

**ANALISIS POTENSI ENERGI LISTRIK PADA SISTEM PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA
(ITERA) 1 MWP DAN PERBANDINGANNYA MENGGUNAKAN
SOFTWARE PVSYST 7.3.1**

(Skripsi)

Oleh

**Nurma Novita
2117041022**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

ANALISIS POTENSI ENERGI LISTRIK PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA (ITERA) 1 MWP DAN PERBANDINGANNYA MENGGUNAKAN *SOFTWARE* PVSYST 7.3.1

Oleh

NURMA NOVITA

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis potensi energi listrik dari sistem PLTS Itera dan membandingkannya dengan hasil simulasi *software* PVsyst 7.3.1. Penelitian ini juga difokuskan untuk mengetahui bagaimana performa dan rugi-rugi daya pada sistem PLTS Itera yang dilakukan dalam kurun waktu Januari hingga Februari 2025. Potensi energi dalam penelitian ini mengacu pada data radiasi matahari, suhu panel dan data produksi energi listrik harian PLTS Itera. Pengumpulan data potensi energi tersebut menggunakan *fusion solar*, *solar power meter*, serta sensor suhu yang sudah terintegrasi dalam sistem PLTS. Waktu pengambilan datanya dimulai pada pukul 06.00 hingga 18.00 setiap hari. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa potensi energi listrik PLTS Itera secara riil lebih rendah daripada hasil simulasi menggunakan PVsyst begitu juga dengan performansinya. Hasil simulasi PVsyst menunjukkan nilai 126.645,40 kWh dengan energi riil lebih rendah sekitar 47,6% dibandingkan hasil simulasi. Sementara itu, *Performance Ratio* (PR) rata-rata hasil simulasi adalah 73,67%, sedangkan data riil hanya 59,10%. PLTS Itera juga mengalami rugi rugi daya sebesar 0,507% yang berasal dari kabel DC yang menghubungkan modul surya dengan inverter.

Kata Kunci : *Energi listrik, PLTS Itera, potensi, simulasi PVsyst*

ABSTRACT

ANALYSIS OF ELECTRIC ENERGY POTENTIAL IN THE 1 MWP SUMATRA INSTITUTE OF TECHNOLOGY (ITERA) SOLAR POWER PLANT SYSTEM (PLTS) AND COMPARISON USING PVSYST 7.3.1 SOFTWARE

By

NURMA NOVITA

This research was conducted to analyze the potential of electrical energy from the Itera solar power generation system and compare it with the simulation results of PVsyst 7.3.1 software. This research is also focused on knowing how the performance and power losses of the Itera solar power generation system are carried out in the period January to February 2025. The energy potential in this study refers to solar radiation data, panel temperature and daily electrical energy production data of the Itera solar power plant. The collection of potential energy data uses solar fusion, solar power meters, and temperature sensors that have been integrated in the PLTS system. The data collection time starts at 06.00 to 18.00 every day. Based on the results of the research that has been carried out, it is concluded that the real potential electrical energy of the Itera solar power plant is lower than the simulation results using PVsyst as well as its performance. PVsyst simulation results show a value of 126,645.40 kWh with real energy lower by 47.6% compared to simulation results. Meanwhile, the average Performance Ratio (PR) of the simulation results is 73.67%, while the real data is only 59.10%. Itera solar power plant also experiences a power loss of 0.507% which comes from the DC cable connecting the solar module with the inverter.

Keywords: *Electric energy, PLTS Itera, potential, PVsyst simulation*

**ANALISIS POTENSI ENERGI LISTRIK PADA SISTEM PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA
(ITERA) 1 MWP DAN PERBANDINGANNYA MENGGUNAKAN
SOFTWARE PVSYST 7.3.1**

Oleh

NURMA NOVITA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

: ANALISIS POTENSI ENERGI LISTRIK PADA
SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
SURYA (PLTS) INSTITUT TEKNOLOGI
SUMATERA (ITERA) 1 MWP DAN
PERBANDINGANNYA MENGGUNAKAN
SOFTWARE PVSYST 7.3.1

Nama Mahasiswa

: **Nurma Novita**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2117041022

Jurusan

: Fisika

Fakultas

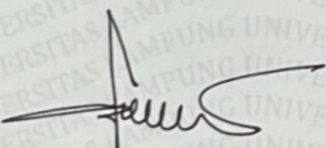
: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

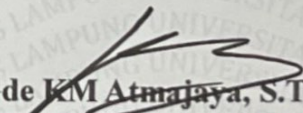
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

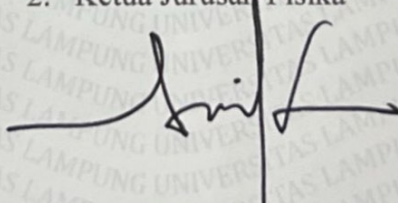
Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 198010102005011002


Gde KM Atmajaya, S.T., M.T.
NIP. 199403302020121009

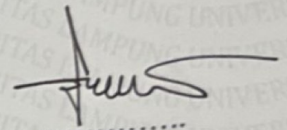
2. Ketua Jurusan Fisika


Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

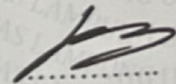
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

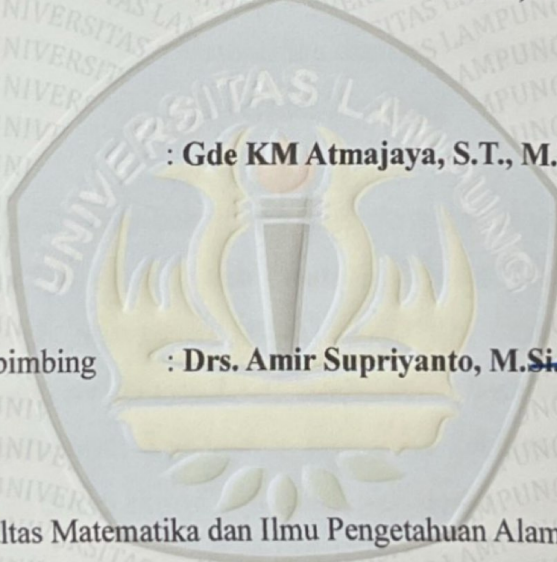
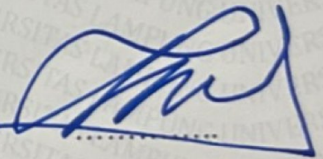
Ketua : Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.



Sekretaris : Gde KM Atmajaya, S.T., M.T.



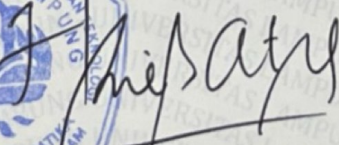
Penguji
Bukan Pembimbing : Drs. Amir Supriyanto, M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 24 Juni 2025

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurma Novita
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041022
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengatahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya dengan judul **“Analisis Potensi Energi Listrik Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Institut Teknologi Sumatera (Itera) 1 MWp dan Perbandingannya Menggunakan *Software* PVsyst 3.7.1”** adalah benar hasil karya sendiri, baik ide, hasil, maupun analisisnya. Selanjutnya saya tidak keberatan jika sebagian atau keseluruhan data di dalam skripsi digunakan oleh dosen atau program studi dalam kepentingan publikasi atas persetujuan penulis dan sepanjang nama saya disebutkan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 24 Juni 2025

Yang Menyatakan,



Nurma Novita
NPM. 2117041022

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Nurma Novita merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Sutarno dan Ibu Roliyah yang dilahirkan di Pringsewu pada tanggal 25 April 2003. Penulis memiliki satu saudara kandung bernama Firman Muntako. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD Negeri 3 Sidodadi pada tahun 2015; pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 1 Ambarawa pada tahun 2018; dan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Ambarawa pada tahun 2021. Tahun 2021 penulis diterima melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Selama menempuh pendidikan, penulis tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) anggota bidang Sains dan Teknologi periode 2021-2023. Penulis pernah menjadi asisten praktikum Fisika Dasar I, Fisika Dasar II, dan Fisika Komputasi.

Penulis pernah melakukan pengabdian masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung tahun 2024 di Desa Pempen, Kecamatan Gunung Pelindung, Kabupaten Lampung Tengah. Penulis juga telah menyelesaikan kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Konversi Energi-BRIN Serpong pada tahun 2024. Penulis juga menyelesaikan penelitian skripsi di Laboratorium PLTS Itera dengan judul **“Analisis Potensi Energi Listrik Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Institut Teknologi Sumatera (Itera) 1 MWp dan Perbandingannya Menggunakan *Software* PVsyst 3.7.1”**.

MOTTO

“Maka sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah: 5)

“Angan-angan yang dulu mimpi belaka, kita gapai segala yang tak disangka”

(Baskara Putra – Hindia)

*“Tidak ada mimpi yang terlalu tinggi dan tak ada mimpi yang patut diremehkan.
Lambungkan setinggi yang kau inginkan dan gapailah dengan selayaknya yang
kau harapkan”*

(Maudy Ayunda)

*“Aku mempertaruhkan nyawa ibuku untuk lahir ke dunia, jadi tidak mungkin aku
tidak ada artinya”*

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, skripsi ini kupersembahkan kepada:

Bapak Sutarno dan Ibu Roliyah

Kedua orang tuaku yang telah membesarkan, mendidik, mendukung, mendoakan, serta mengusahakan segalanya demi putrinya hingga mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai Sarjana.

Firman Muntaka

Kakaku tersayang yang telah memberikan semangat dan dukungan sehingga penulis mampu menyelesaikan pendidikan S1.

Bapak/Ibu Dosen Fisika

Terima kasih telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis.

Para Sahabat dan Rekan Seperjuangan

Terima kasih atas semua bantuan, dukungan, pengalaman, dan kebersamaan selama masa perkuliahan.

Serta almamater tercinta

Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Potensi Energi Listrik Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Institut Teknologi Sumatera (Itera) 1 MWp dan Perbandingannya Menggunakan Software PVsyst 3.7.1**”. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sehingga dapat menjadi perbaikan untuk kekurangan dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat, menambah wawasan literasi keilmuan, serta dapat menjadi rujukan untuk mengembangkan riset selanjutnya agar lebih baik.

Bandar Lampung, 24 Juni 2025
Penulis,

Nurma Novita

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan kemudahan, kelancaran, dan keberkahan bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Penulis menyadari bahwa untuk menyelesaikan penelitian dan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan, masukan, bimbingan, motivasi dan nasihat kepada penulis.
2. Bapak Gde KM Atmajaya, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa memberikan waktu, saran dan ilmunya dalam penelitian dan penulisan skripsi.
3. Bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si. selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran dan koreksi sehingga penulisan skripsi ini dapat menjadi lebih baik.
4. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan selama masa perkuliahan.
5. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku dekan FMIPA Universitas Lampung.
7. Seluruh dosen dan staf Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
8. Kedua orang tuaku tercinta, terkasih, dan tersayang Bapak Sutarno dan Ibu Roliyah. Terima kasih atas segala pengorbanan, usaha, dan tulus kasih yang diberikan untuk anak bungsumu ini. Beliau memang tidak sempat merasakan

bangku perkuliahan, namun mereka senantiasa mampu memberikan yang terbaik. Pak Bu, terima kasih atas doa hebat yang selalu kalian panjatkan untuk penulis. Semoga Bapak dan Ibu sehat, panjang umur, bahagia, dan selalu ada dalam setiap episode kehidupan penulis.

9. Kepada kakakku Firman Muntako yang selalu memberi dukungan moril dan materil, memotivasi, serta mendoakan penulis.
10. Teman-teman seperjuangan di bangku perkuliahan yaitu Monica, Nina, Eli, Tata, Mayang, Winda, Alisya, Anisatul dan teman-teman lainnya yang tidak bisa disebutkan satu per satu. Terima kasih telah menemani penulis dalam menyelesaikan pendidikan di jurusan ini. Terima kasih atas petualangan yang luar biasa, kenangan canda dan tawa yang sangat menyenangkan dan berkesan bagi penulis.
11. Denta Erlangga seorang teman dekat yang telah kebersamaan penulis pada hari-hari yang tidak mudah selama penulisan skripsi. Terima kasih atas dukungan dan semangat serta menjadi tempat untuk berkeluh kesah.
12. Rekan penelitian penulis Dameria Simamora dan Sulistiawati, terima kasih atas dukungan, semangat, dan kerja samanya sehingga bisa menyelesaikan penelitian ini.
13. Sahabat tersayang Ayu Heni Yulianti dan Lutvi Anasta Tasya yang telah menjadi sahabat penulis sejak SMA hingga saat ini. Walaupun kita menempuh pendidikan di jalannya masing-masing, tetapi penulis ingin mengucapkan terima kasih atas semangat, dukungan, canda tawa, serta kebersamaannya selama ini.
14. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Bandar Lampung, 24 Juni 2025
Penulis,

Nurma Novita

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
SANWACANA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait.....	7
2.2 Energi Baru Terbarukan	11
2.3 Karakteristik Energi Matahari.....	12
2.4 Teori Semikonduktor.....	13
2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	14
2.6 Jenis-jenis Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	15
2.6.1 Sistem PLTS <i>On-Grid</i>	15
2.6.2 Sistem PLTS <i>Off-Grid</i>	15

