sistem *On-Grid*. Adapun spesifikasi komponen utama penyusun PLTS sistem *On-Grid* yang perlu diperhatikan sebagai berikut:

1. Modul Surya *Monocrystalline* SERAPHIM 550 BMA HV



Gambar 3. 3 *Solar Module SERAPHIM 550 BMA HV*

Tabel 3. 1 Spesifikasi *Solar Module* SERAPHIM 550 BMA HV

Kategori	Spesifikasi
Model	Seraphim 550 BMA HV
Tipe Sel	Monocrystalline PERC, Half-Cut, Multi-Busbar
Daya Maksimum (Pmax)	550 Wp
Tegangan Maksimum (Vmp)	42.05 V
Arus Maksimum (Imp)	13,08 A
Tegangan Open Circuit (Voc)	49.7 V
Arus Short Circuit (Isc)	14 A
Efisiensi Modul	21.29%
Dimensi dan Berat Modul	$\pm 2278 \times 1134 \times 35$ mm, $\pm 27$ kg
Tipe Konektor	MC4 atau kompatibel
Tegangan Sistem Maksimum	1500V DC
Toleransi Daya	0 hingga +5W
Suhu Operasional	-40°C hingga +85°C
Koefisien Suhu Pmax	-0.35% / °C
Koefisien Suhu Voc	-0.26% / °C
Koefisien Suhu Isc	+0.05% / °C
Jaminan Produk	15 tahun garansi produk

## 2. Inverter On-Grid Sungrow SG110CX

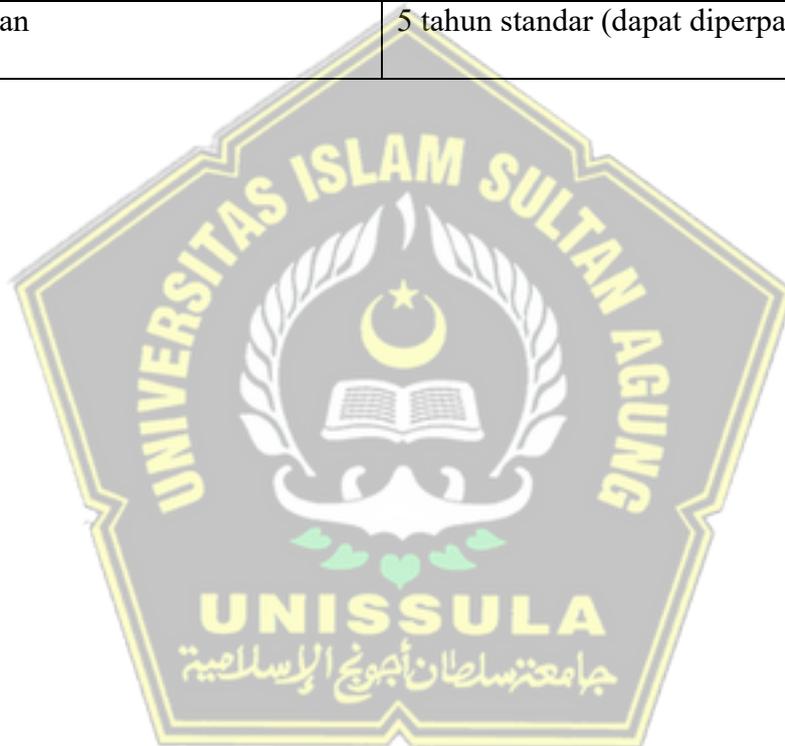


Gambar 3. 4 Inverter On-Grid Sungrow SG110CX

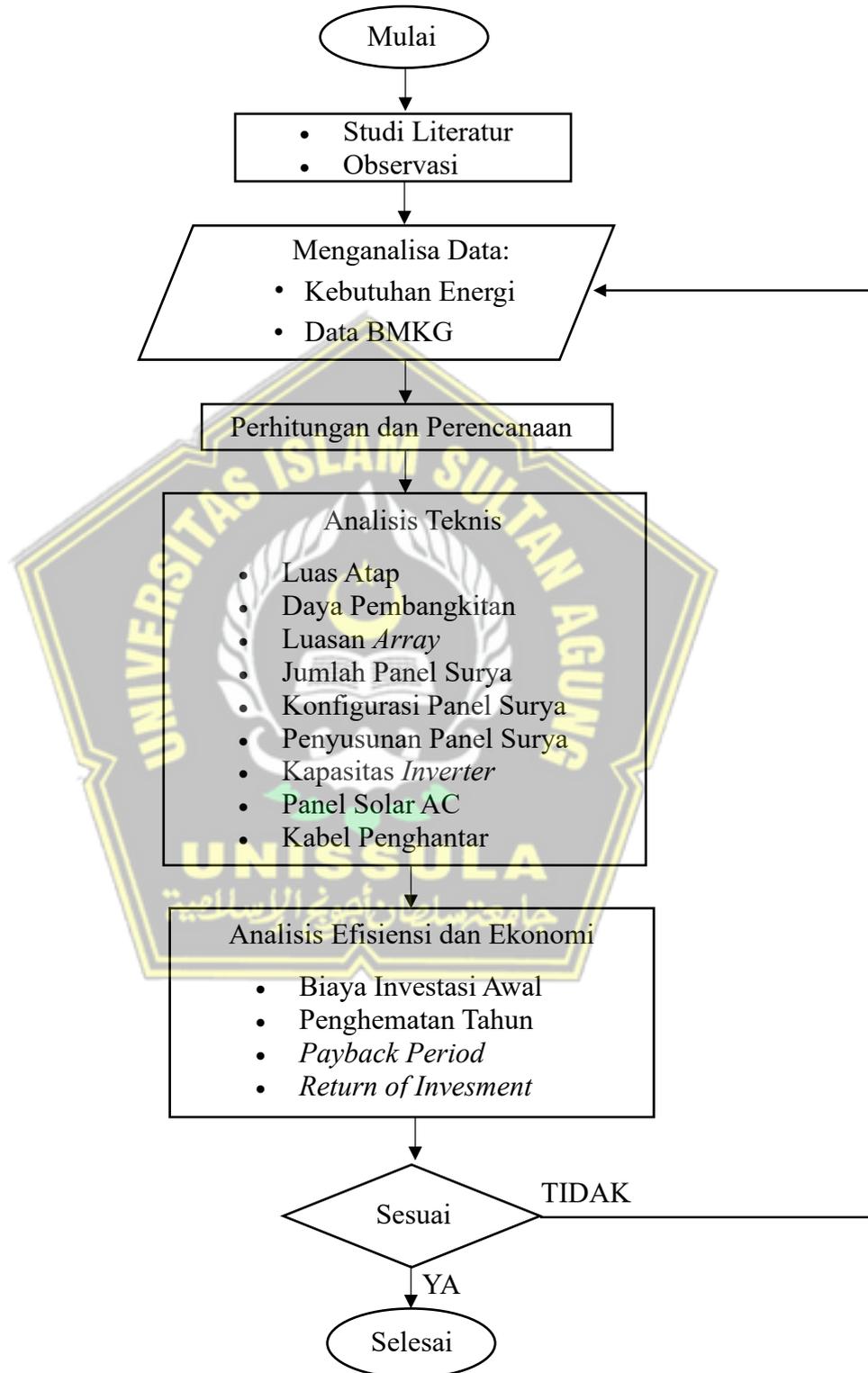
Tabel 3. 2 Inverter On-Grid Sungrow SG110CX