2.6.3 Sistem PLTS <i>Hybrid</i>	16
2.7 Komponen PLTS	16
2.8 Tipe-tipe Panel Surya	18
2.8.1 <i>Monocrystalline</i>	18
2.8.2 <i>Polycrystalline</i>	19
2.8.3 <i>Thin Film</i>	20
2.9 Kinerja Sistem PLTS	21
2.10 Metode Instalasi PLTS	22
2.10.1 <i>Roof Mounted</i>	22
2.10.2 <i>Ground-Mounted</i>	23
2.10.3 <i>Reservoir / Lake Based Floating Solar System</i>	23
2.11 PVsyst.....	24
III. METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	27
3.3 Prosedur Penelitian.....	28
3.3.1 Pemahaman Dasar Teori PLTS.....	28
3.3.2 Survei Lokasi Penelitian	28
3.3.3 Studi Literatur	28
3.3.4 Identifikasi dan Pengumpulan Data Pendukung Penelitian	29
3.3.5 Pengolahan Data PVsyst 7.3.1	29
3.3.6 Simulasi Hasil <i>Report Software</i> PVsyst.....	29
3.3.7 Perbandingan Data Riil	29
3.4 Metode Analisis Data	34
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Konfigurasi Sistem PLTS Itera	36
4.2 Potensi Energi Listrik PLTS Itera secara Riil	38
4.2.1 Performansi Sistem PLTS Itera secara Riil	45
4.3 Potensi Energi Listrik PLTS Itera Berdasarkan Simulasi	46
4.3.1 Performansi Sistem PLTS Itera Berdasarkan Simulasi	48
4.4 Perbandingan Potensi Energi Listrik PLTS Itera secara Riil dan Simulasi.	50
4.5 Perbandingan Performansi PLTS Itera secara Riil dan Simulasi	52
4.6 Rugi-rugi Daya Sistem PLTS Itera.....	56
4.7 Faktor yang Mempengaruhi Potensi Energi Listrik dan Performansi PLTS Itera	58
V. SIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Simpulan	61
5.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pengaturan sudut kemiringan PV (Putra et al., 2021).....	7
2. Pengaturan luas area PV array (Putra et al., 2021)	8
3. Penentuan jenis dan kapasitas inverter (Putra et al., 2021).....	8
4. Penentuan ukuran dan jenis PV (Putra et al., 2021).....	8
5. Simulasi PVsyst sistem PLTS atap (Karuniawan et al., 2023).....	9
6. Skema rancangan sistem PLTS (Haq et al., 2021)	10
7. Proses terjadinya fotovoltaiik pada sel surya (Rudiyanto et al., 2023).....	14
8. Panel Surya Monokristalin (Samsurizal et al., 2021).....	18
9. Panel Surya Polikristalin (Jamaaluddin, 2021)	19
10. Panel surya thin film (Safitri et al., 2020).....	20
11. Tampilan awal PVsyst.....	25
12. Sirkuit diagram pada PVsyst (Karuniawan, 2021).....	26
13. Simulasi <i>shading</i> pada PVsyst (Karuniawan, 2021)	26
14. Diagram Alir Penelitian.....	33
15. Grafik perbandingan produksi energi listrik PLTS Itera	35
16. PLTS Itera 1 MWp	36
17. Kemiringan dan azimuth PLTS pada PVsyst	37
18. Inverter Huawei SUN2000-100KTL.....	38
19. Output energi per inverter	40
20. Faktor shading pada PLTS Itera	41
21. Hubungan antara energi riil dan radiasi matahari	42
22. Suhu panel di PLTS Itera saat tengah hari	43
23. Produksi energi tertinggi hari ke-31 dan terendah hari ke-22.....	44
24. Hubungan antara energi simulasi dan radiasi matahari.....	48

25. Perbandingan potensi energi listrik PLTS Itera 1 MWp	51
26. Perbandingan nilai PR secara riil dan simulasi	54
27. Perbandingan nilai CUF secara riil dan simulasi	55
28. Diagram losses PLTS Itera berdasarkan simulasi PVsyst.....	57
29. Peta curah hujan Januari 2025 Provinsi Lampung (BMKG, 2025)	59
30. Peta sifat hujan Januari 2025 Provinsi Lampung (BMKG, 2025)	59

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Alat dan bahan penelitian	27
2. Data pengamatan energi listrik PLTS Itera	32
3. Data pengamatan energi listrik PLTS Itera berdasarkan PVsyst.....	32
4. Hasil perhitungan performansi PLTS Itera.....	32
5. Spesifikasi modul surya	37
6. Potensi energi listrik secara riil	39
7. Performansi PLTS Itera secara riil	45
8. Potensi energi listrik berdasarkan simulasi	47
9. Performansi PLTS Itera berdasarkan simulasi	49

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik sudah menjadi kebutuhan dasar di masyarakat dalam menunjang berbagai aktivitas sehari-hari. Saat ini pemasok utama energi listrik di Indonesia masih didominasi oleh sumber-sumber energi fosil seperti batubara, minyak bumi, dan gas. Berdasarkan data *Outlook Energi Indonesia 2023* kebutuhan energi listrik di Indonesia dipasok oleh pembangkit-pembangkit listrik dengan total kapasitas 83,8 GW pada akhir tahun 2022. Jika dibandingkan dengan 10 tahun terakhir, angka tersebut menunjukkan adanya indikasi penambahan pembangkit listrik baru sebesar 1,7 kali lipat. Namun batubara masih menjadi pembangkit listrik yang mendominasi hingga setengah dari total kapasitas nasional, diikuti energi gas sebesar 25%. Sementara itu, pembangkit listrik Energi Baru Terbarukan (EBT) hanya berkontribusi sebesar 15% atau bertambah 6 GW saja dalam jangka waktu 10 tahun (DEN, 2023).

Penggunaan energi fosil secara besar-besaran dapat memberikan dampak negatif berupa kerusakan bumi dan membawa dampak buruk terhadap lingkungan di sekitarnya. Dampak buruk ini dapat menyebabkan kerusakan lingkungan yang serius termasuk penurunan kualitas udara dan ancaman terhadap kesehatan manusia (Malihah, 2022). Untuk itu pemanfaatan energi alternatif yang ramah lingkungan menjadi sangat penting untuk memenuhi kebutuhan energi di masa mendatang. Salah satu solusi yang dianggap potensial adalah energi surya yang memiliki keunggulan sebagai sumber energi bersih dan berkelanjutan. Energi surya memiliki potensi yang sangat besar di Indonesia, mengingat wilayah geografisnya berada

pada garis khatulistiwa sehingga memungkinkan mendapat penerimaan sinar matahari yang optimal sepanjang tahun (Haq *et al.*, 2021). Wilayah timur Indonesia memiliki tingkat radiasi matahari sekitar 5,1 kWh/m², sedangkan wilayah baratnya mempunyai tingkat radiasi mencapai 4,5 kWh/m², sehingga rata-rata tingkat radiasi matahari di Indonesia mencapai 4,8 kWh/m² (Rizkasari *et al.*, 2020). Hal tersebut menunjukkan bahwa energi surya dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan mendukung transisi menuju sumber energi yang berkelanjutan.

Pemerintah Indonesia juga berupaya mendorong pemanfaatan energi surya melalui Peraturan Presiden Nomor 79 Tahun 2014 mengenai Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yang menargetkan bauran energi terbarukan nasional sebesar 23% pada tahun 2025. Regulasi lain termuat dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 16 Tahun 2019 terkait penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga surya atap oleh PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) Persero (Menteri ESDM, 2019). Adapun regulasi ini bertujuan untuk mendorong partisipasi pengguna energi dari berbagai sektor termasuk rumah tangga, industri, pemerintah, institusi pendidikan, dan sektor bisnis untuk turut berkontribusi dalam mencapai kemandirian energi terutama melalui pemanfaatan energi surya.

Pada berbagai tempat di Indonesia telah dibangun beberapa pembangkit listrik energi terbarukan yang berasal dari tenaga surya, tenaga angin, tenaga hidro, biomassa, panas bumi, dan yang lainnya guna menjaga keseimbangan pembangkitan tenaga listrik (Hanni *et al.*, 2023). Pembangkitan energi listrik melalui energi surya merupakan salah satu metode yang paling mudah daripada energi terbarukan lainnya, baik dari cara pemasangan, aksesibilitas, biaya, serta transmisi energinya. Metode paling umum yang sering digunakan untuk menghasilkan listrik dari energi surya yaitu melalui penggunaan teknologi fotovoltaik atau sistem PV (Sharma *et al.*, 2018).

Sistem PV dikenal juga sebagai sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yaitu sistem yang menggunakan sel surya sebagai piranti semikonduktor untuk

mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Dalam pemasangannya sistem ini dipengaruhi oleh banyak faktor seperti lokasi pemasangan, suhu, kecepatan angin, tingkat radiasi, sudut kemiringan, orientasi panel, serta daya inverter (Sancar & Yakut, 2023). Pemahaman terkait potensi energi listrik pada suatu sistem PLTS sangat penting karena dapat membantu dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan. Analisis performa dari suatu PLTS dapat berguna untuk memantau seberapa baik suatu sistem dapat berfungsi, terutama dengan berbagai kondisi cuaca yang beragam, sehingga dapat membantu meningkatkan efisiensi dan memaksimalkan *output* energi yang dihasilkan (Saka, 2024). Selain itu, data tentang potensi energi listrik dapat digunakan dalam pembuatan keputusan investasi yang tepat dan untuk memprediksi seberapa lama waktu pengambilan investasi, yang rata-rata berkisar antara 0,5 sampai 1,2 tahun tergantung dari lokasi dan penggunaan teknologi (Smith *et al.*, 2024). Untuk mendukung analisis ini, berbagai perangkat lunak telah dikembangkan guna membantu mengkaji faktor-faktor tersebut secara lebih akurat salah satunya adalah *software* PVsyst (Silva *et al.*, 2020).

PVsyst merupakan *software* yang dapat digunakan untuk melakukan simulasi maupun evaluasi sistem PLTS dalam berbagai kondisi operasi. *Software* ini memiliki keunggulan dalam melakukan simulasi berdasarkan data historis radiasi matahari, suhu, sudut kemiringan, serta efek bayangan untuk mendapatkan perkiraan hasil yang lebih akurat (Al-khazzar, 2018). Ketika pemasangan sistem PLTS tidak menggunakan PVsyst hasil simulasi dan perencanaan sering kali kurang akurat. Hal tersebut menyebabkan ketidaksesuaian antara energi yang diharapkan dengan energi yang dihasilkan yang akhirnya mempengaruhi analisis ekonomi (Shirzad *et al.*, 2023). Sementara saat menggunakan PVsyst memungkinkan untuk memasukkan data meteorologi lokal dari basis data seperti Meteonorm, NASA-SSE, dan NREL, serta faktor-faktor teknis yang mempengaruhi kinerja panel secara akurat termasuk albedo permukaan dan sudut kemiringan panel. Dengan PVsyst kerugian dari bayangan dan kotoran dapat diminimalkan sehingga sistem PLTS mampu menghasilkan produksi energi yang optimal (Mabhoko *et al.*, 2020).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa PVsyst memiliki peran yang penting dalam memperkirakan potensi energi dari suatu sistem PLTS dengan hasil yang lebih akurat dibandingkan metode manual. Misalnya studi di Afrika Barat oleh (Yakubu *et al.*, 2022) menggunakan PVsyst untuk menganalisis performa panel surya *bifacial* dan *monofacial* dengan mempertimbangkan konfigurasi seperti efek albedo permukaan dan sudut kemiringan. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem *bifacial* pada sudut tertentu menghasilkan lebih banyak energi daripada *monofacial*, terutama karena kemampuannya menyerap cahaya matahari langsung dan pantulan dari tanah. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Universitas Politeknik di Gavle, Swedia menggunakan PVsyst untuk memetakan potensi energi dari sistem PV pada bangunan publik. *Software* ini memudahkan analisis aspek seperti radiasi matahari, suhu, dan kehilangan energi akibat bayangan untuk memperkirakan produksi energi tahunan. Dengan memanfaatkan PVsyst penelitian ini dapat menguji berbagai skenario pemasangan dan mengoptimalkan hasil produksi energi dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan spesifik di Gavle. PVsyst memungkinkan simulasi lebih rinci dan hasil proyeksi energi menjadi lebih relevan dengan desain sistem PLTS yang paling efektif (Amigo, 2016).

Penelitian ini memiliki fokus khusus pada sistem PLTS yang ada di Institut Teknologi Sumatera (Itera). Sistem PLTS Itera merupakan pembangkit berkapasitas 1 MWp yang difungsikan sebagai laboratorium penelitian bagi mahasiswa dan dosen. Melalui laboratorium ini, peneliti dapat menguji aspek teknis serta efisiensi sistem PLTS dengan berbagai kondisi operasional (Atmajaya *et al.*, 2022). Hal ini dapat membedakannya dari penelitian lain yang berlokasi di daerah dengan karakteristik iklim yang berbeda. Penggunaan teknologi modern seperti PVsyst dimanfaatkan untuk mengevaluasi seberapa baik sistem PLTS telah bekerja. Oleh karena itu, dilakukan penelitian terkait **“Analisis Potensi Energi Listrik Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Institut Teknologi Sumatera (Itera) 1 MWp dan Perbandingannya Menggunakan *Software* PVsyst 7.3.1”**. Harapannya penelitian ini dapat memberikan data dan analisis yang lebih relevan dengan kondisi lokal, termasuk faktor-faktor seperti radiasi, suhu, kemiringan, dan bayangan yang khas di daerah tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana potensi energi listrik dari sistem PLTS Itera dan perbandingannya menggunakan PVsyst 7.3.1?
2. Bagaimana performansi dari sistem PLTS Itera?
3. Bagaimana analisis rugi-rugi daya sistem PLTS Itera?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis potensi energi dari sistem PLTS Itera dan perbandingannya menggunakan PVsyst 7.3.1.
2. Memahami performansi dari sistem PLTS Itera.
3. Menganalisis rugi rugi daya sistem PLTS Itera.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendukung edukasi bagi masyarakat tentang pemanfaatan energi baru terbarukan yaitu sistem PLTS sebagai sumber energi bersih yang dapat mengurangi dampak lingkungan dari penggunaan energi fosil.
2. Menambah referensi bagi mahasiswa dan peneliti terkait yang tertarik untuk melakukan studi yang serupa, sehingga dapat memperkaya literatur pada bidang energi terbarukan khususnya energi surya.
3. Menyediakan hasil analisis menggunakan PVsyst yang dapat dijadikan model atau contoh bagi pelaku industri maupun masyarakat dalam menentukan kelayakan investasi dan perencanaan instalasi PLTS terutama di wilayah Sumatera.
4. Mendapatkan pengalaman serta pembelajaran penting bagi penulis mengenai dasar-dasar teknologi dalam PLTS dan cara menganalisisnya menggunakan PVsyst.

1.5 Batasan Masalah

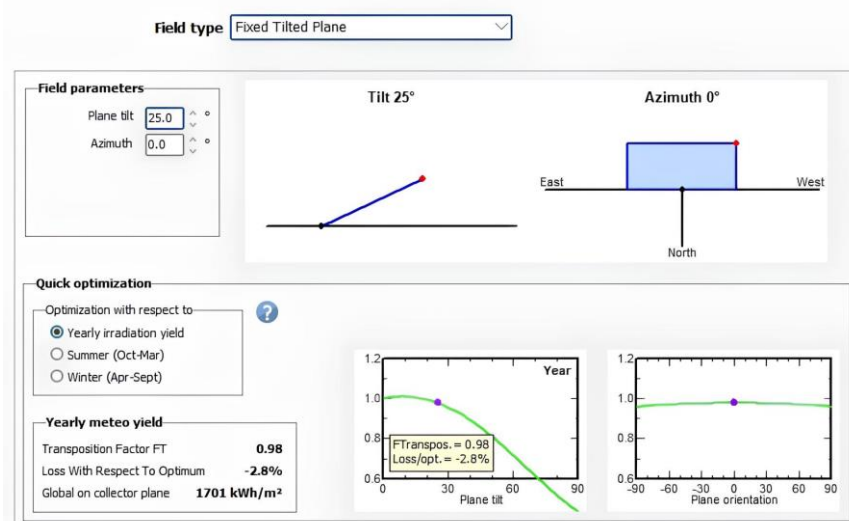
Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan di PLTS Itera dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan dan cuaca setempat.
2. Analisis potensi energi dilakukan menggunakan perangkat lunak PVSyst 7.3.1 tanpa mempertimbangkan perangkat lunak atau metode analisis lainnya.
3. Penelitian ini membahas aspek energi yang dihasilkan oleh panel surya tipe MP330C72.
4. Dalam penelitian ini PLTS menggunakan sistem *on-grid* terpusat dengan kapasitas sebesar 1 MWp.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian terkait potensi energi pada sistem PLTS sudah banyak dilakukan salah satunya oleh (Putra *et al.*, 2021). Penelitian ini menggunakan bantuan simulasi dari perangkat lunak PVsyst agar diperoleh besaran optimal dari energi yang dihasilkan dengan berbagai kondisi cuaca. Dalam simulasi, panel surya yang digunakan memiliki kapasitas 300 Wp sebagai alat konversi energi matahari menjadi energi listrik. Nilai minimum insolasi matahari harian yang digunakan pada sistem PLTS sebesar 2,5 kWh/m²/hari. Tujuannya yakni saat insolasi matahari berada pada nilai yang terendah, maka PLTS tetap dapat memenuhi besar kapasitas yang dibangkitkan. Sementara itu, nilai temperatur maksimum yang digunakan dalam simulasi adalah 28,1°C yang bertujuan agar temperatur berada pada nilai tertinggi, sehingga dapat diperoleh faktor koreksi temperatur pada sistem PLTS. Simulasi yang dilakukan ditunjukkan pada **Gambar 2.1** sampai **Gambar 2.4**.



Gambar 2. 1 Pengaturan sudut kemiringan PV (Putra *et al.*, 2021)

Sub-array

Sub-array name and Orientation

Name: PV Array

Orient.: Fixed Tilted Plane

Tilt: 25°

Azimuth: 0°

Pre-sizing Help

☐ No sizing

Enter planned power: 38.1 kWp

☒ ... or available area(modules): 206 m²

Select the PV module

Available Now: Filter: All PV modules

Maximum nb. of modules: 126

Generic: 300 Wp 27V Si-mono Mono 300 Wp 60 cells Since 2020 Typical

☐ Use optimizer

Sizing voltages : Vmpp (60°C) 27.1 V

Voc (-10°C) 42.3 V

Gambar 2. 2 Pengaturan luas area PV array (Putra et al., 2021)

Select the inverter

Available Now: Output voltage 400 V Tri 50Hz

Generic: 30 kW 450 - 700 V LF Tr 50 Hz 30 kWac inverter Since 2012

Nb. of inverters: 2

Operating voltage: 450-700 V Global Inverter's power: 60.0 kWac

Input maximum voltage: 900 V

☒ 50 Hz

☒ 60 Hz

Gambar 2. 3 Penentuan jenis dan kapasitas inverter (Putra *et al.*, 2021)

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: 18 between 17 and 21

Nb. strings: 7 ☒ only possibility 11

Overload loss: 0.0 %

Pnom ratio: 0.63

Nb. modules: 126 Area: 205 m²

Operating conditions

Vmpp (60°C) 489 V

Vmpp (20°C) 583 V

Voc (-10°C) 761 V

Plane irradiance: 1000 W/m²

Impp (STC) 66.5 A

Isc (STC) 69.3 A

Isc (at STC) 69.3 A

Gambar 2. 4 Penentuan ukuran dan jenis PV (Putra *et al.*, 2021)

Berdasarkan penelitian tersebut sepanjang Januari hingga Agustus PLTS menghasilkan daya listrik lebih dari 3000 kWh/Tahun. Sedangkan dari September hingga Desember rata-rata daya listrik yang dihasilkan berkurang hingga 2500 kWh/Tahun. Hal ini disebabkan karena bulan tersebut merupakan musim hujan yang menyebabkan penyinaran matahari menjadi berkurang sehingga terjadi penurunan daya. Total energi yang dapat dibangkitkan oleh PLTS per tahun yaitu 49 MWh dan energi yang dihasilkan perhari sebesar 3,55 kWh.

Penelitian lainnya dilakukan oleh (Karuniawan *et al.*, 2023) mengenai potensi daya listrik PLTS atap. Pada penelitian ini juga menggunakan simulasi PVsyst untuk menghitung potensi daya listrik yang dihasilkan. Kapasitas PLTS yang dilakukan simulasi sebesar 5 kW inverter dan kapasitas PV yang dipasang sebesar 6,08 Wp. Jenis panel yang digunakan adalah JA Solar JAM72-S09-380-PR 380 Wp dengan total unit sebanyak 16 panel. Inverter yang digunakan berjenis Solax X1-Boost-5.0kW dengan dilengkapi 2 MPPT. Skenario simulasi PVsyst sistem PLTSnya dapat dilihat pada **Gambar 2.5**. Hasil yang diperoleh pada penelitian tersebut yaitu PLTS atap pada Gedung Direktorat Polines memiliki potensi energi listrik sebesar 9321 kWh/tahun atau 25,56 kWh/hari yang menunjukkan sistem PLTS tersebut mampu memproduksi energi yang signifikan untuk memenuhi kebutuhan energi pada gedung tersebut. *Performance Ratio* dari sistem PLTS atap ini sebesar 0,82 yang menunjukkan bahwa sistem PLTS atap cukup efektif dalam memanfaatkan sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik.

Project summary				
Geographical Site Direktorat Polines Indonesia	Situation	Project settings		
	Latitude	-7 05 °S	Albedo	0.20
	Longitude	110 44 °E		
	Altitude	199 m		
	Time zone	UTC+7		
Meteo data Direktorat Polines Meteonorm 8.0 (2010-2014), Sat=100% - Synthetic				

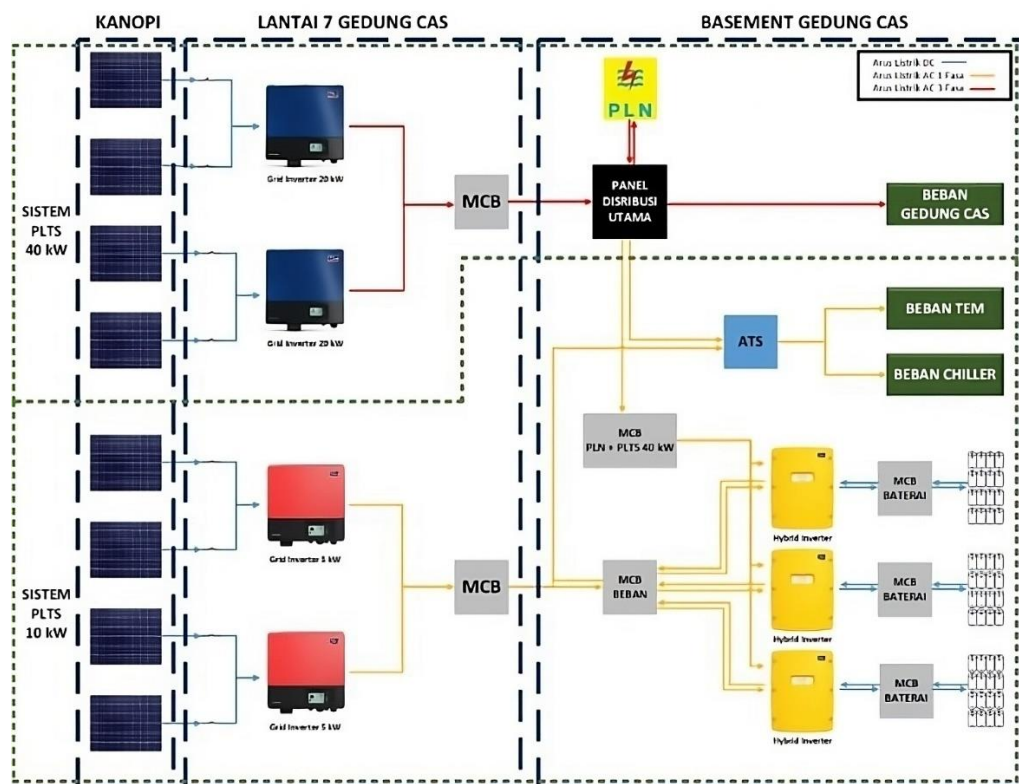
System summary			
Grid-Connected System		No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation		Near Shadings	User's needs
Fixed plane		No Shadings	Unlimited load (grid)
Tilt/Azimuth	21 / 0 °		
System information			
PV Array		Inverters	
Nb. of modules	16 units	Nb. of units	1 unit
Pnom total	6.08 kWp	Pnom total	5.00 kWac
		Pnom ratio	1.216

Gambar 2. 5 Simulasi PVsyst sistem PLTS atap (Karuniawan *et al.*, 2023)

Penelitian tentang potensi PLTS dengan menggunakan PVsyst juga telah diteliti oleh (Indira *et al.*, 2024). Metode yang digunakan dengan menggunakan hasil pengukuran profil beban dan konsumsi energi di rumah tinggal kabupaten Temanggung. Sudut kemiringan modulnya sebesar 16,35° dan komponen modul yang digunakan yaitu *polycrystalline* dengan daya output 200 Wp. Baterainya menggunakan spesifikasi 12V-200AH. Dari hasil simulasi dapat diketahui tingkat keborosan sistem PLTS cukup tinggi hingga 32,7%. Namun tingkat kecukupan

energi terhadap kebutuhan energi listrik sangat bagus mencapai 96,7%. Modul surya yang terpasang memiliki nilai *losses* sebesar 10% sehingga total daya *output* keseluruhan dari sistem PLTS sebesar 146 kW.

Haq dan Pradipta turut melakukan penelitian serupa menggunakan metode *peak load shaving* untuk memperoleh simulasi energi pada sistem PLTS. *Peak load shaving* adalah metode manajemen energi untuk membuat profil konsumsi energi menjadi rata dengan mengurangi jumlah beban puncak atau menggeser penggunaan beban listrik ke waktu beban yang lebih rendah. Secara umum, sistem PLTS terbagi menjadi dua bagian yakni sistem PLTS berkapasitas 10 kWp dan 40 kWp. Dengan skema perancangannya menggunakan dua perangkat lunak yaitu PVsyst dan Homer untuk simulasi energi surya dan untuk menganalisis penggunaan energi serta keekonomian dari sistem (Haq *et al.*, 2021). Skema rancangan sistem ditunjukkan pada **Gambar 2.6**. Hasil yang diperoleh untuk PLTS 40 kWp dapat menyuplai energi sebesar 52,3 MWh per tahun dengan PR rata-rata tahunan sebesar 0,833. Sedangkan PLTS 10 kWp mampu menyuplai energi sebesar 12,3 MWh per tahun dengan PR rata-rata tahunan 0,77.



Gambar 2. 6 Skema rancangan sistem PLTS (Haq *et al.*, 2021)

2.2 Energi Baru Terbarukan

Hingga tahun 2021, pembangkit listrik bahan bakar fosil seperti batu bara, gas, dan minyak bumi masih mendominasi sebagai sumber untuk memenuhi kebutuhan energi dunia. Sumber energi tak terbarukan tersebut memiliki peran yang penting untuk mendorong pertumbuhan ekonomi dalam beberapa abad terakhir. Namun ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dapat menimbulkan masalah yang signifikan. Bahan bakar fosil dapat menyebabkan langkanya sumber daya, ketidakstabilan harga, dan ketergantungan geopolitik (Monge *et al.*, 2023). Efek merugikan lain juga dapat ditimbulkan termasuk emisi gas rumah kaca, penurunan kualitas air, polusi udara dan masalah kesehatan lainnya. Dengan melihat berbagai tantangan tersebut, meningkatkan urgensi peralihan ke sumber energi terbarukan yang lebih bersih dan berkelanjutan sangat diperlukan (Ciawi *et al.*, 2024).

Energi Baru Terbarukan (EBT) merupakan sumber energi alternatif karena pengelolaannya berasal dari proses alam yang berkelanjutan. Sumber energi ini memiliki ketersediaan yang tidak terbatas dan dapat dimanfaatkan secara terus menerus, selain itu memiliki sifat ramah lingkungan sehingga dapat mengatasi pemanasan global dan mengurangi emisi gas rumah kaca (Sarante, 2024). Di Asia Tenggara, Indonesia menjadi negara dengan urutan ketiga yang memproduksi energi terbarukan terbanyak sebagai sumber energi nasional. Sementara di urutan pertama adalah Vietnam yang menggunakan energi terbarukan sebesar 21,98% sebagai sumber energi utama. Diikuti oleh Malaysia sebesar 15,51% dan di peringkat ketiga yaitu Indonesia yang menyumbangkan energi terbarukan sebesar 8,81% (Kurniawan *et al.*, 2022). Indonesia dapat terus meningkatkan penggunaan energi terbarukan sebagai sumber energi primer karena terdapat banyak sumber energi terbarukan yang potensial di Indonesia (Halawa & Sugiyatno, 2001).

Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar di Indonesia adalah energi matahari. Indonesia adalah negara yang wilayahnya dilewati oleh garis khatulistiwa sehingga memiliki potensi energi matahari yang besar, dengan rata rata radiasi matahari mencapai 4,8 kWh/m²/hari (Kariongan & Joni, 2022).

Sumber energi yang dihasilkan oleh matahari sangat berlimpah dan bermanfaat. Seiring dengan perkembangan teknologi, bentuk pemanfaatan dari energi yang berasal dari matahari yaitu dengan merubahnya menjadi energi listrik. Teknologi untuk merubah energi tersebut dikenal dengan *solar cell* atau panel surya. Penggunaan panel surya sebagai energi terbarukan dapat menjadi langkah untuk mengurangi penggunaan energi fosil karena panel surya hanya membutuhkan sinar matahari sebagai sumber utama untuk menghasilkan energi listrik (Rudiyanto *et al.*, 2023).

2.3 Karakteristik Energi Matahari

Indonesia diuntungkan berkat posisi geografisnya berada di wilayah tropis sehingga memiliki potensi energi matahari yang besar. Intensitas sinar matahari di Indonesia mencapai 4,5 sampai 5,4 kWh/m²/hari dengan durasi penyinaran sekitar 12 jam yang cukup stabil sepanjang tahun. Wilayah-wilayah seperti Lampung mempunyai rata-rata intensitas radiasi matahari sebesar 4,43 kWh/m²/hari. Karakteristik ini mencerminkan adanya potensi yang cukup konstan sepanjang tahun, meskipun terdapat perbedaan kecil dalam intensitas yang disebabkan faktor musim (Sofijan *et al.*, 2021). Meskipun demikian, Lampung juga memiliki beberapa tantangan dalam pemanfaatan energi matahari secara optimal. Suhu tinggi di wilayah tropis dapat menyebabkan efisiensi panel surya berkurang karena tegangan dan daya keluaran modul surya mengalami penurunan, sehingga dibutuhkan sistem pendingin untuk menjaga kinerja panel tetap optimal. Penerapan teknologi pendingin pada modul surya mampu meningkatkan efisiensi hingga 20% dalam kondisi radiasi yang intens (Ali & Windarta, 2020).