Kategori	Spesifikasi
Model	SUNGROW SG110CX
Tipe Inverter	String Inverter
Daya Output Maksimum	110 kW
Efisiensi Maksimum	98.7%
Tegangan MPPT (DC)	500V - 1000V
Jumlah MPPT (String Input)	9 MPPT (18 String Input)
Arus Maksimum Input perMPPT	26 A
Tegangan Output Nominal (AC)	400V / 3 fase
Frekuensi Nominal (AC)	50/60 Hz
Faktor Daya Output	0.8 Lagging - 0.8 Leading
Distorsi Harmonisa Total (THD)	<3%
Perlindungan Tegangan Lebih	DC Type II / AC Type II SPD
Suhu Operasional	-30°C hingga +60°C
Tingkat Perlindungan	IP66

Pendinginan	Smart Air Cooling
Dimensi (P × L × T), Berat	1,035 × 700 × 365 mm, 79kg
Komunikasi	RS485, Ethernet, Wi-Fi (Opsional)
Monitoring	iSolarCloud (Cloud-based Monitoring)
Fitur Khusus	PID Recovery, Anti-PID Function, Intelligent String Monitoring
Jaminan	5 tahun standar (dapat diperpanjang)



### 3.8 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3. 5 FlowChart Penelitian

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Kebutuhan Energi

Dalam perencanaan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan sistem *On-Grid* di Gedung *Workshop* Politeknik Pekerjaan Umum Semarang, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menganalisis kebutuhan energi listrik yang akan disuplai oleh PLTS. Kebutuhan energi yang telah didapat per satu bulan pada bulan Oktober 2024 dapat dilihat pada table 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Pemakaian Energi Listrik Gedung *Workshop*

Tanggal	Hari	Pemakaian Energi (kWh)
01-10-24	Selasa	1.492,3
02-10-24	Rabu	1.527,4
03-10-24	Kamis	1.589,8
04-10-24	Jumat	1216,8
05-10-24	Sabtu	45,9
06-10-24	Minggu	46
07-10-24	Senin	1.748,9
08-10-24	Selasa	1.682,5
09-10-24	Rabu	1.649,8
10-10-24	Kamis	1.683,2
11-10-24	Jumat	1321,8
12-10-24	Sabtu	46,2
13-10-24	Minggu	46,1
14-10-24	Senin	1.552,1
15-10-24	Selasa	1.538,6
16-10-24	Rabu	1.549,2
17-10-24	Kamis	1.546,8
18-10-24	Jumat	1316,8
19-10-24	Sabtu	45,9

20-10-24	Minggu	46,2
21-10-24	Senin	1.510,1
22-10-24	Selasa	1.484,9
23-10-24	Rabu	1.507,4
24-10-24	Kamis	1.492,6
25-10-24	Jumat	1321.8
26-10-24	Sabtu	46
27-10-24	Minggu	46,2
28-10-24	Senin	1.371,1
29-10-24	Selasa	1.366,3
30-10-24	Rabu	1.378,9
31-10-24	Kamis	1.382,4
Total		34600

Berdasarkan data konsumsi listrik yang diperoleh, maka diambil titik tertinggi pada hari senin tanggal 07 Oktober 2025 dengan nilai sebesar 1.748,9 kWh. Dengan mengambil titik tertinggi bertujuan untuk mendapatkan hasil yang optimal dari perhitungan untuk menentukan desain serta konfigurasi dan komponen penyusun sistem PLTS yang akan digunakan. Dengan sistem PLTS yang dirancang untuk memenuhi sebagian kebutuhan listrik tersebut dengan kontribusi energi terbarukan sebesar 40% dari total konsumsi listrik PLN.

#### 4.2 Data BMKG Radiasi dan Temperatur Udara

Selain data pemakai daya listrik PLN pada Gedung Workshop, perlu juga untuk mengetahui data radiasi sinar matahari dalam perhitungan untuk menentukan perencanaan PLTS sistem *On-Grid*. Data Radiasi matahari diperoleh dari data terbaru BMKG dari tahun 2023. Data tersebut dapat dilihat pada table 4.2 sebagai berikut[11]:

Tabel 4. 2 Data BMKG Provinsi Jawa Tengah

Data BMKG Provinsi Jawa tengah
--------------------------------

Bulan	Radiasi Harian (kWh/m <sup>2</sup> /hari)	Temperatur Udara (°C)
Januari	5,2	27,9
Febuari	5,4	27,8
Maret	5,5	28
Apri	5,7	28,2
Mei	5,9	28,4
Juni	6,1	28,6
Juli	6,3	28,7
Agustus	6,5	28,8
Septiana	6,4	28,7
Oktober	6,2	28,5
November	5,8	28,3
Desember	5,4	28

Dengan mengacu pada data table 4.2 maka diambil titik terendah untuk radiasi sinar matahari agar mendapatkan hasil yang optimal ketika dibandingkan dengan titik yang tertinggi. Dengan mengambil titik terendah dengan nilai sebesar 5.2 kWh/m<sup>2</sup>/hari terjadi pada bulan januari.

#### 4.3 Analisa Teknis

Setelah menentukan desain dan komponen penyusun perencanaan PLTS sistem *On-Grid*, perlu dilakukannya sebuah analisa teknis agar memudahkan dalam pemilihan spesifikasi dari setiap komponen yang akan digunakan. Dengan mengacu pada data yang telah diperoleh dan dasar perencanaan ini yang

ditargetkan mampu mensuplai 40% dari daya pemakaian harian pada Gedung *Workshop*.

### 4.3.1 Luas Atap



Gambar 4. 1 Atap Gedung *Workshop* Tampak Depan

Atap Gedung *Workshop* Politeknik Pekerjaan Umum Semarang memiliki bentuk seperti pada Gambar 4.1, selain itu gedung tersebut diketahui memiliki lebar atap berkisar kurang lebih 40m untuk tinggi atap mencapai 3m. Setelah mengetahui lebar dan tinggi atap dapat ditentukan panjang kemiringan dengan persamaan berikut:

$$\text{Sisi Miring Besar} = \sqrt{\text{Lebar}^2 + \text{Tinggi}^2}$$

$$\text{Sisi Miring Besar} = \sqrt{3^2 + 2^2}$$

$$\text{Sisi Miring Besar} = \sqrt{36} = 6 \text{ m} \times 8 = 48 \text{ m}$$

$$\text{Sisi Miring Kecil} = \sqrt{\text{Lebar}^2 + \text{Tinggi}^2}$$

$$\text{Sisi Miring Kecil} = \sqrt{1,5^2 + 2^2}$$

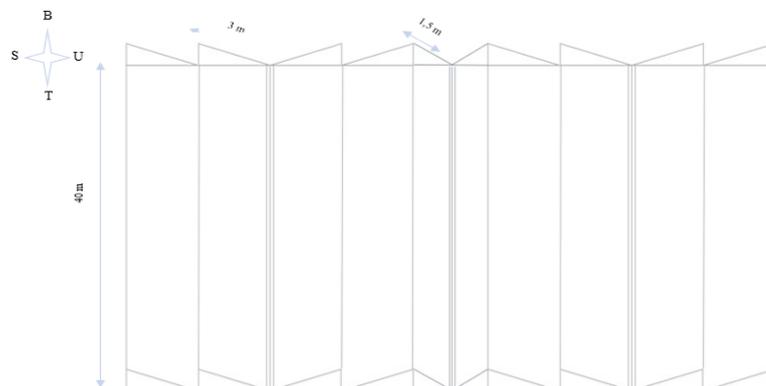
$$\text{Sisi Miring Kecil} = \sqrt{36} = 3 \text{ m} \times 2 = 6 \text{ m}$$