Selain itu, Lampung memiliki variasi musiman dalam intensitas radiasi matahari yang lebih rendah dibandingkan wilayah tropis lainnya. Namun pada musim penghujan, intensitas sinar matahari akan berkurang hingga 20-30%. Variasi intensitas tersebut dapat disebabkan karena aktivitas sinar matahari dan sinar kosmik yang berinteraksi dengan atmosfer. Sinar kosmik yang dipengaruhi oleh variasi radiasi matahari berkontribusi terhadap kondisi atmosfer dan perubahan

iklim global. Dampak ini dapat dilihat melalui fluktuasi suhu, kelembaban, dan curah hujan yang dapat mempengaruhi performa modul surya. Fluktuasi ini perlu diperhitungkan dalam pengembangan sistem energi matahari yang adaptif terhadap kondisi lingkungan tropis (Mauladhani *et al.*, 2023).

2.4 Teori Semikonduktor

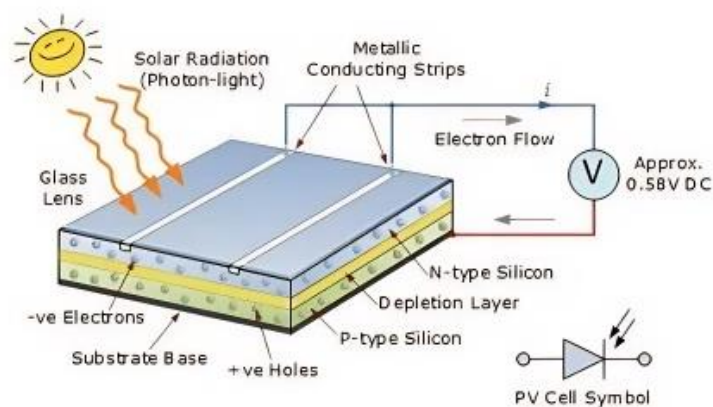
Semikonduktor merupakan material yang memiliki sifat konduktivitas di antara konduktor dan isolator. Konduktivitasnya lebih tinggi dari isolator dan lebih rendah daripada logam. Sifat ini memungkinkan semikonduktor dapat berfungsi berbeda berdasarkan suhu, seperti germanium akan bersifat seperti isolator pada suhu rendah dan pada suhu tinggi akan menjadi konduktor. Menurut kemurnian bahannya semikonduktor dapat dibedakan menjadi dua jenis, yakni semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik. Semikonduktor intrinsik merupakan semikonduktor murni yang hanya mengandung satu jenis atom. Contohnya Silikon (Si) dan Germanium (Ge) tanpa adanya pengotor. Sementara itu, semikonduktor ekstrinsik ialah semikonduktor yang sudah diberi pengotor (doping) yakni penambahan atom lain (impuritas) untuk mengubah sifatnya. Doping ini akan menghasilkan dua tipe semikonduktor yaitu tipe p dan tipe n. Semikonduktor tipe p dibuat dengan menambahkan atom bervalensi tiga seperti Boron (B), Galium (Ga), atau Aluminium (Al) yang menimbulkan “hole” atau kekosongan. Sedangkan tipe n dibuat dengan menambahkan atom bervalensi lima, seperti Fosfor (P), atau Arsen (As) yang menyebabkan kelebihan elektron (Neamen, 2009).

Berdasarkan konsep pita energi, semikonduktor mempunyai pita valensi yang hampir penuh dan pita konduksi yang hampir kosong yang dipisahkan oleh celah energi yang kecil (sekitar 1 eV). Pada suhu ruang, sebagian kecil elektron pada pita valensi dapat memperoleh energi yang cukup untuk berpindah ke pita konduksi dan menjadi elektron bebas, meskipun memiliki jumlah yang terbatas (Kittel, 2004). Hal tersebut membuat semikonduktor tidak dapat berfungsi sebagai konduktor yang baik, namun tidak sepenuhnya pula menjadi isolator. Saat semikonduktor tipe p dan tipe n dihubungkan, pembawa muatan seperti elektron dan *hole* bergerak mendekati

daerah sambungan. Dengan pergerakan ini terbentuk daerah tanpa muatan bebas yang dikenal dengan daerah deplesi. Pada daerah inilah akan terbentuk medan listrik sebagai akibat dari adanya ion-ion positif di sisi tipe p dan ion negatif pada sisi tipe n. Proses ini menciptakan aliran *hole* dari tipe p ke tipe n dan elektron dari tipe n ke tipe p, yang akan berhenti saat tidak ada lagi elektron dengan energi yang cukup untuk bergerak melintasi daerah sambungan. Daerah yang bebas muatan ini disebut sebagai daerah pengosongan atau deplesi (Fardi, 2015).

2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah salah satu dari pengembangan energi baru terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan di Indonesia. Indonesia mempunyai rata-rata tingkat radiasi matahari sebesar 4,8 kWh/m²/hari sehingga adopsi PLTS sangat cocok untuk diterapkan (Sugiyono *et al.*, 2013). PLTS merupakan suatu pembangkit yang mengkonversi energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi tersebut terjadi pada panel surya yang terdiri dari kumpulan sel-sel surya (Ramadhana *et al.*, 2022). Sel surya berperan sebagai *device* semikonduktor yang mempunyai permukaan luas yang terdiri dari rangkaian dioda tipe p dan tipe n, sehingga dapat merubah energi matahari menjadi energi listrik. Sel surya sangat bergantung pada sebuah efek yang dikenal dengan efek fotovoltaiik untuk menyerap energi matahari dan menimbulkan arus dapat mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan (Muslim *et al.*, 2020).



Gambar 2. 7 Proses terjadinya fotovoltaiik pada sel surya (Rudiyanto *et al.*, 2023)

Efek fotovoltaiik ditemukan pertama kali oleh fisikawan yang bernama Edmund Becquerel pada tahun 1839. Sampai saat ini teknologi fotovoltaiik masih diterapkan pada sel surya. Pada **Gambar 2.7** menunjukkan terjadinya efek fotovoltaiik di mana energi foton yang mengenai bahan semikonduktor tipe n yang menyebabkan elektron-elektron pada semikonduktor tersebut dapat terbebas. Kemudian elektron yang terbebas itu dialirkan ke semikonduktor tipe p sehingga terjadi arus listrik searah atau DC (*Direct Current*). Listrik yang dihasilkan dapat disimpan dalam baterai atau dapat juga diubah menjadi arus listrik AC (*Alternating Current*) menggunakan sebuah inverter (Rudiyanto *et al.*, 2023). Saat ini terdapat beberapa jenis sistem PLTS baik sistem yang tersambung ke jaringan listrik PLN (*on-grid*) maupun sistem yang berdiri sendiri atau tidak terhubung ke jaringan listrik PLN (*off-grid*).

2.6 Jenis-jenis Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

2.6.1 Sistem PLTS *On-Grid*

Sistem PLTS *on-grid* adalah sistem yang secara langsung terhubung ke jaringan listrik. Pada dasarnya sistem PLTS *on-grid* menggabungkan PLTS dengan jaringan listrik (PLN). Sistem ini memiliki komponen utama yang terdiri dari *Power Conditioning Unit* (PCU) atau inverter yang memiliki fungsi sebagai pengubah daya DC menjadi daya AC yang telah disesuaikan dengan persyaratan jaringan listrik utilitas (Afrida *et al.*, 2022).

2.6.2 Sistem PLTS *Off-Grid*

Sistem PLTS *off-grid* merupakan sistem yang bekerja secara independen tanpa terhubung dengan jaringan PLN. Sistem ini hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan rangkaian panel surya untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan. Sistem PLTS ini memerlukan baterai sebagai penyimpan energi listrik yang dihasilkan pada siang hari untuk dapat memenuhi kebutuhan listrik di malam hari (Ramadhani, 2018).

2.6.3 Sistem PLTS *Hybrid*

Sistem PLTS *hybrid* yaitu sistem yang menggabungkan PLTS *on-grid* dan *off-grid*. Untuk dapat menghasilkan energi listrik sistem ini menggunakan cara yang sama seperti sistem *on-grid*, namun sistem *hybrid* tetap menggunakan baterai untuk menyimpan energi yang dihasilkan. Kemampuan tersebut memungkinkan sistem ini dapat tetap beroperasi saat terjadi pemadaman. Komponen utama pada sistem *hybrid* meliputi modul surya, inverter, kontrol *hybrid*, generator, sambungan listrik dan beban, serta baterai untuk menjaga stabilitas (Taro & Hamdani, 2020).

2.7 Komponen PLTS

Komponen inti dari suatu PLTS terdiri dari panel surya, *solar charge controller*, baterai, dan inverter. Panel surya atau modul surya merupakan komponen utama dalam sistem PLTS. Panel surya terdiri dari suatu kesatuan rangkaian yang di dalamnya terdapat sel-sel surya yang dihubungkan baik secara seri, paralel maupun kombinasi dari keduanya. Komponen ini berperan menerima energi radiasi matahari dan mengkonversinya menjadi listrik melalui proses fotovoltaiik, listrik yang dihasilkan yaitu arus listrik DC (Gunoto & Sofyan, 2020).

Panel surya yang tersedia saat ini sangat beraneka ragam mulai dari bentuk dan jenisnya yang memiliki kemampuan tersendiri. Jenis panel surya yang umum digunakan yakni *mono-crystalline*, *poly-crystalline*, dan *thin film*. Monokristal merupakan panel surya yang memiliki efisiensi mencapai 15% termasuk paling tinggi diantara jenis yang lain. Jenis ini dirancang untuk penggunaan yang membutuhkan konsumsi listrik besar dengan iklim yang ekstrim. Polikristal adalah panel surya yang susunan kristalnya acak karena dipabrikan dengan proses pengecoran. Panel ini memiliki harga yang lebih terjangkau dibandingkan monokristal, namun efisiensi dari panel surya tipe polikristal lebih rendah dari tipe monokristal antara 10-12%. *Thin film* adalah jenis panel surya yang memiliki struktur lapisan tipis mikro kristal-silikon dan amorphous dengan efisiensi modulnya mencapai 8,5%. Luas permukaan yang dibutuhkan per watt daya yang

dihasilkan lebih besar dari kedua tipe modul sebelumnya. Meskipun memiliki efisiensi paling rendah, inovasi terbaru tipe *thin film tripple junction photovoltaic* mampu menghasilkan daya listrik sampai 45% dalam kondisi yang berawan yang lebih tinggi dari jenis panel lain (Purwoto *et al.*, 2018).

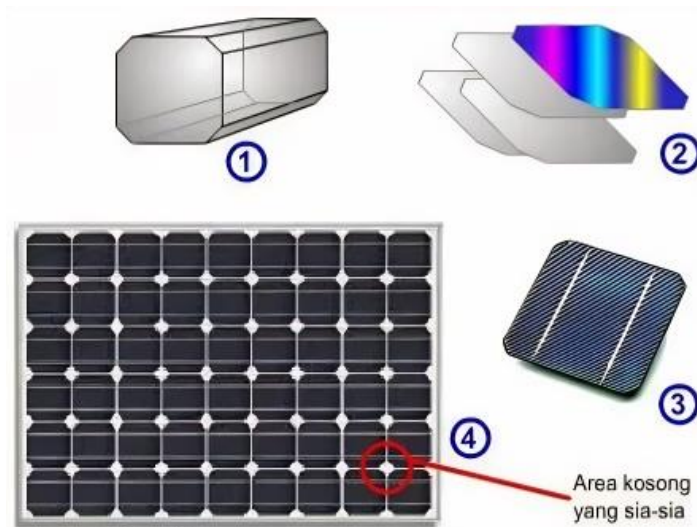
Komponen yang tak kalah penting lainnya yaitu *charge controller* yang berfungsi untuk mengatur pengisian arus DC dari panel surya ke baterai dan sebagai pengaturan penyaluran arus listrik dari baterai menuju beban listrik. *Solar charge controller* (SCC) adalah komponen pada PLTS yang memiliki fungsi mengatur pengisian baterai dengan menggunakan modul fotovoltaik menjadi lebih optimal. Komponen ini beroperasi dengan cara mengatur tegangan dan arus pengisian berdasarkan daya yang dihasilkan modul surya dan status pengisian baterai (Samsurizal *et al.*, 2021).

Baterai adalah perangkat yang digunakan untuk menyimpan energi. Baterai menjadi komponen yang penting dalam PLTS dengan sistem *off-grid* ataupun *hybrid*. Energi yang disimpan pada baterai digunakan sebagai cadangan yang biasanya digunakan saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik. Misalnya digunakan sebagai suplai beban saat malam hari atau pada saat kondisi berawan maupun hujan. Baterai yang tepat untuk panel surya yaitu baterai *deep cycle lead acid* dengan efisiensi 80% (Rahmawati *et al.*, 2023). Inverter pada PLTS merupakan komponen penting yang digunakan untuk mengkonversi arus DC menjadi arus AC serta mengontrol kualitas dari daya listrik yang dikeluarkan untuk dikirim ke beban. Inverter mengkonversi arus DC 12-24 V yang bersumber dari baterai, panel surya, atau perangkat tegangan DC lain menjadi arus AC 220 V. Pada PLTS untuk sistem yang bebannya kecil umumnya menggunakan inverter satu fasa, sementara untuk sistem yang bebannya besar digunakan inverter tiga fasa (Usman, 2020).

2.8 Tipe-tipe Panel Surya

2.8.1 *Monocrystalline*

Panel surya monokristalin terbuat dari bahan kristal silikon murni yang diiris tipis-tipis sehingga dihasilkan kepingan sel surya yang berkinerja tinggi dan identik satu sama lain. Monokristalin dibuat melalui proses *Czochralski* sesuai dengan nama ilmuwan Polandia yang menemukannya ketika ia tak sengaja mencelupkan pulpen ke dalam silikon timah cair. Jenis panel ini memiliki efisiensi paling tinggi dibandingkan jenis yang lain yaitu sekitar 15%-20%. Panel surya monokristalin juga memiliki harga yang paling tinggi disebabkan harga kristal silikon murni yang mahal dan teknologi yang digunakan. Kelemahan dari jenis monokristalin yakni memiliki banyak ruang kosong karena sel suryanya berbentuk segi enam atau bulat, tergantung dari batangan kristal silikonnya seperti pada **Gambar 2.8**.



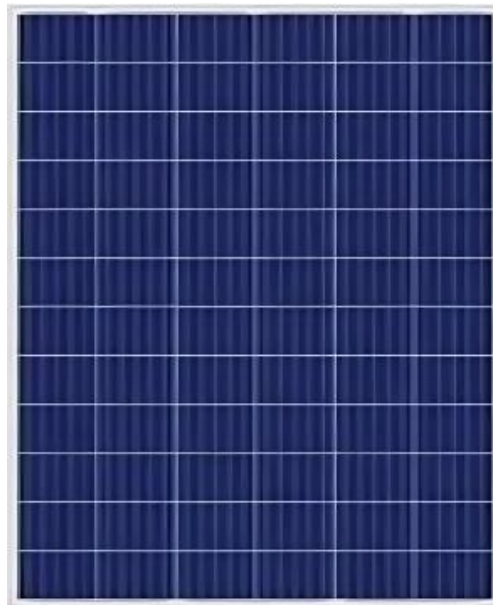
Gambar 2. 8 Panel Surya Monokristalin (Samsurizal *et al.*, 2021)

Pada gambar tersebut bagian 1 menunjukkan batangan kristal silikon murni, bagian 2 menunjukkan irisan kristal silikon yang sangat tipis, bagian 3 menggambarkan sebuah sel surya monokristalin yang sudah jadi. Dan bagian 4 menunjukkan sebuah panel surya monokristalin yang berisi susunan sel surya yang tampak area kosong yang tidak tertutup karena bentuk sel suryanya. Keunggulan panel surya ini, selain efisiensi yang tinggi juga lebih hemat ruang dan dikenal sebagai panel surya yang paling awet. Kebanyakan pabrikan menawarkan garansi hingga 25 tahun. Panel

surya monokristalin memiliki performa lebih baik saat kondisi cuaca mendung daripada polikristalin, sehingga jenis ini cocok untuk daerah dengan intensitas hujan yang cukup tinggi (Samsurizal *et al.*, 2021).

2.8.2 Polycrystalline

Panel Surya polikristalin merupakan panel surya yang terbuat dari batang kristal silikon yang dicairkan lalu dicetak sehingga berbentuk persegi. Polikristalin bahan kristalnya tidak sempurna monokristalin sehingga hasil sel suryanya tidak identik satu sama lain dan efisiensinya lebih kecil yakni sekitar 13%-16%. Panel surya ini memiliki tampilan yang tampak seperti motif pecahan kaca di dalamnya, berbentuk persegi dan tidak terdapat ruang kosong yang tersisa seperti pada **Gambar 2.9**.

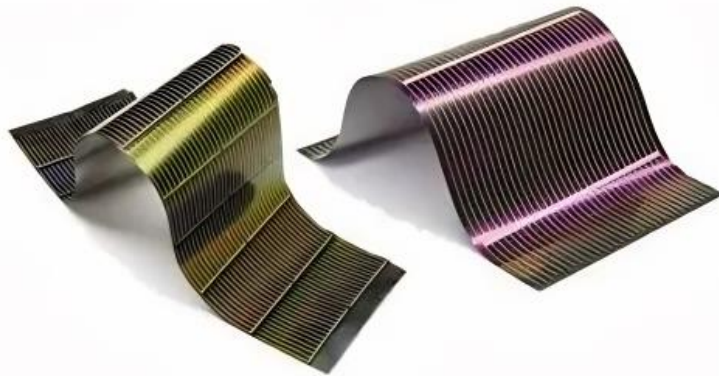


Gambar 2. 9 Panel Surya Polikristalin (Jamaaluddin, 2021)

Proses pembuatan panel surya polikristalin lebih sederhana dibandingkan monokristalin, karena tidak membutuhkan proses *Czochralski*. Sebuah biji kristal silikon tunggal dan silikon cair dimasukkan dalam cetakan persegi kemudian dibiarkan beberapa saat. Silikon akan mendingin dengan waktu yang berbeda ketika bagian luar mendingin lebih cepat. Pengaturan yang tidak merata ini lalu menghasilkan banyak kristal yang tidak seragam dan disebut polikristalin yang memberi kesan panel gemerlap dan beraneka warna (Jamaaluddin, 2021).

2.8.3 Thin Film

Panel surya *thin film* diproduksi melalui penambahan satu atau beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar. Jenis panel ini sangat tipis sehingga beratnya sangat ringan dan fleksibel seperti tampak pada **Gambar 2.10**.



Gambar 2. 10 Panel surya *thin film* (Safitri *et al.*, 2020)

Berdasarkan material penyusunnya *thin film* dikelompokkan menjadi:

a. *Amorphous Silicon* (a-Si)

Jenis panel surya ini pada awalnya banyak diterapkan di kalkulator dan jam tangan. Tetapi seiring dengan kemajuan teknologi penerapannya menjadi semakin luas. Teknik pembuatannya dikenal dengan “*stacking*” atau susun lapis, di mana beberapa lapis *Amorphous Silicon* ditumpuk membentuk sel surya yang akan menghasilkan efisiensi yang lebih baik antara 6%-8%.

b. *Cadmium Telluride* (CdTe)

Panel surya ini mengandung bahan *Cadmium Telluride* yang efisiensinya lebih tinggi daripada *Amorphous Silicon* yakni antara 9%-11%.

c. *Copper Indium Gallium Selenide* (CIGS)

CIGS merupakan jenis panel surya yang mempunyai efisiensi paling tinggi dari kedua jenis *thin film* sebelumnya yaitu sebesar 10%-12%. Jenis ini tidak mengandung bahan berbahaya *Cadmium* seperti pada CdTe.

Teknologi produksi *thin film* masih tergolong baru dan masih banyak kemungkinan untuk dikembangkan di masa depan. Biaya produksi yang rendah serta bentuk yang tipis, ringan serta fleksibel menjadikannya mudah ditempatkan pada berbagai

bentuk permukaan seperti dinding gedung, kaca, atap rumah, bahkan tidak menutup kemungkinan pada pakaian seperti baju kaos (Safitri *et al.*, 2020).

2.9 Kinerja Sistem PLTS

Kinerja sistem PLTS sangat bergantung pada faktor-faktor baik internal maupun eksternal yang saling berhubungan satu sama lain. Faktor eksternal seperti radiasi matahari, orientasi dan kemiringan modul surya, *shading*, serta peningkatan suhu dapat mempengaruhi hasil daya keluaran PLTS. Daya maksimum yang dapat dihasilkan suatu PLTS bergantung pada besarnya intensitas cahaya yang masuk setiap harinya. Sehingga adanya pengaruh cuaca serta gangguan *shading* benda yang menutupi permukaan modul dapat mempengaruhi penyerapan intensitas cahaya oleh modul surya menjadi listrik (Koerniawan & Hasanah, 2019).

Intensitas cahaya atau radiasi sinar matahari dapat diukur dalam satuan W/m^2 yang nilainya akan sangat bervariasi diberbagai tempat. Karena daya keluaran modul surya berbanding lurus dengan radiasi matahari, maka diperlukan pengukuran radiasi secara langsung maupun pengolahan data sekunder sebelum merancang suatu sistem PLTS. Modul surya sebaiknya dipasang pada orientasi, kemiringan, dan ketinggian yang sama dalam suatu rangkaian seri maupun paralel. Kenaikan suhu modul juga akan menyebabkan penurunan efisiensi pada modul surya sesuai dengan temperatur dari suatu modulnya ($\%/^{\circ}C$). Bayangan dari benda (*shading*) merupakan masalah yang krusial pada PLTS karena dapat mengurangi kinerja sistem secara signifikan. Bayangan dari benda yang menghalangi sinar matahari dan penumpukan debu dapat mengganggu proses transmisi sinar. Modul yang terkena bayangan baik sebagian ataupun secara keseluruhan tidak hanya dapat mengurangi besar energi yang dihasilkan, namun juga berisiko mempengaruhi kondisi modul surya itu sendiri. Ketika terjadi bayangan sebagian pada modul surya akan menyebabkan peningkatan panas pada sel yang terkena *shading* atau dikenal dengan *hot spot* yang mengakibatkan penurunan umur modul surya (Ramadhani, 2018).

Selain faktor eksternal, terdapat pula faktor internal yang dapat mempengaruhi kinerja sistem PLTS. Faktor tersebut mencakup efisiensi panel surya, serta berbagai komponen pendukung yang digunakan dalam sistem PLTS seperti efisiensi inverter, ataupun efisiensi baterai. Efisiensi panel surya mengacu pada besarnya persentase energi matahari yang mampu diubah menjadi listrik dan dapat digunakan. Semakin efisien suatu panel maka listrik yang dihasilkan juga akan semakin banyak. Listrik yang dihasilkan dari penyimpanan baterai dapat dengan mudah diubah menjadi panas, namun dalam baterai proses konversinya relatif tidak efisien. Pada baterai sekunder efisiensinya hanya berkisar antara 70-80% untuk siklus pengisian dan pengosongan (Safitri *et al.*, 2020). Efisiensi suatu inverter perlu diketahui dalam konversi listrik DC dari panel surya menjadi listrik AC yang sinkron dengan grid. Efisiensi inverter dapat digunakan sebagai perbandingan keluaran AC yang dihasilkan oleh inverter dengan daya masukan DC yang diterima dari panel surya (Diansyah *et al.*, 2021).

2.10 Metode Instalasi PLTS

Ada tiga jenis metode dalam pemasangan PLTS yakni *roof-mounted*, *ground-mounted*, dan *reservoir/lake-based floating solar system*. Ketiga metode ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing serta karakteristik yang berbeda sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan energi dan kondisi lokasi setempat. Dengan pesatnya perkembangan energi terbarukan, pemahaman akan metode pemasangan PLTS sangat penting untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari.

2.10.1 Roof Mounted

Metode instalasi *roof-mounted* merupakan cara pemasangan dengan memanfaatkan atap bangunan sebagai lahan bebas penghalang untuk memasang sistem PLTS. Atap memiliki fungsi sebagai struktur penopang dalam instalasi sistem. Namun metode ini memerlukan persiapan untuk menghadapi tantangan cuaca seperti hujan, angin, atau bahkan salju. Metode ini akan efektif untuk kapasitas pembangkit yang

kecil sehingga sangat cocok dalam penggunaan rumah tangga atau gedung-gedung komersial. Keunggulan dari *roof-mounted* yakni dapat mengurangi tagihan listrik melalui sistem ekspor-impor energi, mendukung aplikasi energi terbarukan yang lebih modern, serta dapat membantu meminimalisir dampak dari perubahan iklim. Selain itu, dalam instalasinya tidak membutuhkan lahan tambahan yang dapat mengganggu penggunaan lahan yang sudah ada (United States Agency International Development, 2020).

2.10.2 *Ground-Mounted*

Instalasi *ground-mounted* adalah metode yang memanfaatkan lahan kosong yang datar dan stabil tanpa adanya halangan. Dalam pemasangannya diperlukan tonggak dan balok baja untuk mendukung struktur yang kokoh, serta membutuhkan analisis untuk memastikan lahan yang digunakan stabil dalam jangka waktu panjang. Metode ini lebih cocok diterapkan pada pembangkit dengan skala yang lebih besar biasanya dalam proyek-proyek PLTS. Keunggulan *ground-mounted* yaitu suhu panelnya lebih stabil karena adanya pendingin alami dari tanah. Akan tetapi, metode ini memiliki kelemahan seperti membutuhkan lahan yang luas dengan akumulasi debu serta kotoran yang akan mengurangi *output* panel hingga 20% jika dibiarkan menutupi panel. Solusi yang dapat dilakukan berupa pembersihan secara rutin misalnya setiap empat bulan sekali (Wibowo *et al.*, 2019).

2.10.3 *Reservoir / Lake Based Floating Solar System*

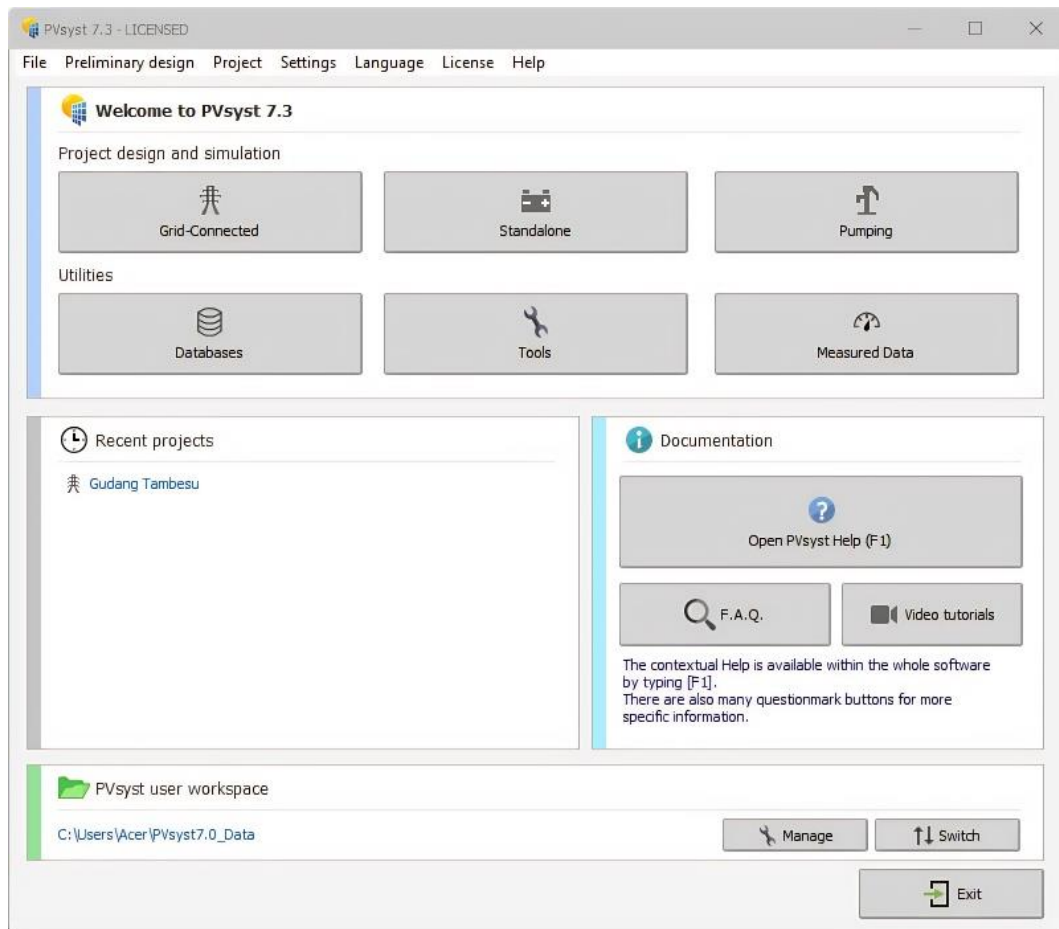
Metode *floating solar photovoltaic* dikenal sebagai metode yang memanfaatkan permukaan air dengan sistem terapung. Sistem ini dipasang pada berbagai jenis badan air termasuk laut, danau, ataupun waduk. *Floating solar system* mempunyai potensi yang besar untuk dikembangkan karena permukaan air menyediakan sistem pendinginan evaporatif alami yang akan menjaga suhu panel lebih rendah. Ketika suhunya rendah peningkatan efisiensi panel akan terjadi bahkan mencapai 11% dibandingkan dengan sistem *ground-mounted*. Selain itu, metode ini juga memiliki kendala yang minim terkait bayangan pada panel dan akumulasi debu juga relatif

kecil. Metode ini dapat menjadi pilihan menarik untuk mengatasi keterbatasan lahan dengan memanfaatkan sumber daya air yang ada (Sahu *et al.*, 2016).