Setelah mengetahui sisi miring sebesar 54 m, maka dapat diketahui luasan keseluruhan atap jika panjang berkisar atap 40 m dengan persamaan berikut:

$$\text{Luas} = 2 \times (\text{panjang} \times \text{sisi miring})$$

$$\text{Luas} = 2 \times (40 \times 54)$$

$$\text{Luas} = 4.320 \text{ m}^2$$



Gambar 4. 2 Atap Gedung *Workshop* Tampak Atas

Dengan demikian didapatkan untuk luasan total atap Gedung *Workshop* mencapai 4.320 m<sup>2</sup>, data luasan atap tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk perhitungan lebih lanjut.

#### 4.3.2 Daya Pembangkitan Panel Surya

Gedung *Workshop* Politeknik Pekerjaan Umum Semarang dapat menghabiskan atau memakai daya listrik PLN mencapai kurang lebih 34600 kWh setiap bulannya. Dengan dasar perencanaan PLTS sistem *On-Grid* yang ditargetkan mampu mensuplai 40% dari pemakaian daya listrik PLN, maka dapat dilakukan perhitungan dengan melihat data pada table 4.1, karena dengan sistem *On-Grid* maka yang akan dipakai sebagai bahan perhitungan adalah nilai tertinggi pada hari dibulan penelitian dilakukan. Dengan nilai sebesar 1479,07 kWh maka 40% dari pemakaiannya dapat hitung dengan persamaan berikut:

$$EL = 40\% \times \text{Pemakaian Daya Tertinggi}$$

$$EL = 40\% \times 1748,9$$

$$EL = 699,56 \text{ kWh}$$

Maka, didapatkan nilai yang akan disuplai PLTS sebesar 699,56 kWh. Bahwasannya dalam perhitungan perlu diketahui temperatur udara, karena dapat mempengaruhi kinerja dari setiap panel surya. Dengan melihat pada table 3.1 Spesifikasi Panel Surya yang menunjukkan Koefisien Suhu Pmax kurang lebih 0.35% / °C dan Pmax sebesar 550 Wp. Jadi setiap kenaikan suhu 1°C (jika lebih dari 25°C) akan mempengaruhi kinerja dari panel surya sebesar 0.35%. Dengan mengacu tabel 4.2 Data BMKG, dimana suhu tertinggi mencapai 28,8°C dibulan Agustus. Hal tersebut menjadikan kenaikan suhu sebesar 3,8°C, sehingga dapat dilakukan sebuah perhitungan untuk mengetahui pengurangan daya setelah kenaikan suhu sebagai berikut:

$$P \text{ saat } \Delta^{\circ}t = \text{Temp Coef of } P_{max} \times P_{max} \times \Delta^{\circ}t$$

$$P \text{ saat } \Delta^{\circ}t = 0,35\% \times 550 \times 3,8$$

$$P \text{ saat } \Delta^{\circ}t = 7,32 \text{ Wp}$$

Setelah mendapatkan pengurangan daya setelah kenaikan suhu sebesar 7,32 Wp, maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui daya pembangkitan maksimal panel surya pada suhu tertentu sebagai berikut:

$$P_{max\ t^0} = P_{max} - P\ \text{saat}\ \Delta^{\circ}t$$

$$P_{max\ t^0} = 550 - 7,32$$

$$P_{max\ t^0} = 542,6\ \text{Wp}$$

Kemudian untuk menentukan Faktor Koreksi Temperatur dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$FKT = \frac{P_{max\ t^0}}{P_{max}} \times 100\%$$

$$FKT = \frac{542,6}{550} \times 100\%$$

$$FKT = 98,7\%$$

#### 4.3.3 Luasan Array

Luasan *array* dapat dihitung setelah mengetahui beberapa faktor yang dapat mempengaruhi seperti; intensitas radiasi matahari (tabel 4.2 Data BMKG Provinsi Jawa Tengah), efisiensi panel surya (tabel 3.1 Spesifikasi Panel Surya), efisiensi *inverter* (tabel 3.2 Spesifikasi *Inverter*) dan faktor koreksi temperature sebesar 98,7%. Dengan meninjau data-data yang diperoleh maka luasan *array* dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut:

$$Luas\ Array = \frac{EL}{Gav \times \eta_{PV} \times \eta_{Out} \times FKT}$$

$$Luas\ Array = \frac{699,56}{5,2 \times 21,29\% \times 98,7\% \times 98,7\%}$$

$$Luas\ Array = \frac{699,56}{1,08}$$

$$Luas\ Array = 648,7\ \text{m}^2$$

Dengan demikian luas *array* yang diperlukan untuk membangkitkan daya sebesar 699,56 kWh, maka diperlukan luasan *array* sebesar 648,7 m<sup>2</sup> dengan target 40% daya yang disuplai PLTS terhadap daya pemakaian Gedung *Workshop*. Dengan memiliki data luasan *array* sebesar 648,7 m<sup>2</sup> dan memiliki data efisiensi panel surya yang akan digunakan pada tabel 3.1 yang mencapai 21,29%. Dengan

adanya data-data tersebut, maka dapat dilakukan sebuah perhitungan untuk melihat seberapa besar daya optimal yang mampu dibangkitkan dengan *Peak Sun in* Indonesia sebesar  $1000 \text{ W/m}^2$ , persamaan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P_{\text{wattpeak}} = \text{Luas Array} \times \text{PSI} \times \eta_{\text{PV}}$$

$$P_{\text{wattpeak}} = 648,7 \times 1000 \times 21,29\%$$

$$P_{\text{wattpeak}} = 138097,98 \text{ Wp}$$

$$P_{\text{wattpeak}} = 138,1 \text{ kWp}$$

#### 4.3.4 Jumlah Panel Surya

Dengan mengetahui daya optimal yang mampu dibangkitkan sebesar 138,1 kWp, maka dapat digunakan sebagai data acuan untuk mengetahui berapa jumlah panel surya yang akan digunakan, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P_{\text{wattpeak}}}{P_{\text{max}}}$$

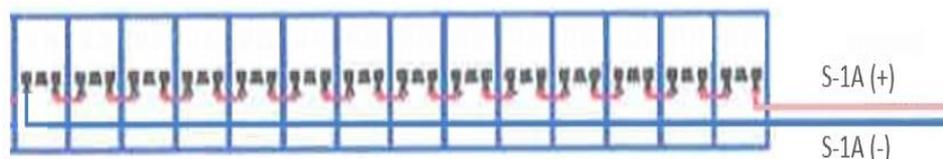
$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{138097,98}{550}$$

$$\text{Jumlah Panel Surya} = 251,2$$

Dengan mengacu pada tabel 3.2 Spesifikasi Inverter, maka jumlah panel surya akan dibulatkan menjadi 252 unit, dengan setiap *array* berisi 14 unit panel surya.

#### 4.3.5 Konfigurasi Panel Surya

Dengan mengetahui jumlah dan spesifikasi komponen utama yang akan digunakan seperti 252 unit panel surya 550 Wp dengan tegangan maksimum sebesar 42.1V ( $V_{\text{mp}}$ ) dan arus maksimum 13.1A ( $I_{\text{mp}}$ ), kemudian 1 unit *inverter* 110 kW dengan 9 MPPT, yang mana tiap MPPT memiliki 2 string input an array panel surya dengan tegangan kerja berkisar 500 – 1100 V dan arus maksimal 26 A. Sehingga dapat dilakukan penentuan konfigurasi sebagai berikut:



Gambar 4. 3 Sambungan Seri Konfigurasi Panel Surya

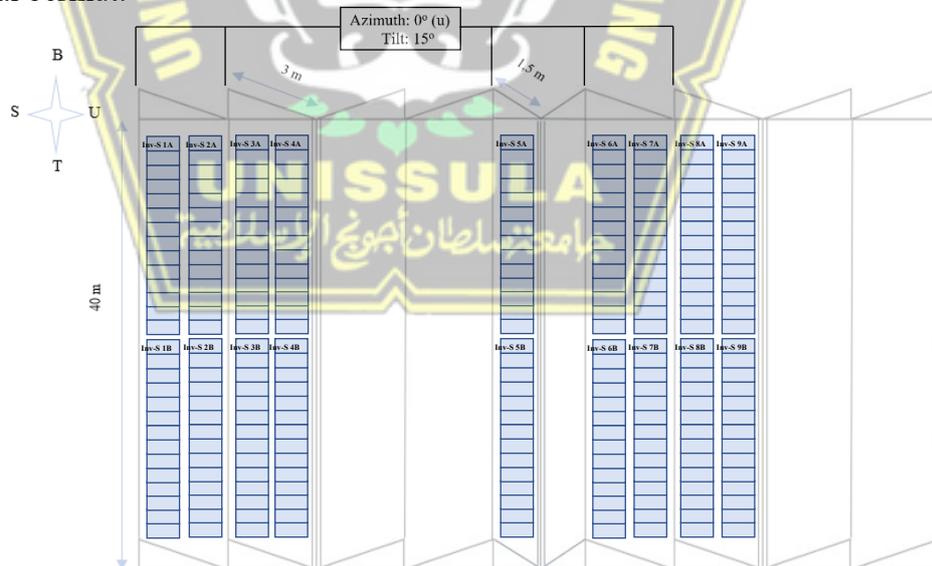
Berdasarkan gambar konfigurasi panel surya di atas, dengan 14 unit PV dihubungkan secara seri maka dapat diketahui  $V_{mpp}$  dan  $I_{mpp}$  dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} V_{mpp} &= V_{mp} \times \text{Total panel surya} & I_{mpp} &= I_{mp} \\ V_{mpp} &= 42.05 \text{ V} \times 14 & I_{mpp} &= 13.08 \text{ A} \\ V_{mpp} &= 588,7 \text{ V} \end{aligned}$$

Dengan menghasilkan output  $V_{mpp}$  sebesar 588,7 V dan  $I_{mpp}$  sebesar 13,08 A. Jadi, setiap *array* mampu menghasilkan output daya sebesar 7.700,196 Wp atau 138,6 kWp untuk 18 *string*.

#### 4.3.6 Penyusunan Panel Surya

Agar bentuk perencanaan menjadi optimal, maka perlu juga memperhatikan dalam penyusunan panel surya agar sesuai dengan kondisi atap gedung, serta dengan mengacu pada perencanaan dan komponen yang digunakan, maka akan terpasang sebanyak 18 *array* dengan menghasilkan daya total sebesar 138.603,528 W atau 138,6 kW, maka bentuk desain perencanaannya dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 4. 4 Susunan Panel Surya pada Atap Gedung *Workshop*

Dengan mengetahui Letak Geografis Kota Semarang kurang lebihnya  $7^\circ$ , maka dapat dilakukan perhitungan untuk menentukan sudut kemiringan sebagai berikut:

$$\alpha = 90^\circ + \text{Lat} - \delta$$

$$\alpha = 90 + 6,98 - 23,45 = 73,53^\circ$$

$$\beta_{\text{opt}} = 180^\circ - \alpha$$

$$\beta_{\text{opt}} = 180 - 73,53 - 90 = 16,47^\circ$$

Keterangan:

$\alpha$  = sudut elevasi matahari tertinggi pada siang hari

Lat = lintang tempat (Semarang = 6,98°)

$\Delta$  = deklinasi matahari (maksimal =  $\pm 23,45^\circ$  sepanjang tahun)

Diketahui untuk kemiringan yang sesuai antara  $16,47^\circ$  dalam pemanfaatan penyinaran matahari yang optimal. Seperti yang ada pada gambar 4.4 susunan panel surya pada atap Gedung *Workshop*, Semua PV *array* menghadap ke utara menempel pada atap Gedung *Workshop* dengan kemiringan  $15^\circ$ . Dengan menyesuaikan atap Gedung *Workshop* maka masih dianggap sesuai karena setiap perencanaan tidak selalu presisi terhadap hitungan tetapi juga ada batas toleransi, selain itu juga dapat mengurangi biaya dan lebih efisien[10].

#### 4.3.7 Kapasitas *Inverter*

Sesuai dengan perencanaan penelitian ini menggunakan *Inverter* SUNGROW SG110CX jenis *On-Grid* dengan tipe *Inverter String* yang memiliki 18 string inputan PV *array* dengan 9 MPPT. Dengan hasil perhitungan  $V_{\text{mpp}}$  588,7 V dan  $I_{\text{mpp}}$  13,08 A sedangkan tegangan input nominal sebesar 500-1000 V dan arus input maksimal sebesar 26 A, maka dirasa sesuai dengan perencanaan. Kemudian dengan perhitungan total daya yang mampu dibangkitkan mencapai 138,6 kW dengan menggunakan *Inverter* SUNGROW SG110CX yang berkapasitas 110 kW masih dianggap sesuai dengan aturan yang ada baik nasional maupun internasional seperti IEEE dan NEC (National Electrical Code - USA) memperbolehkan kapasitas PV *array* melebihi dari kapasitas *Inverter* berkisar 120 – 135 %, sedangkan menurut SNI dan PLN secara umum memperbolehkan maksimal 130% dari kapasitas *Inverter*.