2.11 PVsyst

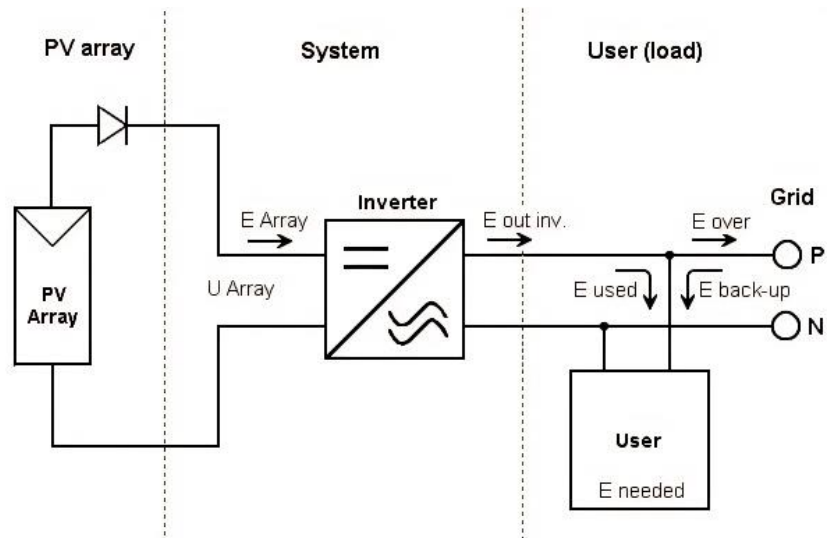
PVsyst merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), serta analisis data dari sistem PV yang dikembangkan oleh Universitas Genewa sebagai pusat energi Eropa. PVsyst memiliki fitur simulasi sistem terinterkoneksi jaringan (*grid-connected*), sistem berdiri sendiri (*stand-alone*), sistem pompa (*pumping*) dan jaringan arus searah untuk transportasi publik (*DC-grid*). PVsyst dilengkapi database dari sumber data meteorologi yang luas dan beragam seperti Meteonorm dan NASA-SSE, serta data komponen-komponen PV. Namun database eksternal juga dapat digunakan untuk menyesuaikan lokasi penelitian (Dirlik *et al.*, 2023).

Software PVsyst juga menawarkan berbagai fitur yang dapat membantu dalam desain dan evaluasi sistem PV termasuk analisis radiasi matahari untuk menghitung radiasi matahari yang diterima di lokasi tertentu berdasarkan data historis. Hal tersebut memungkinkan pengguna untuk memprediksi jumlah energi matahari yang dihasilkan oleh sistem PV dalam periode tertentu. Perhitungan produksi energi juga dapat dilakukan melalui PVsyst yang akan membantu dalam memahami kinerja sistem dan pengoptimalan desain (Kumar *et al.*, 2019). PVsyst dapat melakukan evaluasi ekonomi sistem PV yang mencakup perhitungan biaya investasi awal, biaya operasional dan pemeliharaan, serta penghematan energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS. PVsyst memungkinkan penggunaanya untuk mengoptimalkan desain sistem PV melalui eksplorasi berbagai konfigurasi sistem dan menilai dampaknya terhadap kinerja dan ekonomi (Siregar *et al.*, 2024). Adapun tampilan awal PVsyst dapat dilihat pada **Gambar 2.11**.

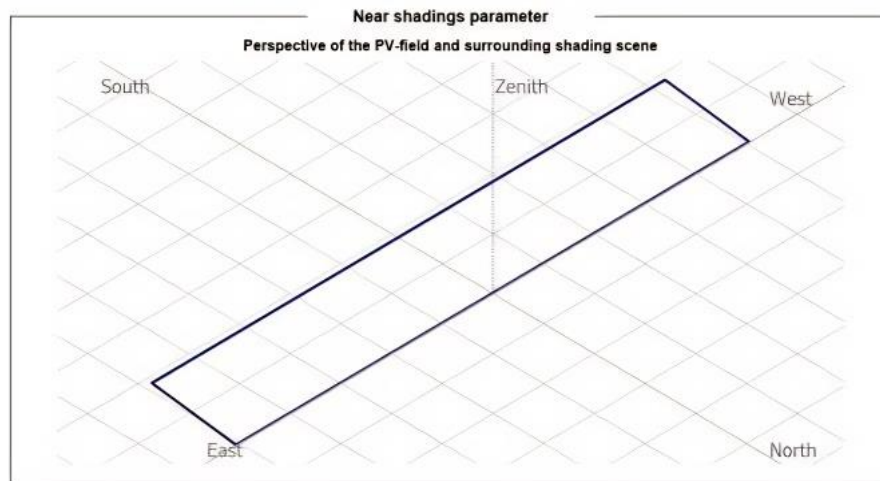


Gambar 2. 11 Tampilan awal PVsyst

PVsyst memiliki keunggulan yaitu dapat melakukan simulasi untuk sistem PV yang terhubung ke jaringan maupun sistem PV yang *off-grid* atau tidak terhubung ke jaringan serta dapat digunakan untuk memodelkan sistem dengan berbagai ukuran dan konfigurasi. Mirip dengan PVsol, PVsyst dapat melakukan simulasi *shading* 3D, pemodelan finansial, dan hasil simulasi dapat disajikan dalam bentuk dokumen laporan (Karuniawan, 2021). Contoh diagram sirkuit/*wiring* dan simulasi *shading* yang dihasilkan PVsyst ditunjukkan pada **Gambar 2.12** dan **Gambar 2.13**. Metode simulasi PVsyst didasarkan pada model matematika yang kompleks dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti geometri lokasi, kondisi cuaca, efisiensi komponen, dan teknis lainnya. Hasil simulasi yang diperoleh dapat memberikan informasi yang berharga untuk perencanaan dan pengembangan sistem PV (Cinici *et al.*, 2023).



Gambar 2. 12 Sirkuit diagram pada PVsyst (Karuniawan, 2021)



Gambar 2. 13 Simulasi *shading* pada PVsyst (Karuniawan, 2021)

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Institut Teknologi Sumatera (Itera) yang berlokasi di Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kab. Lampung Selatan pada bulan Januari 2025 sampai dengan Februari 2025.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3. 1 Alat dan bahan penelitian

No.	Nama Alat dan Bahan	Fungsi
1.	Laptop	Melakukan analisis PVsyst
2.	Meteran	Mengukur panjang kabel
3.	<i>Solar Power Meter</i>	Mengukur intensitas radiasi matahari
4.	<i>Inclinometer</i>	Mengukur kemiringan panel surya
5.	Hp/kamera	Mengambil gambar spesifikasi komponen PLTS
6.	Panel Surya	Menghasilkan energi listrik
7.	Inverter	Mengkonversi listrik DC menjadi AC
8.	Termometer inframerah (Testo 865)	Mengukur suhu permukaan panel surya

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahap dimulai dari pemahaman mengenai dasar teori PLTS, survei lokasi penelitian, studi literatur, identifikasi dan pengumpulan data pendukung penelitian, pengolahan data PVsyst 7.3.1, simulasi hasil *report software* PVsyst, dan perbandingan data riil. Secara umum, prosedur penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.

3.3.1 Pemahaman Dasar Teori PLTS

Langkah ini dilakukan untuk memahami apa saja yang menjadi dasar perencanaan PLTS. Pencarian mengenai landasan teori diperoleh melalui jurnal, buku dan lainnya untuk memenuhi teori dan konsep pada penelitian ini, sehingga peneliti memiliki landasan pengetahuan yang benar dan sesuai dengan fakta.

3.3.2 Survei Lokasi Penelitian

Survei ini dilakukan untuk mengobservasi komponen apa saja yang digunakan pada PLTS Itera. Komponen yang diperiksa secara umum antara lain jumlah modul yang digunakan, spesifikasi PV, spesifikasi inverter, spesifikasi kabel, AC *combiner*, *breaker* dan lainnya. Pada tahap ini dilakukan pengukuran pada lahan PLTS Itera seperti jarak antar PV, berapa kemiringan PV, bagaimana peletakan inverter dan sebagainya. Data pada penelitian ini menggunakan beberapa cara seperti wawancara dan observasi dalam melaksanakan pengamatan serta analisa objek kelayakan yang akan diteliti sehingga dapat menghasilkan data dan penjelasan yang diperlukan peneliti.

3.3.3 Studi Literatur

Langkah ini yang dijadikan standar atau rujukan saat menyusun penulisan tugas akhir yaitu jurnal-jurnal yang membahas mengenai energi baru terbarukan yang berkaitan dengan energi matahari. Selain itu, referensi terkait desain *photovoltaic*

grid dengan bantuan data satelit yang mampu menyajikan data keadaan iklim, suhu dan intensitas radiasi matahari pada lokasi penelitian yakni di PLTS Itera.

3.3.4 Identifikasi dan Pengumpulan Data Pendukung Penelitian

Pada langkah ini dilakukan identifikasi dan pengumpulan data yang sudah didapatkan pada saat survei lokasi penelitian baik data primer maupun data sekunder.

3.3.5 Pengolahan Data PVsyst 7.3.1

Pada langkah ini peneliti mengolah data melalui penentuan titik koordinat, orientasi sudut kemiringan, dan terkait sistem yang digunakan seperti PV modul, inverter dan sebagainya dan apabila sudah sesuai akan dilanjutkan ke langkah berikutnya.

3.3.6 Simulasi Hasil *Report Software* PVsyst

Setelah penginputan data pada PVsyst, selanjutnya peneliti mendapatkan hasil pengolahan data *report software* PVsyst yang akan memberikan gambaran suatu sistem PLTS yang digunakan. Apabila hasil yang diberikan belum sesuai, peneliti dapat menginputkan ulang parameter yang belum pas, dan saat hasilnya sudah sesuai dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya.

3.3.7 Perbandingan Data Riil

Tahap ini dilakukan untuk membandingkan hasil simulasi pada perangkat lunak PVsyst dengan data riil di lapangan, sehingga peneliti mendapatkan suatu gambaran potensi energi listrik dari sistem PLTS Itera. Banyaknya energi yang dihasilkan suatu sistem PLTS dapat ditentukan dari beberapa faktor seperti radiasi matahari, kapasitas panel surya, *Performance Ratio* (PR) serta mempertimbangkan rugi-rugi daya yang dapat berasal dari sistem perangkat PLTS (Sutiawan *et al.*, 2024). Untuk menghitung energi yang dihasilkan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

Daya pada panel surya yang digunakan dapat dihitung menggunakan persamaan (3.1) (Sutiawan *et al.*, 2024).

$$P_{pv} = \text{Jumlah modul surya} \times P_{modul} \quad (3.1)$$

dengan :

P_{pv} = total daya sistem fotovoltaik (kW);

P_{modul} = daya maksimum satu panel surya (W).

Energi listrik yang dihasilkan sistem PLTS dapat ditentukan menggunakan persamaan (3.2) (Panjaitan *et al.*, 2023).

$$E_{harian} = P_{pv} \times PSH \quad (3.2)$$

dengan :

E_{harian} = energi yang dihasilkan PLTS per hari (kWh);

P_{pv} = total daya sistem fotovoltaik (kW);

PSH = *Peak Sun Hour* (jam).

Berdasarkan standar yang ditetapkan oleh IEC 61724 tentang *Photovoltaic System Performace Monitoring-Guidelines for Measurement, Data Exchange and Analysis*, performansi sistem PLTS dapat dianalisis dari beberapa parameter seperti *Yield factor* (Y_f), *reference Yield* (Y_r), *Capacity Utilization Factor* (CUF), dan *Performance Ratio* (PR) (IEC, 1998). *Yield factor* adalah parameter untuk menentukan nilai kWh/kWp atau energi dalam bentuk AC dibagi dengan kapasitas daya puncak sistem PLTS. Nilai ini dapat ditentukan berdasarkan periode tahunan, bulanan, dan harian. Dalam menentukan nilai faktor hasil dapat digunakan persamaan (3.3) (Ayu *et al.*, 2023).

$$Y_f = \frac{E_{AC}}{P_{PV}} \quad (3.3)$$

dengan :

Y_f = *Yield factor* (kWh/kWp);

E_{AC} = Produksi Energi Listrik (kWh_{AC});

P_{pv} = Kapasitas PLTS (kW_{pDC}).

Reference yield merupakan total penyerapan radiasi matahari pada suatu bidang (H_T) dalam satuan kWh/m² dibagi dengan irradiansi *array* STC yaitu 1000W/m².

Reference yield dikenal juga dengan *peak sun hours*. Dalam menentukan nilai Y_r dapat menggunakan persamaan (3.4) (Ayu *et al.*, 2023).

$$Y_r = \frac{H_T}{G_{STC}} \quad (3.4)$$

dengan :

Y_r = *Yield reference* (kWh/kW);

H_T = Iradiasi matahari suatu bidang (kWh/m²);

G_{STC} = *Global Horizontal Irradiance* dalam STC (1000 W/m²).

Performance Ratio merupakan tingkat performa suatu sistem PLTS dalam mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Nilai ini biasanya dinyatakan dalam persentase yang menunjukkan kualitas sebuah sistem PLTS dalam beroperasi. Untuk menghitung nilai ini digunakan persamaan (3.5) (Ayu *et al.*, 2023).

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \times 100\% \quad (3.5)$$

dengan :

PR = *Performance Ratio* (%);

Y_f = *Yield factor* (kWh/kWp);

Y_r = *Reference Yield* (kWh/kW).