#### 4.3.8 Panel *Solar AC*

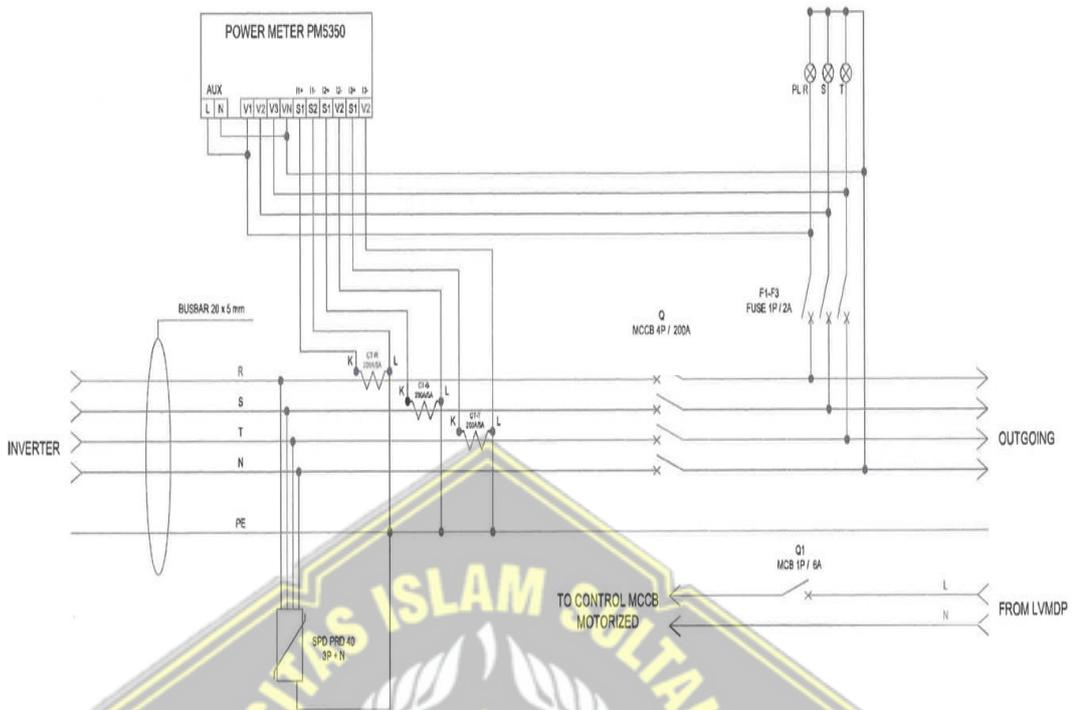
Panel *solar AC* digunakan sebagai *monitoring*, *control* dan proteksi, ketika sedang *maintenance* atau ada *trouble* pada PLTS atau kelistrikan PLN pada

Gedung *Workshop*. Panel ini tersusun dari beberapa komponen diantaranya sebagai berikut:

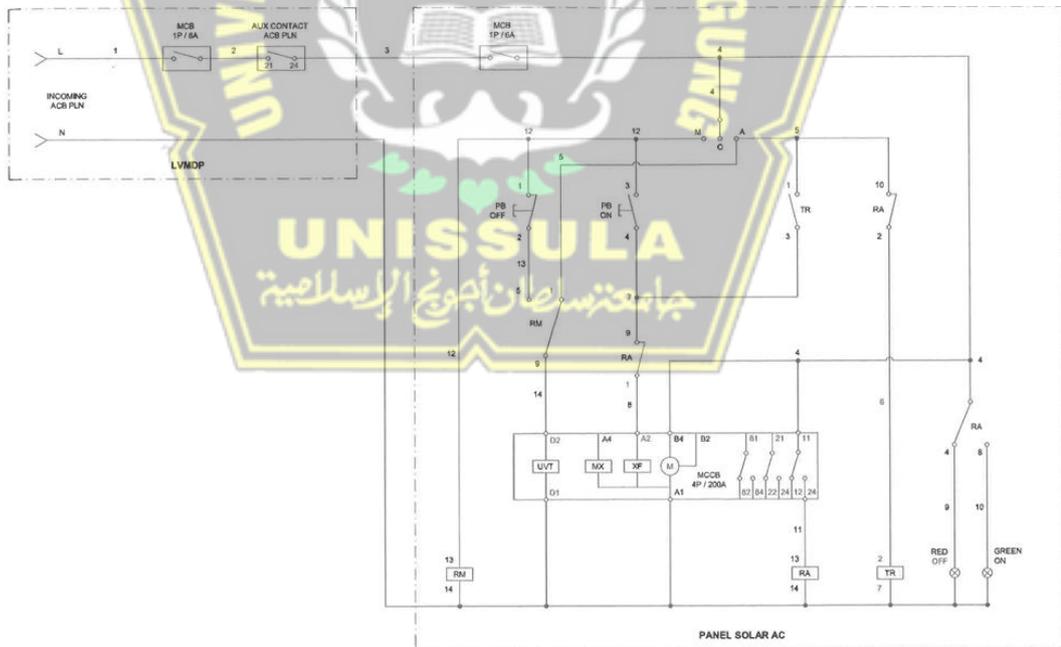
Tabel 4. 3 Komponen-komponen Panel *Solar AC*

No.	Komponen	Jumlah	Spesifikasi
1.	MCCB	1pcs	Schneider, 200A/ 4P, NSX250N
2.	MCB	1pcs	Schneider, 6A/ 1P, C6A
3.	Surger arrester	1pcs	Schneider, 3P + N,SPD PRD40
4.	Fuse	3pcs	Schneider, 2A/ 1P, RT 18-32
5.	Relay	2pcs	Omron, C/W Socket NO/NC230 V AC
6.	Timer	1pcs	Omron, C/W Socket, H3CR
7.	Power meter	1pcs	Schneider, PM800
8.	Selector switch	1pcs	Lokal, M-O-A, 3P, XB5
9.	Current Transfomer	3pcs	Schneider, 200A/5A
10.	Push button	2pcs	Lokal, On/ Off, 220VAC, XB7
11.	Pilot lamp	5pcs	Lokal, 220V AC, R, Y, G, XB7
12.	Busbar	1lot	Lokal, 200A CU 20 x 5mm, Cooper
13.	Busbar support holder	10pcs	Lokal, SM-51
14.	Terminal block	5pcs	Trend, 10A, TBR-10
15.	Kotak panel	1pcs	Lokal, 800x600 mm

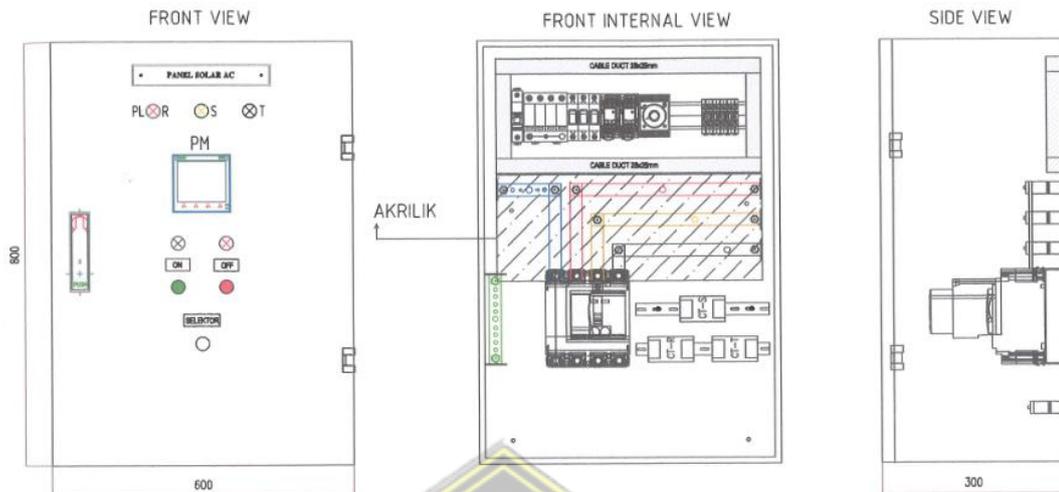
Setelah mengetahui komponen-komponen penyusun apa saja yang diperlukan dari panel solar AC, maka dapat melakukan proses instalasi dengan mengikuti gambar *Wiring panel solar AC* sebagai berikut:



Gambar 4. 3 Skema *Wiring Diagram* Panel Solar AC



Gambar 4. 4 Diagram Kontrol Panel Solar AC



Gambar 4. 5 Skema panel solar AC

#### 4.3.9 Kabel Penghantar

Setelah mengetahui spesifikasi komponen-komponen apa saja yang akan digunakan maka dapat menentukan kabel penghantar yang sesuai untuk jenis dan ukurannya. Macam jenis kabel penghantar yang akan digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

##### 1. Kabel Penghantar DC

Kabel penghantar DC digunakan untuk menghantarkan arus DC dari PV menuju ke *Inverter*. Dikarenakan PV *array* terhubung seri maka cukup dengan besarnya Imp PV sebagai acuan penentuan ukuran kabel, dengan meninjau kembali tabel 3.1 spesifikasi *solar module* maka Imp sebesar 13.08 A. Sehingga KHA kabel dari PV menuju ke *Inverter* dapat diketahui dengan faktor toleransi keamanan 125% dan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{KHA DC} = \text{Faktor tolesanri keamanan} \times I_n \text{ (A)}$$

$$\text{KHA DC} = 125\% \times 13,08$$

$$\text{KHA DC} = 16,35 \text{ A}$$

Maka, dengan KHA sebesar 16,35 A dapat menentukan ukuran kabel penghantar DC dengan meninjau kembali tabel 2.1, sehingga kabel penghantar DC yang sesuai adalah kabel PV1-F 2 x 2,5 mm<sup>2</sup>.

##### 2. Kabel Penghantar AC

Kabel penghantar AC digunakan untuk menghantarkan arus AC dari output *Inverter* menuju ke panel solar AC. Dengan meninjau Kembali tabel 3.2, maka dengan output arus sebesar 158.8 A dapat ditentukan KHA kabel dari *Inverter* menuju ke panel *solar* AC dengan faktor toleransi keamanan 125% dan perhitungan sebagai berikut:

$$KHA DC = \text{Faktor tolesanri keamanan} \times In (A)$$

$$KHA DC = 1,25 \times 158,8$$

$$KHA DC = 198,5 A$$

Dengan hasil perhitungan KHA sebesar 198,5 A, maka kabel yang sesuai dengan mengacu tabel 2. 3 adalah kabel NYY 4 x 70 mm<sup>2</sup>.

### 3. Kabel Pentanahan

Sistem pentanahan sangat perlu diadakan karena selain untuk keamanan dan keandalan sistem PLTS, juga keamanan bagi penggunanya. Menentukan kabel pentanahan untuk per PV *array* (per *string*) cukup dengan minimum kabel NYAF ukuran 6mm<sup>2</sup>, kemudian untuk sistem PLTS (kotak panel *solar* AC) ke sistem pentanahan pada kelistrikan distribusi PLN yang sudah ada, maka cukup melakukan perhitungan berdasarkan ukuran kabel fasa (*S*) (metode umum digunakan yang didasarkan pada aturan PUIL 2011) yang sebesar 70mm<sup>2</sup>, maka luas penampang minimum kabel pentanahan (*Sp*) dapat diketahui dengan melakukan perhitungan sebagai berikut:

$$Sp = S/2$$

$$Sp = 70 \text{ mm}^2 / 2$$

$$Sp = 35 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, maka sistem pentanahan membutuhkan kabel NYAF ukuran 35 mm<sup>2</sup> untuk menghubungkan ke sistem pentanahan pada kelistrikan distribusi PLN yang sudah ada.

### 4. Kabel Komunikasi

Penelitian ini, menggunakan *Inverter SUNGROW SG110CX* yang didukung dengan fitur *SMART O&M*, dengan menggunakan kabel komunikasi yang memiliki fungsi sebagai penghantar atau pertukaran data dan pemantauan antara

*Inverter* dengan perangkat lain dalam sistem PLTS. Dengan meninjau Kembali tabel 3.2, diketahui bahwa kabel komunikasi yang dapat digunakan adalah RS845.

#### 4.4 Analisis Efisiensi dan Ekonomi

Setelah mengidentifikasi beban listrik, konsumsi energi listrik PLN, dan komponen penyusun PLTS sistem *On-Grid*, perlu dilakukannya sebuah analisis efisiensi dan ekonomi dari perencanaan PLTS sistem *On-Grid* ini. Dengan mengakumulasi biaya investasi awal (*Initial Cost*) mencakup seluruh komponen PLTS sistem *On-Grid*. Adapun perhitungan akumulasi untuk mengetahui biaya investasi awal sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Biaya Investasi Awal

NO.	Keterangan	Spesifikasi	Jmlh	Harga	
				Satuan	Total
1.	Panel Surya	SERAPHIM 550 BMA HV	252unit	Rp 3.500.000	Rp 882.000.000
2.	Inverter	SUNGROW SG110CX	1unit	Rp 90.000.000	Rp 90.000.000
3.	Kotak Panel	Lokal, 800x600 mm	1pcs	Rp 3.000.000	Rp 3.000.000
4.	MCCB	Schneider, 200A/ 4P, NSX250N	1pcs	Rp 7.000.000	Rp 7.000.000
5.	MCB	Schneider, 6A/ 1P, C6A	1pcs	Rp 70.000	Rp 70.000
6.	Surger Arrester	Schneider, 3P + N, SPD PRD40	1pcs	Rp 1.900.000	Rp 1.900.000
7.	Fuse	Schneider, 2A/ 1P, RT 18-32	3pcs	Rp 10.000	Rp 30.000
8.	Relay	Omron, C/W Socket NO/NC230 V AC	2pcs	Rp 25.000	Rp 50.000
9.	Timer	Omron, C/W Socket, H3CR	1pcs	Rp 100.000	Rp 100.000