Capacity Utilization Factor adalah rasio kinerja sistem PLTS berupa keluaran energi listrik yang dapat dibangkitkan setiap jam dalam periode tertentu. Rasio ini biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase. Untuk menghitung rasio CUF dapat menggunakan persamaan (3.6) (Panjaitan *et al.*, 2023).

$$CUF_{\text{harian}} = \frac{E_{\text{harian}}}{P_{PV} \times 24 \text{ jam}} \times 100\% \quad (3.6)$$

dengan :

CUF_{harian} = *Capacity Utilization Factor* (%);

E_{harian} = energi yang dihasilkan PLTS per hari (kWh);

P_{PV} = total daya sistem fotovoltaik (kW).

Rancangan data pengamatan dan hasil perhitungan dari penelitian ini akan disajikan pada **Tabel 3.2** sampai dengan **Tabel 3.4**.

Tabel 3. 2 Data pengamatan energi listrik PLTS Itera

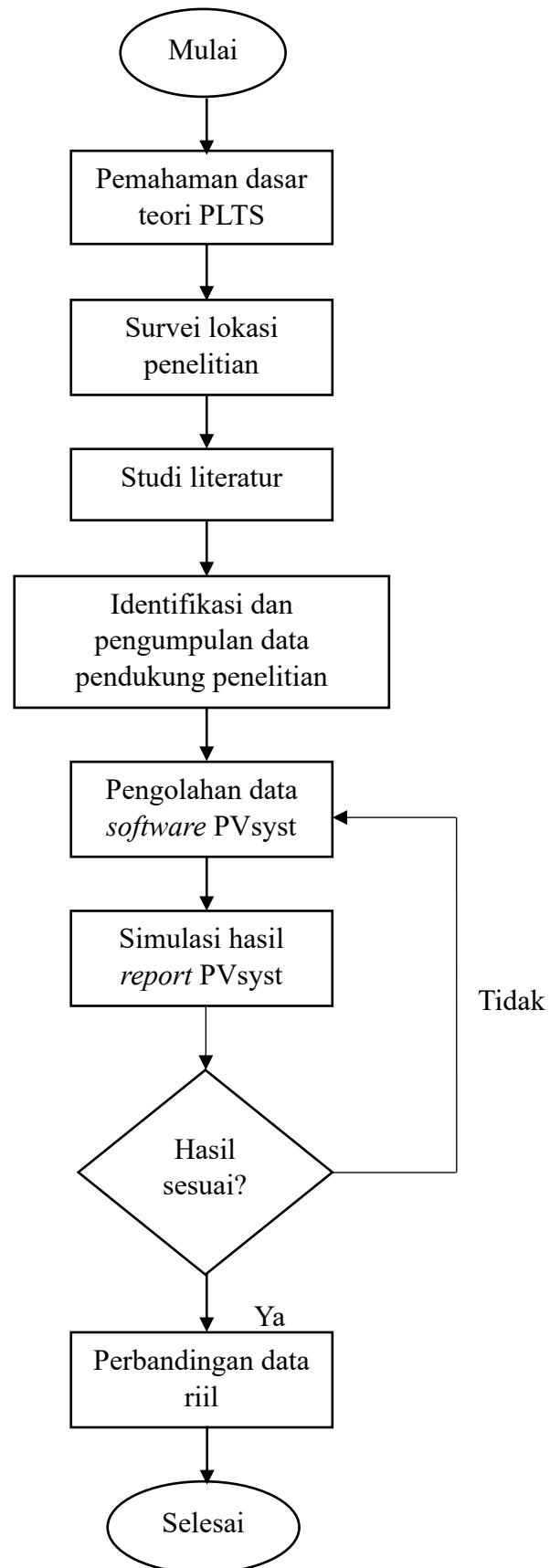
Hari Ke-	Radiasi Matahari (kWh/m ²)	Suhu (°C)	Energi Listrik (kWh)
1			
2			
3			
4			
5			
...			
30			

Tabel 3. 3 Data pengamatan energi listrik PLTS Itera berdasarkan PVsyst

Hari Ke-	Radiasi Matahari (kWh/m ²)	Suhu (°C)	Energi Listrik (kWh)
1			
2			
3			
4			
5			
...			
30			

Tabel 3. 4 Hasil perhitungan performansi PLTS Itera

Hari Ke-	Y _f (kWh/kWp)	Y _r (kWh/kW)	PR (%)	CUF (%)
1				
2				
3				
4				
5				
...				
30				
Total				
Rata-rata				



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

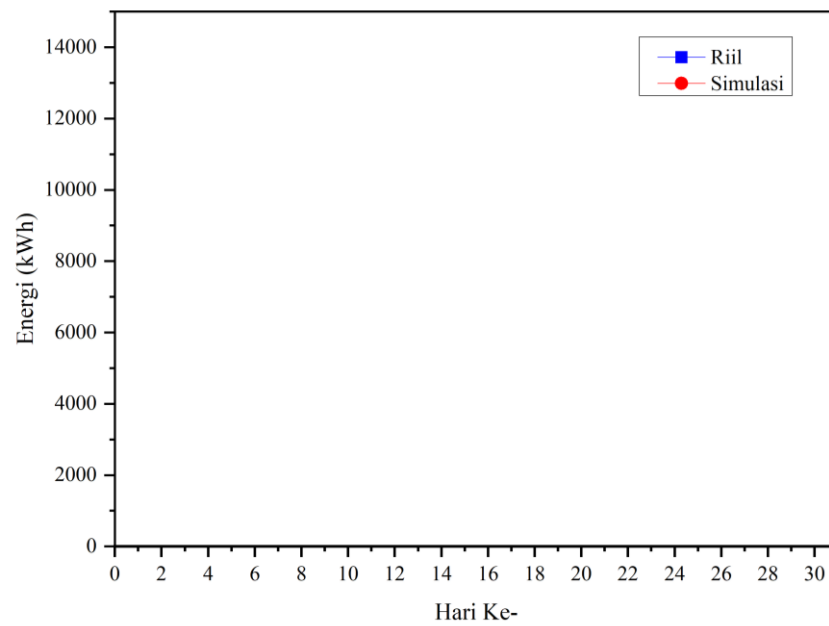
3.4 Metode Analisis Data

Analisis data yang dilakukan pada penelitian ini melibatkan perhitungan angka atau kuantitas. Berdasarkan ciri-ciri tersebut penelitian ini dapat dikategorikan sebagai penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif merupakan salah satu jenis penelitian yang sistematis, terencana, serta terstruktur dengan jelas (Siyoto & Sodik, 2015). Penelitian ini bermula dari masalah, merujuk teori, mengemukakan hipotesis, mengumpulkan data, menganalisis data, kemudian membuat kesimpulan. Metode kuantitatif pada penelitian dilakukan dengan urutan prosedur tertentu yang bersifat tetap sehingga peneliti dapat mengikuti prosedur yang telah digunakan pada penelitian sebelumnya (Salim & Haidir, 2019).

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif untuk menganalisis data yang diperoleh dari hasil penelitian maupun hasil perhitungan. Data penelitian yang didapatkan dari hasil penelitian yaitu radiasi matahari, suhu panel, serta energi listrik sistem PLTS Itera secara langsung dan berdasarkan simulasi. Pengumpulan data radiasi matahari pada penelitian ini menggunakan perangkat *solar power meter*, yang mencatat intensitas radiasi secara langsung dari pukul 06.00 hingga 18.00 setiap hari. Untuk suhu panel, pengukuran dilakukan dengan sensor suhu yang sudah terintegrasi dalam sistem PLTS Itera dan juga termometer inframerah (Testo 865). Sementara itu, data energi listrik yang dihasilkan PLTS diperoleh melalui fusion solar. Alat ini merekam data secara berkelanjutan selama satu bulan untuk mendapatkan variasi harian dalam produksi energi.

Data hasil perhitungan dalam penelitian ini mencakup *Yield Factor* (Yf), *Reference Yield* (Yr), *Performance Ratio* (PR), dan *Capacity Utilization Factor* (CUF), yang digunakan untuk mengevaluasi performa sistem PLTS Itera sesuai standar IEC 61724. Sedangkan analisis rugi-rugi daya dilakukan berdasarkan hasil *report software* PVsyst yang memaparkan berbagai jenis rugi-rugi daya seperti kehilangan energi akibat suhu, efisiensi inverter, kabel, beserta besarnya nilai dari masing-masing rugi-rugi tersebut. Hasil pengambilan data dan perhitungan yang diperoleh

kemudian digambarkan ke dalam grafik dengan rancangan analisis data yang ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3. 2 Grafik perbandingan produksi energi listrik PLTS Itera

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Potensi energi listrik PLTS Itera selama periode pengamatan tercatat sebesar 66.367,14 kWh, atau sekitar 47,6% lebih rendah dibandingkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst yang mencapai 126.645,40 kWh. Perbedaan ini disebabkan oleh adanya selisih tingkat radiasi sebesar 34,8% antara data pengukuran riil dan hasil simulasi, serta dipengaruhi oleh tingginya intensitas curah hujan di wilayah Lampung Selatan selama Januari 2025 yang mencapai 301–500 mm.
2. Performa sistem PLTS Itera menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan hasil simulasi. Nilai *Reference Yield* (Yr) dari data riil adalah 3,63 jam, sedangkan hasil simulasi mencapai 5,57 jam. *Yield Factor* (Yf) dari pengukuran hanya sebesar 2,14 kWh/kWp, lebih rendah dari hasil simulasi sebesar 4,08 kWh/kWp. *Performance Ratio* (PR) berdasarkan data riil tercatat sebesar 59,10%, dengan selisih 14,57% dibandingkan simulasi yang mencapai 73,67%. Sementara itu, *Capacity Utilization Factor* (CUF) di lapangan hanya sebesar 8,90%, dibandingkan dari hasil simulasi sebesar 16,99%. Perbedaan ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti cuaca mendung atau hujan, bayangan (*shading*), akumulasi debu dan kotoran, serta kenaikan suhu pada permukaan panel surya.
3. Kerugian energi terbesar dalam sistem berasal dari kenaikan suhu modul, dengan kontribusi sebesar 9,94%. Selain itu, beberapa faktor lain yang juga turut menyumbang rugi-rugi energi, antara lain: refleksi radiasi sebesar 3,43%,

akumulasi debu (*soiling loss*) sebesar 2,06%, *shading* sebesar 1,76%, *mismatch* antar modul sebesar 2,10%, dan penurunan efisiensi inverter sebesar 1,50%. Adapun kerugian daya pada kabel DC tercatat sebesar 0,507%.

5.2 Saran

Saran dari penelitian yang dapat dilakukan untuk perkembangan riset selanjutnya sebagai berikut.

1. Membandingkan hasil simulasi dengan perangkat lunak lain seperti Helioscope atau SAM (*System Advisor Model*) untuk meningkatkan akurasi prediksi terkait produksi energi.
2. Melakukan pemeliharaan rutin seperti pembersihan panel dan pengecekan sistem untuk mengurangi rugi-rugi daya akibat debu, suhu tinggi, dan *shading*.
3. Menggunakan prediksi cuaca dan sistem penyimpanan energi untuk mengatasi dampak cuaca ekstrem agar produksi listrik tetap stabil.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Afrida, Y., Jeckson & Feriyanto, D. 2022. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya on Grid. *Aisyah Journal Of Informatcs and Electrical Engineering*, 4(1): 74–77.
- Al-khazzar, A.A.A. 2018. A Theoretical Detailed Analysis for a Proposed 5kW PV Grid-Connected System Installed in Iraq Using PVsyst Tool. *Iranian Journal of Energy and Environment*, 9(2): 105–113.
- Ali, M. & Windarta, J. 2020. Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Energi Bersih yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 1(2): 68–77.
- Amigo, L.P. 2016. *Solar Potential Assessment: Comparison Using LiDAR Data and PVsyst. Thesis: Energy System*, Gavle: University of Gavle.
- Atikah, N., Pramono Jati, B. & Nugroho, D. 2024. Analisis Pengaruh Suhu Terhadap Daya Output pada Panel Surya Monocrystalline dan Polycrystalline 50 Wp. *Cyclotron : Jurnal Teknik Elektro*, 7(02): 18–25.
- Atmajaya, G.K., Baqaruzi, S., Galih Dwi Wicaksono, B., Kanata, S. & Muhtar, A. 2022. Analisis Rugi-rugi Daya Kabel DC pada PLTS 1 MWP On-Grid Institut Teknologi Sumatera Berdasarkan Data Fusion Solar. *Journal of Science, Technology, and Virtual Science*, 2(1): 196–200.
- Ayu, L.A.S., Giriantari, I.A.D. & Setiawan, I.N. 2023. Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap on-Grid 11,2 Kwp Di Residensial Bukit Gading Mediterania, Jakarta Utara. *Jurnal Spektrum*, 10(1): 32–43.
- BMKG 2025. Buletin : Analisis Dan Prakiraan Hujan Bulanan Provinsi Lampung. *Stasiun Klimatologi Lampung*. Lampung, hal.1–47.
- Burhandono, A. & Sinaga, N. 2022. Menjaga Keandalan Sistem PLTS dengan Metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA). *Jurnal Teknik Industri*, 12(1): 30–39.
- Ciawi, Y., Ramona, Y., Tonyes, Gabrina, S. & Sucipta, M. 2024. *Pengantar Energi Baru dan Terbarukan*. Denpasar: Udayana University Press.
- Cinici, O.K., Karaca, B. & Acir, A. 2023. Comparison Study in Terms of The Results of Photovoltaic Solar Energy Systems Designed with PVsyst and MATLAB Simulink Software. *Journal of Polytechnic*, 26(4): 1635–1649.