10.	Power Meter	Schneider, PM800	1pcs	Rp 4.500.000	Rp 4.500.000
11.	Selector Switch	Ex-Import, M-O-A, 3P, XB5	1pcs	Rp 30.000	Rp 30.000
12.	Current Transfomer	Schneider, 200A/5A	3pcs	Rp 300.000	Rp 900.000
13.	Push Button	Ex-Import, On/Off, 220VAC, XB7	2pcs	Rp 30.000	Rp 60.000
14.	Pilot Lamp	Ex-Import, 220V AC, R, Y, G, XB7	5pcs	Rp 75.000	Rp 375.000
15.	Busbar	Ex-Import, 200A CU 20 x 5mm, Cooper	5btg	Rp 200.000	Rp1.000.000
16.	Busbar Support Holder	Ex-Import, SM-51	15pcs	Rp 25.000	Rp 375.000
17.	Terminal block	Trend, 10A, TBR-10	1pcs	Rp 15.000	Rp 15.000
18.	Kabel AC	NYY 4 x 70 mm <sup>2</sup> .	10m	Rp 300.000	Rp 3.000.000
19.	Kabel DC	PV1-F 2 x 2,5 mm <sup>2</sup>	1080m	Rp 15.000	Rp 16.000.000
20.	Kabel Komunikasi	RS845	10m	Rp 15.000	Rp 150.000
21.	Kabel Pentanahan	NYAF 35 mm <sup>2</sup>	10m	Rp 100.000	Rp1.000.000
		NYAF 6mm <sup>2</sup>	1080m	Rp 15.000	Rp16.000.000
22.	<i>Monitoring System</i>	EyeM4	1pcs	Rp 1.500.000	Rp 1.500.000
23.	Biaya operasional	Pengiriman/akomodasi	-	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000
24.	Biaya pemasangan	Jasa teknisi	-	Rp 50.000.000,00	Rp 50.000.000,00

25.	Biaya tambahan/tidak terduga	Biaya lain-lain (komponen/aksesoris tambahan)	-	Rp. 10.000.000	Rp. 10.000.000
Total Biaya Investasi Awal		<b>Rp 1.094.055.000,00</b>			

Setelah mengakumulasi total biaya investasi awal sebesar Rp 1.094.055.000,00. Kemudian perlu juga untuk menghitung *Cost of Energy* (CoE) per tahun. Dengan membandingkan biaya sebelum dan setelah penerapan PLTS sistem *On-Grid*, untuk mengetahui penghematan biaya listrik tahunan. Perhitungan *Cost of Energy* (CoE) per tahun dapat diketahui sebagai berikut:

$$\text{Energi harian} = 138,6 \text{ kWh} \times 365 \text{ hari} = 50.590,3 \text{ kWh / tahun}$$

Jika Gedung Workshop berlangganan PLN tipe S3 (pelanggan layanan social besar), maka tarif dasar listrik (per tahun 2025) sebesar Rp 1.444,70 per kWh, maka penghematan dalam satu tahun dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$\text{Penghematan tahunan} = \text{Produksi tahunan (kWh)} \times \text{Tarif (Rp/kWh)}$$

$$\text{Penghematan tahunan} = 50.590,3 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.444,70$$

$$\text{Penghematan tahunan} = \text{Rp } 73.087.656,30$$

Jadi, dengan produksi energi dari PLTS diperkirakan akan menghemat biaya listrik sekitar Rp 73.087.656,30 dalam satu tahun.

Dengan mengetahui *Initial Cost* dan *Cost of Energy*, maka dapat dilakukannya perhitungan *Payback Period* untuk mengetahui berapa lama waktu pengembalian modal dari total biaya investasi awal. Demikian perhitungan dapat dilihat sebagai berikut:

$$\text{Payback Period} = \left( \frac{\text{Total Investasi Awal}}{\text{Total Penghematan Tahunan}} \right)$$

$$\text{Payback Period} = \left( \frac{1.094.055.000,00}{73.087.656,30} \right)$$

$$\text{Payback Period} = 14,97 \text{ tahun}$$

Diketahui bahwa untuk mengembalikan modal awal atau total biaya investasi awal adalah 14,97 tahun. Selain itu, perlu untuk mengetahui presentase efisiensi setelah pemasangan sistem PLTS dilakukan dengan perhitungan *Return of Investment* (RoI) untuk mengukur tingkat keuntungan dari investasi yang telah

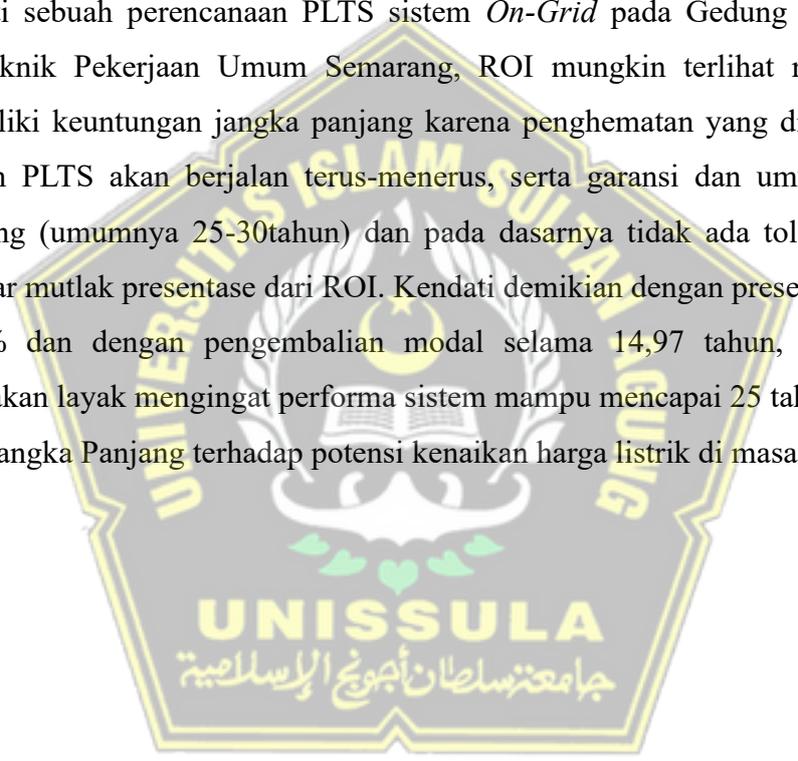
dilakukan. *Return of Investment* dapat diketahui dengan melakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{ROI (\%)} = \left( \frac{\text{Total Penghematan Tahunan}}{\text{Total Investasi Awal}} \right) \times 100\%$$

$$\text{ROI (\%)} = \left( \frac{73.087.656,30}{1.094.055.000,00} \right) \times 100\%$$

$$\text{ROI (\%)} = 6,68\%$$

Jadi, ROI yang didapat pada penelitian ini sebesar 6,68%, masih dianggap wajar dan layak. Dengan Presentase tersebut, dalam skala proyek infrastruktur seperti sebuah perencanaan PLTS sistem *On-Grid* pada Gedung *Workshop* di Politeknik Pekerjaan Umum Semarang, ROI mungkin terlihat rendah tetapi memiliki keuntungan jangka panjang karena penghematan yang dilakukan dari sistem PLTS akan berjalan terus-menerus, serta garansi dan umur aset yang panjang (umumnya 25-30tahun) dan pada dasarnya tidak ada tolak ukur atau standar mutlak presentase dari ROI. Kendati demikian dengan presentase sebesar 6,68% dan dengan pengembalian modal selama 14,97 tahun, maka masih dikatakan layak mengingat performa sistem mampu mencapai 25 tahun lebih dan efek jangka Panjang terhadap potensi kenaikan harga listrik di masa depan.



## BAB V KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari metode-metode yang telah dilakukan untuk mengumpulkan data, serta analisis dengan perhitungan teknis dan ekonomi dalam pembahasan sebuah perencanaan PLTS dengan sistem *On-Grid* pada Gedung *Workshop* di Politeknik Pekerjaan Umum Semarang, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Data yang didapat menunjukkan bahwa Gedung *Workshop* Politeknik Pekerjaan Umum Semarang memiliki potensi energi surya yang cukup tinggi dan signifikan untuk dimanfaatkan. Dengan kebutuhan daya listrik maksimum per hari sebesar 1.748,9 kWh dan akumulasi dalam satu bulan pada bulan Oktober 2024 mencapai 34.600 kWh. Sehingga perencanaan PLTS sistem *On-Grid* dilakukan guna untuk mengover 40% dari kebutuhan daya listrik harian.
2. Desain Sistem PLTS yang *On-Grid* Optimal, Perancangan PLTS Sistem *On-Grid* dengan kapasitas maksimum kurang lebih mencapai 138 kWp, dengan menggunakan 252 unit panel surya *Monocrystalline* SERAPHIM 550 BMA HV dan 1 unit *Inverter On-Grid* SUNGROW SG110CX yang telah dioptimalkan untuk memaksimalkan produksi energi listrik. Desain ini mempertimbangkan luas atap yang tersedia, serta spesifikasi teknis komponen untuk mencapai efisiensi maksimal.
3. Dengan meninjau lokasi dan beberapa faktor yang mempengaruhi seperti; luas atap sebesar 4.320 m<sup>2</sup>, kondisi lingkungan, radiasi matahari dan temperatur udara. Serta perhitungan yang telah dilakukan seperti; luasan *array* sebesar 648,7 m<sup>2</sup> dan pembangkitan daya sebesar 138 kWp. Sehingga didapatkan hasil akhir untuk keluaran energi dari PLTS sistem *On-Grid* per tahun sebesar 50.590,3 kWh.

4. Setelah diketahui keluaran energi dari PLTS sistem *On-Grid* sebesar 50.590,3 kWh/tahun, maka didapatkan nilai *Cost of Energy* (CoE) dari penghematan tahunan dari biaya tarif pelanggan PLN sebesar Rp 73.087.656,30. Kemudian setelah dilakukan perhitungan total biaya investasi awal (seperti; biaya komponen material penyusun, biaya jasa dan tak terduga) sebesar Rp 1.094.055.000,00. Maka diketahui dampak efisiensi serta kelayakan ekonomi finansial dengan hasil analisis dari nilai *Return on Investment* (ROI) sebesar sekitar 6,68% dan estimasi *Payback Period* sekitar 14,97 tahun, proyek ini memberikan dampak efisiensi penghematan biaya listrik yang berkelanjutan dan memberikan keuntungan jangka panjang setelah periode pengembalian modal.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan kesimpulan yang diperoleh dari studi perencanaan PLTS *On-Grid* pada Gedung Workshop Politeknik Pekerjaan Umum Semarang, beberapa rekomendasi yang dapat diajukan untuk penelitian selanjutnya atau implementasi di masa depan. Kendati demikian penulis berupaya untuk memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Setelah terealisasi dapat dilakukan tindak lanjut seperti; proses pemeliharaan dan perawatan, monitoring sistem, pengembangan analisis ekonomi lebih lanjut.
2. Dapat dilakukan evaluasi lebih terhadap keandalan sistem dan regulasi, serta kebijakan pemerintah yang baru setelahnya agar lebih meminimalisir resiko-resiko akan yang terjadi.
3. Mempertimbangkan studi implementasi dan uji performa, bilamana timbul opsi penambahan penyimpanan daya atau baterai (sistem *hybrid*) sebagai bentuk kompleks dari sistem.
4. Mengingat keberhasilan perencanaan ini, penelitian di masa depan dapat mengeksplorasi potensi skalabilitas instalasi PLTS serupa ke gedung-gedung lain di lingkungan Politeknik Pekerjaan Umum Semarang atau institusi sejenis.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Sianipar, Rafael. "Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *JETri: Jurnal Elektro dan Teknologi Rekayasa*, vol. 11, no. 2, pp. 61–78, 2014.
- [2]. Afrida, Yenni, Jeckson, dan Dwi Feriyanto. "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On Grid*," *Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 74-77, 2022.
- [3]. Kusmantoro, Adhi. "*Planning of Solar Power Plant With On-Grid System at The Fourth Building University of PGRI Semarang.*" Department of Electrical Engineering, University Of PGRI Semarang, Semarang, Indonesia, *International Journal of Computer, Network Security and Information System (IJCONSIST)*, vol. 1, no. 2, pp. 61-64, 2020.
- [4]. Nugroho, Nuriyanto. "Studi Teknis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem *Off Grid* dan *On Grid* (Studi Kasus: PT Arif Borneo Azzara)." Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak, 2022.
- [5]. Bandri, Sepannur, Anggun Anugrah, dan Hendro Wibowo. "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap *On-Grid* Skala Rumah Tinggal Daya 1300 VA Menggunakan Software Homer." *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, vol. 4, no. 5, 2024. Badan Pusat Statistik. (2022). *Neraca Arus Energi Dan Neraca Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia Badan Pusat Statistik Bps-Statistics Indonesia*. 120.
- [6]. Maftukhah, Maslakhatul. "Analisa Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap On-Grid 40kWp di Stasiun Semarang Tawang." Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, 2023.
- [7]. Al-Kholish, Muhammad Chisamuddin. "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop dengan Sistem On-Grid di CV. Qirana Meubel Jepara." Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, 2023.

- [8]. Eriani, Dwiky Melinia, Ilham Afief Fatchurrohman, Muhammad Ihza Damara, dan Tegar Wicaksono. "Rancang Bangun Monitoring Sistem Proteksi di Laboratorium Kendali Mikro Berbasis PLC dan SCADA." Program Studi D III Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang, Semarang, 2022.
- [9]. Adanty, Aftah Fitrotunnisa, Deny Ardiyoto, Furdany Agata, dan Mita Anggita. "Rancang Bangun Sistem Pemantauan Daya PLTS Kapasitas 2100 Watt Peak secara Waktu Nyata pada Laboratorium Kendali Mikro Berbasis PLC dan SCADA." Program Studi D-III Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang, Semarang, 2022.
- [10]. Kumara, Ketut Vidhia, I Nyoman Satya Kumara, dan Wayan Gede Ariastina. "Tinjauan Terhadap PLTS 24 kW Atap Gedung PT Indonesia Power Pesanggaran Bali." Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar – Bali. E-Journal SPEKTRUM, Vol. 5, No. 2, Desember 2018
- [11]. Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Semarang, Kota Semarang Dalam Angka 2024. [Online]. Tersedia: <https://semarangkota.bps.go.id/id/publication>. [Diakses: 07 Juni 2025]