- Darwin, D., Panjaitan, A. & Suwarno, S. 2020. Analisa pengaruh Intesitas Sinar Matahari Terhadap Daya Keluaran Pada Sel Surya Jenis Monokristal. *Jurnal Mesin Elektro Sipil (Mesil)*, 1(2): 99–106.
- DEN 2023. *Outlook Energi Indonesia 2023*. Dewan Energi Nasional. Jakarta.
- Diansyah, I.F.N., Handoko, S. & Windarta, J. 2021. Implementasi Dan Evaluasi Performa Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) on Grid Studi Kasus Smp N 3 Purwodadi. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 10(4): 701–708.
- Dirlik, E.E., Gezegin, C. & Mohammadi, S.A.D. 2023. Comparison of PVsyst, PVSOL and HOMER Simulation Software Results with Real Production Data of Solar Power Plants in Different Provinces of Turkey. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 12(2): 2357–2364.
- Fardi, H. 2015. Numerical Analysis of Semiconductor PN Junctions Using MATLABM. *Journal of Scientific Research and Reports*, 6(2): 84–98.
- Gunoto, P. & Sofyan, S. 2020. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya 100 Wp Untuk Penerangan Lampu Di Ruang Selasar Fakultas Teknik Universitas Riau Kepulauan. *Sigma Teknika*, 3(2): 96–106.
- Halawa, E.E.H. & Sugiyatno, S. 2001. Estimation of global solar radiation in the Indonesian climatic region. *Renewable Energy*, 24(2): 197–206.
- Hanni, J.R., Bukya, M., Kumar, P. & Gowtham, N. 2023. Analysis and Modeling of 581 kWp Grid-Integrated Solar Photovoltaic Power Plant of Academic Institution Using PVsyst †. *Engineering Proceedings*, 59(1): 1–7.
- Haq, I.N., Pradipta, J., Sheba, M.R.S., Persada, A.W.D., Soelami, F.X.N. & Leksono, E. 2021. Simulasi Energi dan Keekonomian Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk Fungsi Peak Load Shaving pada Bangunan di Lingkungan Kampus ITB. *Journal of Science and Applicative Technology*, 5(1): 179–186.
- IEC 1998. *International Standard IEC 61724 : Photovoltaic system performance monitoring – Guidelines for measurement, data exchange and analysis*. Navi Mumbai: Book Supply Bureau.
- Indira, A., Wardhana, A.S., Dwi, J. & Laiyan, K. 2024. Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Rumah Tinggal Kabupaten Temanggung menggunakan PVSyst. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika (SNESTIK)*, 1(1): 60–69.
- Jamaaluddin 2021. *Petunjuk Pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*. *Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Sidoarjo: Umsida Press.
- Kariongan, Y. & Joni 2022. Perencanaan dan Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop dengan Sistem On Grid sebagai Catu Daya Tambahan pada RSUD Kabupaten Mimika. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6: 3763–3773.
- Karuniawan, E.A. 2021. Analisis Perangkat Lunak PVSYST, PVSOL dan HelioScope dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic. *Jurnal Teknik Elektro*, 12(3): 100–105.

- Karuniawan, E.A., Sugiono, F.A.F., Larasati, P.D. & Pramurti, A.R. 2023. Analisis Potensi Daya Listrik PLTS Atap di Gedung Direktorat Politeknik Negeri Semarang Dengan Perangkat Lunak PVSYST. *Journal of Energy and Electrical Engineering (Jeee)*, 4(2): 75–80.
- Kayabasi, R. & Kaya, M. 2023. Effect of module operating temperature on module efficiency in photovoltaic modules and recovery of photovoltaic module heat by thermoelectric effect. *Journal of Thermal Engineering*, 9(1): 191–204.
- Kittel, C. 2004. *Introduction to Solid State Physics, 8th edition*. Wiley & Sons, New York, NY. New York.
- Koerniawan, T. & Hasanah, A.W. 2019. Kajian Sistem Kinerja PLTS Off-Grid 1 kWp DI STT-PLN. *Energi & Kelistrikan*, 10(1): 38–44.
- Kumar, S., Upadhyaya, P. & Kumar, A. 2019. Performance Analysis of Solar Energy Harnessing System Using Homer Energy Software and PV Syst Software. *2019 2nd International Conference on Power Energy Environment and Intelligent Control, PEEIC 2019*, 1(1): 156–159.
- Kurniawan, I., Ichwani, R., Fionasari, R., Batubara, A. & Huda, A. 2022. Indonesia's Renewable Energy Outlook: What to Expect in The Future Renewable Energy of Indonesia. A Brief Review. *Elkawnie : Journal of Islamic Science and Technology*, 8(2): 298.
- Mabhoko, M., Fitzgerald, D. & Bekker, B. 2020. Comparing Long-Term Actual Versus Simulated PV System Performance: a Review and Case Study. *Centre for Renewable and Sustainable Energy Studies*, 14(1): 1–27.
- Malihah, L. 2022. Tantangan Dalam Upaya Mengatasi Dampak Perubahan Iklim Dan Mendukung Pembangunan Ekonomi Berkelanjutan: Sebuah Tinjauan. *Jurnal Kebijakan Pembangunan*, 17(2): 219–232.
- Malvoni, M., Kumar, N.M., Chopra, S.S. & Hatziargyriou, N. 2020. Performance and degradation assessment of large-scale grid-connected solar photovoltaic power plant in tropical semi-arid environment of India. *Journal of Solar Energy*, 203(6): 101–113.
- Mansur, A. 2021. Analisa Kinerja Plts on Grid 50 Kwp Akibat Efek Bayangan Menggunakan Software Pvsyst. *Jurnal Transmisi*, 23(1): 28–33.
- Mar'iyah, K. & Rachman, A.S. 2024. Analisis DC Losses pada PLTS 7 MWP Menggunakan Simulasi Software PVSYST. *Jurnal Nasional Komputasi dan Teknologi Informasi (JNKTI)*, 7(6): 1765–1773.
- Mauladhani, A.E., . S. & . Y. 2023. Analisis Dampak Pemanfaatan Energi Matahari Terhadap Perubahan Iklim Di Indonesia. *Jurnal Pendidikan, Sains Dan Teknologi*, 2(2): 955–957.
- Monge, M., Romero Rojo, M.F. & Gil-Alana, L.A. 2023. The impact of geopolitical risk on the behavior of oil prices and freight rates. *Journal of Energy*, 269(1): 1–9.

- Muslim, S., Khotimah, K. & Azhiimah, A.N. 2020. Analisis Kritis Terhadap Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Tipe Photovoltaic (PV) Sebagai Energi Alternatif Masa Depan. *Rang Teknik Journal*, 3(1): 119–130.
- Nathawibawa, A.A.N.B.B., Kumara, I.N.S. & Ariastina, W.G. 2017. Analisis Produksi Energi dari Inverter pada Grid-connected PLTS 1 MWp di Desa Kayubihi Kabupaten Bangli. *Jurnal Teknologi Elektro*, 16(1): 131.
- Neamen, D. 2009. *Semiconductor Physics and Devices: Modern Semiconductor Devices for Integrated Circuit 1st Edition*. Berkeley: California University.
- Nunes, H.G.G., Morais, F.A.L., Pombo, J.A.N., Mariano, S.J.P.S. & Calado, M.R.A. 2022. Bypass diode effect and photovoltaic parameter estimation under partial shading using a hill climbing neural network algorithm. *Frontiers in Energy Research*, 10(August): 1–24.
- Panjaitan, K.R., Giriantari, I.A.D. & Setiawan, I.N. 2023. Analisis Unjuk Kerja Plts Carport Kementerian Esdm Republik. *Jurnal Spektrum*, 10(1): 25–31.
- Peraturan Menteri ESDM 2019. *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Perubahan Mineral Nomor 16 Tahun 2019. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 16 Tahun 2019*, .
- Purnomo, S., Arief, Y.Z., Jaenul, A. & Wilyanti, S. 2023. Analisis Pengaruh Cuaca Terhadap Efisiensi Panel Surya Grid Tie Menggunakan Konfigurasi Micro Inverter Dan String Inverter Terhadap Energi Yang Dihasilkan. *Jurnal Media Elektro*, XII(2): 100–110.
- Purwoto, B.H., Jatmiko, F, M.A. & Huda, I.F. 2018. Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber. *Jurnal Emitter*, 18(1): 10–14.
- Putra, A.M.N., Darmawan, F., Vermana, A.R., Dewi, A.Y. & Bandri, S. 2021. Potensi Energi Listrik PLTS Atap Gedung Laboratorium Teknik Elektro Untuk Pengembangan Net Zero Energi Building (NZEB). *Jurnal Teknik Elektro*, 10(2): 125–130.
- Rahmawati, Bayusari, I., Caroline, C., Hermawati, H. & Mawarni, L. 2023. Desain Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Sumber Energi Alternatif Pada Mesin Sterilisasi Alat Medis Portable. *Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya*, 4(2): 73–82.
- Ramadhana, R.R., Iqbal, M.M., Hafid, A. & Adriani 2022. Analisis Plts On Grid. *Jurnal Teknik Elektro UNISMUH*, 14(1): 12–25.
- Ramadhani, B. 2018. *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don ' ts*. Jakarta: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Energising Development (EnDev) Indonesia.
- Ramadhan, L., Pravitasari, D. & Setiawan, A.A. 2023. Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap On-Grid Residensial Berkapasitas 46,6 Kwp Serpong, Tangerang. *Journal of Electrical Engineering, Computer, and Information Technology*, 4(1): 35–42.

- Rizkasari, D., Wilopo, W. & Ridwan, M.K. 2020. Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Untuk Plts Di Kantor Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan Dan Energi Sumber Daya Mineral (Pup-Esdm) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Journal of Appropriate Technology for Community Services*, 1(2): 104–112.
- Rozak, O.A., Marfin, M., Irvan, I. & Setiawan, J. 2023. Analisis Pengaruh Kondisi Cuaca Pada Efisiensi Sel Surya Monocrystalline, Polycrystalline dan Thin Film. *EPIC (Journal of Electrical Power Instrumentation and Control)*, 5(2): 178–186.
- Rudiyanto, B., Rachmanita, R.E. & Budiprasojo, A. 2023. *Dasar-Dasar Pemasangan Panel Surya*. Malang: Unisma Press.
- Safitri, N., Lhokseumawe, P.N., Rihayat, T. & Lhokseumawe, P.N. 2020. *Teknologi Photovoltaic*. Banda Aceh: Yayasan Puga Aceh Riset.
- Sahu, A., Yadav, N. & Sudhakar, K. 2016. Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66(1): 815–824.
- Saka, K. 2024. Evaluation of a grid-connected PV power plant: performance and agrivoltaic aspects. *Environment, Development and Sustainability*, 1(2): 1–18.
- Salim, H. & Haidir 2019. *Penelitian pendidikan metode, pendekatan dan jenis*. Jakarta: Kencana.
- Samsurizal, Mauriraya, K.T., Fikri, M., Pasra, N. & Christiono 2021. *Pengenalan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*. Jakarta: Institut Tenkonologi PLN.
- Sancar, M.R. & Yakut, K. 2023. Comparative Analysis of SAM and PVsyst Simulations for a Rooftop Photovoltaic System. *International Journal of Engineering and Innovative Research*, 5(1): 60–76.
- Sarante, J. 2024. *Energi Baru dan Terbarukan (EBT) Mendukung Pertahanan Negara Ditekindhan Ditjen Pothan Kemhan*. Jakarta: Ditjen Pothan Kemhan.
- Sharma, S., Kurian, C.P. & Paragond, L.S. 2018. Solar PV System Design Using PVsyst: A Case Study of an Academic Institute. *2018 International Conference on Control, Power, Communication and Computing Technologies, ICCPCCT 2018*, 2(4): 123–128.
- Shirzad, S., Fazli, A., Zgham, W. & Fatemi, S. 2023. Design and Development of Grid-Connected Solar PV Power Plant Using PVsyst. *Academic Journal of Research and Scientific Publishing*, 5(52): 67–86.
- Silva, J.L.D.S., Costa, T.S., De Melo, K.B., Sako, E.Y., Moreira, H.S. & Villalva, M.G. 2020. A comparative performance of PV power simulation software with an installed PV plant. *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology*, 2020-Febru: 531–535.
- Siregar, M., Pardosi, C.H., Bachri, K.O., Nur, T. & Pandjaitan, L.W. 2024. Comparison of Actual Results and PVSyst Simulation in the Design of Off-Grid Solar Power Generation System (PLTS) in Karuni Village, Southwest Sumba. *Jurnal Elektro*, 17(1): 1–12.

- Siyoto, S. & Sodik, M.A. 2015. *Dasar Metodologi Penelitian*. Yogyakarta: Literasi Media Publishing.
- Smith, B.L., Sekar, A., Mirletz, H., Heath, G. & Margolis, R. 2024. *An Updated Life Cycle Assessment of Utility-Scale Solar Photovoltaic Systems Installed in the United States*. United States: National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- Sofijan, A., Suparlan, M., Alwani, H. & Fajri, M.A. 2021. Desain Passive Cooling Menggunakan Perforated Aluminum Plate Pada Fotovoltaik Monokristalin. *Jurnal Surya Energy*, 5(1): 23–30.
- Sugiyono, A., Permana, A.D., Boedoyo, M.S. & Adiarso 2013. *Outlook energi Indonesia 2013*. Jakarta: Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi (PTPSE).
- Sulaiman, S.A., Mat, M.N.H., Guangul, F.M. & Bou-Rabee, M.A. 2015. Real-time study on the effect of dust accumulation on performance of solar PV panels in Malaysia. *Proceedings of International Conference on Electrical and Information Technologies, ICEIT 2015*, 2(5): 269–274.
- Sutiawan, D.E.J., Notosudjono, D., Rijadi, B.B. & Yamato 2024. Analisis Teknis Dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Berbasis PVsyst. *Journal of Electrical Engineering and Computer (JEECOM)*, 6(1): 110–119.
- Taro, Z. & Hamdani 2020. Analisis Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Skala Rumah Tangga. *Journal of Electrical and System Control Engineering (Jesce)*, 3(2): 2020.
- United States Agency International Development 2020. *Indonesia Clean Energy Development II (ICED II) Project FY2020 Annual Report*. Airlington USA: Tetra Tech ES.
- Usman, M. 2020. Analisis Intensitas Cahaya Terhadap Energi Listrik Yang Dihasilkan Panel Surya. *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro*, 9(2): 52–57.
- Vankabo, P., Prasetya, S., Ridlwan, H.M. & Maryono 2023. Analisis Potensi PLTS Atap Di Gedung 65 Instalasi Elemen Bakar Eksperimental PUSPIPTEK Serpong. *Prosiding A Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, 2(1): 150–158.
- Wibowo, F.F., Rokhmat, M. & Aripriantoni 2019. Efek Penempatan Panel Surya Terhadap Produksi Energi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Cirata 1 Mw. *e-Proceeding of Enginering*, 6(2): 5026–5033.
- Wida, dewa A.K., Sumaja, K. & Wiguna, H. 2019. The Relationship Analysis of Radiation Intensity and Sunshine Duration With Weather Parameters At Meteorological Station Ngurah Rai and Their Effect on the Potential of Solar Power Plants in South Bali. *Buletin Meteo Ngurah Rai*, 5(1): 1–7.

- Windarto, D.A., Chamdan, M.U. & Yudha, G. 2024. Analisis Pengaruh Cuaca Terhadap Efektivitas Kinerja Produksi Energi Listrik PLTS On-Grid pada Laboratorium Listrik dan Mekanik 1 PPSDM Migas. *MAjalah Ilmiah Swara Patra*, 14(2): 131–138.
- Yakubu, R.O., Ankoh, M.T., Mensah, L.D., Quansah, D.A. & Adaramola, M.S. 2022. Predicting the Potential Energy Yield of Bifacial Solar PV Systems in Low-Latitude Region. *Journal of Solar Energy*, 15(22): 1–17.